



## DETERMINATION OF CERTAIN PARAMETERS REFERENTIAL FOR LOCOMOTIVE HAULAGE SYSTEMS IN UNDERGROUND COAL MINES

## URČENIE NIEKTORÝCH PARAMETROV SÚVISIACICH S LOKOMOTÍVOVOU DOPRAVOU V HLBINNÝCH UHOĽNÝCH BANIACH

Miloš GRUJIĆ, Ivica RISTOVIĆ

Faculty of Mining and Geology, Belgrade  
Belgrade, Djusina 7, Yugoslavia

**Abstract:** In spite of an increasing predominance of continuous conveyance, the underground locomotive haulage system is still a significant way of transportation of excavated material. The innovations introduced in this field mainly relate to mechanical and electric equipment, which is crucially important. However, in order to achieve optimal haulage results it is necessary to rationalize optimize the technological parameters referential for locomotive haulage systems. This paper presents some aspects of determination of rational and optimal parameters characteristic for locomotive haulage systems in underground coal mines.

**Abstrakt:** Napriek stúpajúcej prevahe kontinuálnej dopravy, systém podzemnej lokomotívovej dopravy je stále významným spôsobom dopravy materiálu v podzemí. Avšak za účelom dosiahnutia optimálnych výsledkov v doprave je potrebné racionálne optimalizovať technologické parametre súvisiace so systémom lokomotívovej dopravy. Tento článok poukazuje na niektoré aspekty určenia racionálnych a optimálnych parametrov charakteristických pre systém lokomotívovej dopravy v podzemných uhoľných baniach.

### 1. INTRODUCTION

A lively development of diverse means of continuous conveyance led to a significant relegation of locomotive haulage systems. Rail transportation, once predominant in underground coal mines is presently reduced to less than 50%. Even though the previously mentioned tendency is also present in the mines of metallic minerals the situation here is fairly better.

The reasons for such tendencies lie above all in a faster development of continuous systems, large-scale ore production, an increased use of continuous mining technologies, but also in certain obvious disadvantages of locomotive haulage systems. In spite of rather successfully improved locomotives, rationalization and modernization of wagons, the major problems arise within the context of the

### 1. ÚVOD

Rýchly vývoj rôznych prostriedkov kontinuálnej dopravy viedol k významnému vytlačeniu systému lokomotívovej dopravy. Dokonca zmienaná tendencia sa začala v tom čase prezentovať aj v rudných baniach, kde situácia je oveľa lepšia.

Dôvodmi takýchto tendencií boli predovšetkým, rýchlym vývoj kontinuálnych systémov, veľká produkcia ťažby rúd, zvýšené používanie kontinuálnej ťažobnej technológie, ale aj určité nevýhody lokomotívovej dopravy. Napriek úspešnému zlepšeniu lokomotív, racionalizácii a modernizácii vozíkov, hlavné problémy súviseli s technológiou a organizáciou lokomotívovej dopravy.

technology and the organization of locomotive haulage.

In Yugoslav underground coal mines the use rail transportation has been considerably reduced considerably. In mines of non-ferrous metals and non-metallic minerals the locomotive haulage is still present in 70% of main haulage roads. After developing several new coal deposits the partaking of locomotive haulage in Yugoslav mining is expected to increase.

The goal of this paper is to indicate methods for solving locomotive haulage problems with a view of eliminating its disadvantages and shortcomings. Thereat, guidelines are given pointing to the measures that should be taken to overcome or to diminish the shortcomings and disadvantages of rail transportation.

## 2. Determination of a rational arrangement of the train of wagons for coal conveyance

The capacity of locomotive haulage is closely connected with the haulage length. In contrast to continuous conveyance systems, which does the haulage length minimally affect, the capacity of locomotive haulage, like in the case of all the other forms of cyclic conveyance may be determined only after considering the distance that the conveyed material is to cover.

Bearing in mind the numerous types of locomotives and wagons with different adhesion weight and capacity it is necessary to coordinate these elements. Numerous authors, researchers and designers deal with this problem. In conditions of Yugoslav mining this issue is particularly important considering the large variety of wagons and locomotives. This comes as a consequence of various factors and illustrates the development course of individual mines.

In order to define the parameters of locomotive haulage systems for a start it is necessary to determine the most rational types of wagons and their capacities as function of locomotive adhesion weight. In this way in the second stage it is possible to determine the most rational arrangements of wagons in the train.

The researches carried out in the Department of Mine Haulage and hoisting at the Faculty of Mining and Geology in Belgrade were based on the following initial assumptions:

- it is rational to use electric locomotives (contact and battery-type) with adhesion weight ranging from 50 to 150 kN,
- standard wagon capacities are analyzed (according to Yugoslav standards), ranging from 0,9 to 5,0 m<sup>3</sup>.

V juhoslovanských podzemných uhoľných baniach sa používanie koľajovej dopravy výrazne znížilo. V rudných a nerudných baniach lokomotívová doprava stále predstavuje 70% z hlavných dopravných ciest.

Úlohou tohto článku je naznačiť riešenie problémov lokomotívovej dopravy s cieľom odstrániť jej nevýhody a nedostatky. Preto sú uvádzané hlavné spôsoby, ale len veľmi stručne, ktorými by sa mali úplne alebo čiastočne odstrániť nedostatky a nevýhody lokomotívovej dopravy. Po otvárke niekoľkých nových uhoľných ložísk sa predpokladá, že používanie lokomotívovej dopravy sa v juhoslovanskom baníctve zvýši.

## 2. Určenie racionálneho usporiadania vlakových súprav na dopravu uhlia

Kapacita lokomotívovej dopravy je úzko spojená s dopravnou dĺžkou. Na rozdiel od kontinuálnych dopravných systémov, u ktorých dĺžka dopravy má minimálny vplyv, kapacita lokomotívovej dopravy, podobne ako v prípade všetkých systémov cyklickej dopravy môže byť určená len vzhľadom k vzdialenosti, ktorú musí dopravovaný materiál prejsť.

Po zvážení, že existuje veľký počet typov lokomotív a vozíkov s rozdielnou adhéznou hmotnosťou a kapacitou je potrebné koordinovať tieto prvky. Mnoho autorov, výskumníkov a dizajnérov sa zaoberalo týmto problémom. V podmienkach juhoslovanského baníctva je táto záležitosť dôležitá najmä z dôvodu veľkého počtu rôznych typov vozíkov a lokomotív. Táto situácia je dôsledkom pôsobenia rôznych činiteľov a poukazuje na priebeh vývoja jednotlivých baní.

Za účelom určiť parametre lokomotívovej dopravy je potrebné na začiatku zistiť najracionálnejšie typy vozíkov a ich kapacitu ako funkciu adhéznej hmotnosti lokomotívy. Týmto spôsobom je potom možné zistiť najracionálnejšie usporiadanie vozíkov vo vlaku.

Výskumy vykonané Katedrou dopravy a zdvíhacích zariadení na Fakulte baníctva a geológie v Belehrade boli založené na nasledujúcich vstupných predpokladoch:

- je racionálne používať elektrické lokomotívy (trolejové a akumulátorové) s adhéznou hmotnosťou v rozsahu od 50 do 150 kN,
- štandardné objemy vozíkov sú analyzované (podľa Juhoslovanských noriem), v rozsahu od 0,9 do 5,0 m<sup>3</sup>,

- for the determination of the overall mass of one train the basic criteria are the adhesion tractive or haulage force and the safe braking path,
- 4‰ is considered to be the average grade of the rail in the direction of full wagons motion.

On the basis of these assumptions for conditions of underground coal mines, it was possible to determine the arrangements of the trains presented in Table 1.

- pre stanovenie celkovej hmotnosti jedného vlaku sú základnými kritériami adhézna ťažná sila alebo ťažná sila na háku a bezpečná brzdná dráha,
- 4‰ sú považované za priemerný sklon koľajovej trate v smere pohybu plných vozíkov.

Na základe týchto predpokladov pre podmienky hlbinných uhoľných baní, bolo možné stanoviť opatrenia pre lokomotívy uvedené v tabuľke 1.

Table 1 Possible number of wagons for different locomotives  
Tabuľka 1 Možný počet vozíkov pre rôzne typy lokomotív

Wagon Capacities, m <sup>3</sup>	Adhesion weight of locomotives (kN)										
	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
0,9	34	40	47	53	60	68	74	81	88	94	101
1,1	28	33	38	44	49	55	61	66	72	77	83
1,3	23	28	32	37	42	47	52	56	61	65	70
1,5	20	24	28	32	36	41	45	48	53	57	61
2,0	15	18	21	24	27	31	34	37	40	42	46
3,0	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
4,0	8	9	11	12	14	15	16	18	19	21	22
5,0	6	7	8	9	11	12	13	14	15	17	18

A large number of wagons in the train will complicate the maneuvering at final stations; it requires prolonged shaft landings and extended loading stations and bypasses. Correspondingly, the reliability of conveyance is reduced considering the increased probability of stoppages during haulage, higher maintenance costs etc. On the other hand, the train with a reduced number of large-capacity wagons requires larger road cross-sections and if due to defect one of the wagons is cut out at the loading point the useful load will be considerably reduced etc.

Bearing in mind the previously stated issues one of the criteria for the determination of a rational train arrangement it has been adopted that the number of wagons in the train should range from 15 to 25. The other criterion for the determination of the most rational wagon capacity is taken out of the condition, which stipulates that the length of the train (without the locomotive) should not exceed 80 m.

On the basis of these two criteria and by applying adequate software it was possible to determine the most rational wagon capacity for each locomotive with specific adhesion weight and to establish the number of wagons and the length of the train (Table 2).

Veľký počet vozíkov vo vlaku bude komplikovať manévrovanie v koncových staniách, bude vyžadovať predĺžené nárazisko, väčšiu násypnú stanicu a vozíkový obeh. Zodpovedajúco tomu, spoľahlivosť prepravy je znížená vzhľadom k zvýšenej pravdepodobnosti prerušenia plynulosti prepravy, vysoké náklady na údržbu atď. Naproti tomu, vlak so zníženým počtom veľko-kapacitných vozíkov vyžaduje väčšie priečne prierezy dopravných ciest a ak sa pokazí jeden z vozíkov v mieste nakladania, výkonnosť nakladania bude podstatne nižšia atď.

V súvislosti s vyššie uvedenými problémami, jedným z kritérií pre stanovenie racionálnej vlakovej súpravy bolo určenie počtu vozíkov vo vlaku, ktorých počet rozsah by mal byť od 15 do 25. Druhým kritériom pre určenie najracionálnejšej kapacity vozíkov je zohľadnenie podmienky, ktorá špecifikuje dĺžku vlaku (bez lokomotívy). Táto by nemala byť väčšia ako 80 m.

Na základe týchto dvoch kritérií a pri adekvátnom programovom vybavení je možné zistiť najracionálnejšiu kapacitu vozíka pre každú lokomotívu so špecifickou adhéznou hmotnosťou, určiť počet vozíkov a dĺžku vlaku (tabuľka 2).

Table 2 Rational train arrangements  
 Tabuľka 2 Racionálna vlaková súprava

Adhesion weight of locomotives (kN)	50		60		70	80		90	100
Wagon Capacities, m <sup>3</sup>	1,3	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	3,0	3,0	3,0
Number of wagons	23	20	24	18	21	24	16	18	20
Length of the train, m	44	36	43	45	52	60	53	60	66
Useful load in a train (t)	30	30	36	36	42	48	48	54	60

Adhesion weight of locomotives (kN)	110		120		130	140		150	
Wagon Capacities, m <sup>3</sup>	3,0	4,0	3,0	4,0	4,0	4,0	5,0	4,0	5,0
Number of wagons	22	16	24	18	19	21	17	22	18
Length of the train, m	73	57	80	64	67	74	63	78	67
Useful load in a train (t)	66	64	72	72	76	84	85	88	90

By developing the same research program it was also possible to determine the average locomotive capacities per each shift for different haulage lengths (from 1 to 5 km), for different locomotive adhesion weights (from 50 to 150 kN) and for different wagon capacities (from 1,3 to 5,0 m<sup>3</sup>). At the same time the calculations showed that the average time of locomotive effective performance per shift is 4.5 hours, taking into account the pausing at loading, discharge and bypass points.

Analyzing further the results obtained and bearing in mind the circumstances in Yugoslavia, it is possible to carry out additional rationalization. Namely, instead of 11 locomotives of adhesion weight ranging from 50 to 150 kN it is suggested to use 5 locomotives of the following adhesion weights; 50, 70, 100, 120 and 150 kN.

It may be adopted that coal conveyance is carried out by one-rail track, with one bypass in the middle of the route and with two simultaneously operating locomotives, for the annual mine output ranging from 100 thousand to a million tons of coal. On the basis of this the application of locomotives and wagons may be determined from the diagrams presented in Figures 1 and 2. Particular attention has been paid to the analysis of contact (trolley) and especially to battery locomotives. Haulage length ranges from 1 to 5 km, the number of conveyance hours per year amounts to 3600 and the sufficient number of spare wagons and locomotives are available.

Similar coordination of wagons and locomotives has been carried out for haulage systems in mines of non-ferrous metals and non-metallic minerals. For the haulage systems that are not included in the previously analyzed arrangements, separate software packages have been developed, following similar principles, in order to determine the most rational train arrangement for each locomotive.

Bol vyvinutý podobný výskumný program, pomocou ktorého je možné zistiť priemernú kapacitu lokomotívy pre rôzne dĺžky dopravnej trate od 1 do 5 km), pre rôzne adhézne hmotnosti lokomotív od (50 do 150 kN) a pre rozdielny objem vozíkov od 1,3 do 5,0 m<sup>3</sup>. Súčasne výpočty ukázali že priemerný čas efektívneho výkonu lokomotívy na zmenu je 4.5 hodiny, pri zohľadnení prestávok na miestach nakladania, vyprázdňovania a vozíkového obehu.

Analyzovaním ďalších získaných výsledkov pri zohľadnení pomerov v Juhoslávii, je to možné vykonať ďalšiu racionalizáciu. Totiž namiesto 11 lokomotív s adhéznou hmotnosťou v rozsahu od 50 do 150 kN je možné navrhnúť použitie 5 lokomotív s adhéznou hmotnosťou 50, 70, 100, 120 a 150 kN.

To znamená, že doprava uhlia môže byť vykonávaná pomocou jedno -koľajovej trate, s jedným vozíkovým obehom uprostred trate a s dvoma súčasne pracujúcimi lokomotívami, pre ročnú ťažbu v rozsahu od 100 tisíc do milión ton uhlia. Na základe toho použitie lokomotív a vozíkov môže byť určené z diagramov znázornených na obrázkoch 1 a 2. Pozor na určité rozdiely, ktoré platia pre analýzu trolejových a akumulátorových lokomotív. Dĺžka trate v rozsahu do od 1 do 5 km, počet hodín prepravy za rok je 3600 a vhodný počet vozíkov a lokomotív je k dispozícii.

Podobná koordinácia vozíkov a lokomotív bola urobená pre prepravu v baniach na ťažbu rúd a nerúd. Pri analýze prepravy neboli zahrnuté predchádzajúce zostavy, ale bol vyvinutý zvláštny softvérový balík, zohľadňujúci podobné zásady, s cieľom určiť najracionálnejší vlak pre každú lokomotívu.

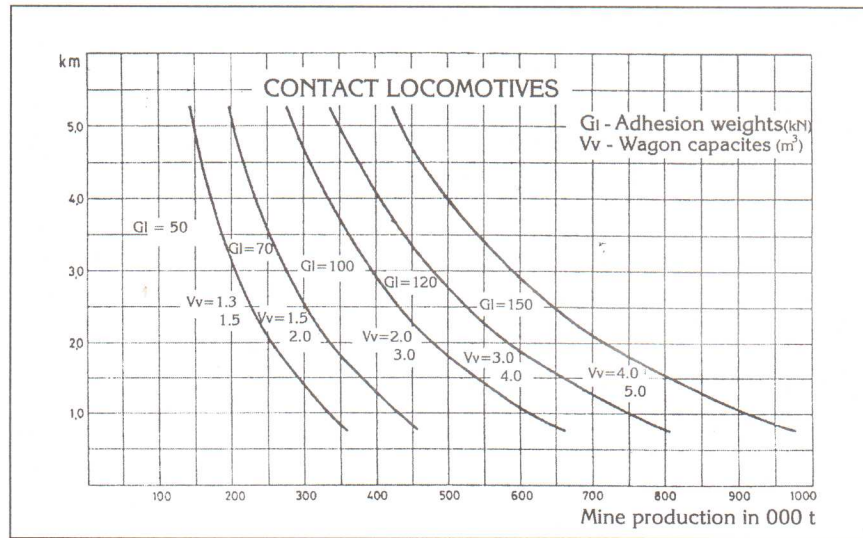


Figure 1 Application of contact locomotives  
Obrázok 1 Použitie trolejových lokomotív

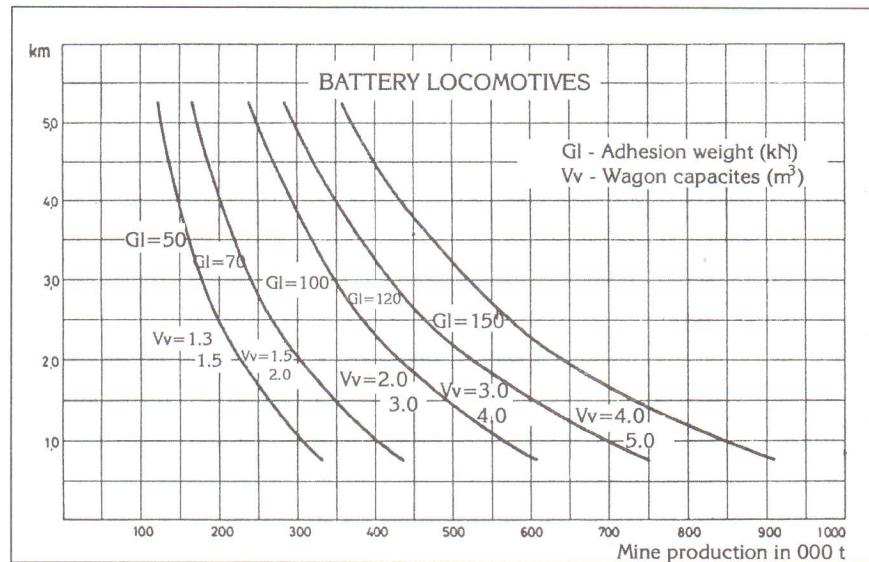


Figure 2 Application of battery locomotives  
Obrázok 2 Použitie akumulátorových lokomotív

3. Determination of the number of trains and of bunker capacity in locomotive haulage systems

The optimization of parameters characteristic for locomotive haulage is also an interesting issue pursued by numerous researchers. For this purpose diverse methods have been used, from technoeconomic, to multi-criteria methods along with the application of stochastic and other models. The researches comprised, among others, the following two issues:

- to determine the optimal number of trains for a determined output and
- to determine the optimal capacity of loading bunkers.

3. Určenie počtu vlakov a kapacity zásobníka pre lokomotívovú dopravu

Optimalizácia parametrov charakterizujúcich lokomotívovú dopravu je zaujímavým problémom pre mnohých odborníkov. Pre tento účel boli navrhnuté rôzne metódy od technicko-ekonomických, po mnoho-kritériálne metódy spolu s použitím náhodných a iných modelov. Výskumy zahŕňovali, medzi iným, nasledujúce dva problémy:

- zistiť optimálny počet vlakov ako výstup a
- zistiť optimálnu kapacitu zásobníkov .

Within the framework of the research program Underground Haulage Systems in Deep Coal Mines, after thorough analyses the researchers opted for the methodology of V. A. Ponomarenko [4], which is based on the optimization of the output capacity of locomotive haulage. In this case the systems with direct loading (continuous conveyor) were analyzed along with the systems with loading from bunkers.

In case when the coal is directly loaded into the wagons the change of the coal quantity in the unit of time may be represented by Gaussian distribution, which is defined by the mathematical expectation (mean value)  $M$ , mean square deviation and frequency distribution. If the useful load in a train is denoted with  $Q_k$ , which is the product of the number of wagons  $n_v$  and the useful load of one wagon  $Q$  and if the operating costs for one train are denoted with  $C_k$  and with  $C_g$  the costs incurred due to loss of one ton of coal caused by stoppages then the equation derived for the determination of the optimal number of trains will be as follows: (1)

$$C_k = \frac{C_g}{n_k} \cdot \left( \frac{a \cdot k_m}{n_k} + \frac{Q_k}{z} \right) \cdot e^{-y(n_k)} \quad (1)$$

where:  $k_m$  – coefficient of the loading conveyor machine- time,

$$z = \sqrt{1 + \frac{2 \cdot \sigma_n^2}{k_m^2 \cdot a^2} \cdot n_k}, \quad (2)$$

$$y(n_k) = \frac{Q_k \cdot a \cdot k_m}{\sigma_n^2} (z - 1), \quad (3)$$

$a$  – the rate of coal inflow from the face.

In cases when the variation coefficient has low values, namely when  $\frac{\sigma_n}{a} \rightarrow 0$ , the optimal value of  $n_k$  may be determined using the following expression: (4)

$$n_k = \sqrt{\frac{C_g \cdot a^2 \cdot k_m^2}{C_g \cdot Q_k^2 + C_k \cdot a \cdot k_m}} \quad (4)$$

Figure 3 shows how the number of trains varies depending on the mass of useful load in one train and of the rate of coal inflow from the face.

For locomotive haulage systems that foresee the loading of wagons from the bunkers with the capacity  $V_b$ , it is necessary to determine the function of

Počas rámcového výskumného programu Podzemné dopravné systémy v hlbokých uhoľných baniach, po dôkladných analýzach odborníci zvolili metodiku V.A.Ponomarenka (4), ktorá je založená na optimalizácii výkonnosti lokomotívovej dopravy. V tomto prípade systémy s priamym nakladaním (kontinuálna doprava) boli analyzované spolu s nakladaním zo zásobníkov.

V prípade, keď uhlie je bezprostredne nakladané do vozíkov množstvo uhlia za jednotku času môže byť reprezentované pri Gaussovom rozdelení, ktoré je definované matematickou pravdepodobnosťou (strednou hodnotou)  $M$ , strednou kvadratickou odchýlkou a rozložením početnosti. Ak užitočné zaťaženie vlaku je označené ako  $Q_k$ , ktoré je výsledkom počtu vozíkov  $n_v$  a užitočným zaťažením jedného vozíka  $Q$  a ak prevádzkové náklady pre jeden vlak sú označené ako  $C_k$  a ako  $C_g$  sú označené náklady spôsobené stratami na jednu tonu uhlia zapríčinené prestojmi, potom diferencálna rovnica pre zistenie optimálneho počtu vlakov bude mať takýto tvar (1):

$$C_k = \frac{C_g}{n_k} \cdot \left( \frac{a \cdot k_m}{n_k} + \frac{Q_k}{z} \right) \cdot e^{-y(n_k)} \quad (1)$$

kde  $k_m$  – koeficient plnenia dopravného zariadenia za čas,

$$z = \sqrt{1 + \frac{2 \cdot \sigma_n^2}{k_m^2 \cdot a^2} \cdot n_k}, \quad (2)$$

$$y(n_k) = \frac{Q_k \cdot a \cdot k_m}{\sigma_n^2} (z - 1), \quad (3)$$

$a$  – rýchlosť toku uhlia z porubu.

V prípadoch keď odchýlka indexu má spodné hodnoty, totiž keď  $\frac{\sigma_n}{a} \rightarrow 0$ , optimálna hodnota  $n_k$  môže byť určená použitím nasledujúceho výrazu (4):

$$n_k = \sqrt{\frac{C_g \cdot a^2 \cdot k_m^2}{C_g \cdot Q_k^2 + C_k \cdot a \cdot k_m}} \quad (4)$$

Obrázok 3 ukazuje ako sa mení počet vlakov v závislosti od užitočné zaťaženie jedného vlaku a od rýchlosti toku uhlia z porubu.

Pre systémy lokomotívovej dopravy, kde sa predpokladá plnenie vozíkov zo zásobníkov s kapacitou  $V_b$ , je potrebné určiť funkciu prestojov pri distribúcii, pre dopravu. Pravdepodobnosť

stoppage time distribution, for haulage-caused stoppages. The probability denoting the lack of working stoppages may be presented in the following way:

$$P(t_{zo} = 0) = 1 - e^{-\varphi(V_b)}, \quad (5)$$

$$P(t_{zo} = 0) = 1 - e^{-\varphi(V_b)}, \quad (5)$$

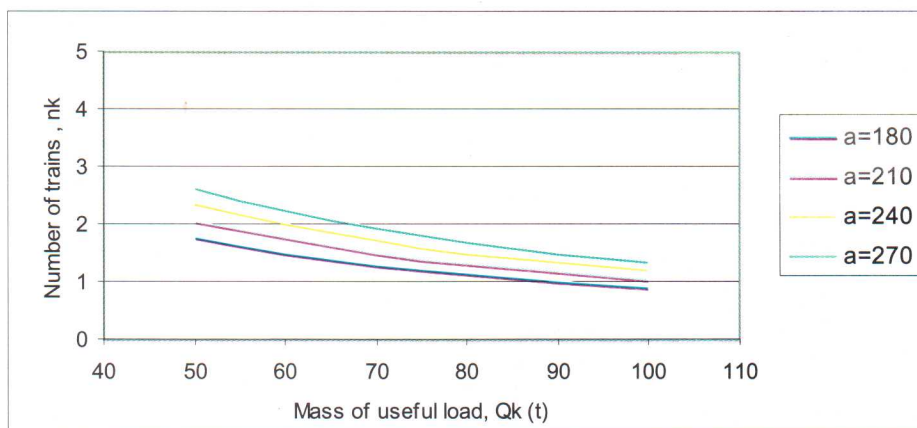


Figure 3 Diagram showing how the number of trains depend on the load-bearing capacity of one train and on the loading rate

Obrázok 3 Počet vlakov v závislosti od nosnosti jedného vlaku a od rýchlosti nakladania

The probability that the time of working stoppage due to the bunker is smaller than a value  $x$  may be expressed as follows:

$$P(t_{zo} < 0) = 1 - e^{-\varphi(V_b)} \cdot e^{-n_k \cdot x} \quad (6)$$

Pravdepodobnosť, že čas prevádzkových prestojov spôsobený zásobníkom je menší než hodnota  $x$  môžeme vyjadriť nasledovne:

$$P(t_{zo} < 0) = 1 - e^{-\varphi(V_b)} \cdot e^{-n_k \cdot x} \quad (6)$$

The optimal bunker capacity is obtained by defining and by solving the function  $\varphi(V_b)$ . After introducing the costs of performance and resources of the bunker in the unit of time  $C_b$  and by minimizing the function  $C(V_b)$  it is possible to obtain the optimal bunker capacity:

$$V_{bopt} = \frac{\sigma_n^2}{k_m \cdot a \cdot (z-1)} \cdot \ln \frac{C_g \cdot k_m^2 \cdot a^2 \cdot (z-1)}{C_b \cdot \sigma_n^2} - \frac{Q_k}{\gamma_n}, \quad (7)$$

Optimálna kapacita zásobníka je získaná definovaním a riešením funkcie  $(V_b)$ . Potom čo sú uvedené prevádzkové náklady a zásoby v zásobníku za jednotku času  $C_b$  a pri minimalizovaní funkcie  $C(V_b)$  je možné získať optimálnu kapacitu zásobníka:

$$V_{bopt} = \frac{\sigma_n^2}{k_m \cdot a \cdot (z-1)} \cdot \ln \frac{C_g \cdot k_m^2 \cdot a^2 \cdot (z-1)}{C_b \cdot \sigma_n^2} - \frac{Q_k}{\gamma_n}, \quad (7)$$

where  $\gamma_n$  represents the bulk density of the loose coal.

kde  $\gamma_n$  reprezentuje objemovú hmotnosť voľného uhlia.

If the ratio  $\frac{\sigma_n^2}{k_m^2 \cdot a^2} \rightarrow 0$ , then the optimal bunker capacity may be approximately determined by the following formula:

$$V_{bopt} = \frac{k_m \cdot a}{n_k} \cdot \ln \frac{C_g \cdot n_k}{C_b} - \frac{Q_k}{\gamma_n} \quad (8)$$

Ak pomer  $\frac{\sigma_n^2}{k_m^2 \cdot a^2} \rightarrow 0$ , potom optimálna kapacita zásobníka môže byť približne určená podľa nasledujúceho vzorca:

$$V_{bopt} = \frac{k_m \cdot a}{n_k} \cdot \ln \frac{C_g \cdot n_k}{C_b} - \frac{Q_k}{\gamma_n} \quad (8)$$

Figure 4 shows how the optimal bunker capacity varies depending on the rate of coal inflow into the bunker "a" and on the number of trains  $n_k$ , which have a load bearing capacity of 60 tons of useful load.

Obrázok 4 znázorňuje ako sa mení optimálna kapacita zásobníka v závislosti od veľkosti intenzity toku uhlia smerom do zásobníka "a" a od počtu vlakov  $n_k$ , ktoré majú nosnosť 60 ton.

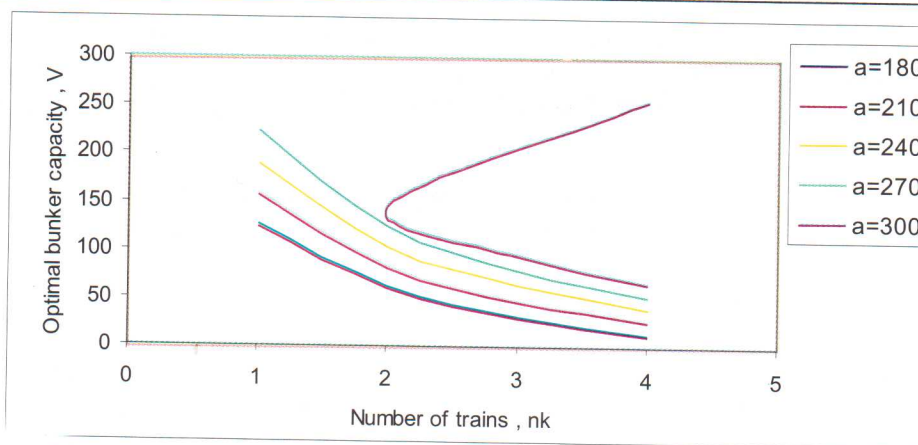


Figure 4 Bunker capacity depending on coal inflow and the number of trains  
 Obrázok 4 Kapacita zásobníka v závislosti od intenzity toku uhlia a počtu vlakov

In most cases when locomotive haulage systems are used the installation of bunkers for coal loading into wagons is technically and economically justified. However, frequently the mining and geological conditions impose certain limitations, reducing the prospects of bunker installation near the face. Therefore, direct loading of wagons is not rare. This requires a larger number of wagons, which must be placed at the loading point.

#### 4. CONCLUSION

Increasingly difficult conditions of underground coal mining require a rationalization and optimization of all technological processes. In case of locomotive haulage systems this requirement is even more emphasized, particularly in the designing stage and for the development of new or reconstruction of available haulage systems.

There are numerous train arrangement variants, but only a few are justifiable. This requires a precise coordination of locomotives and wagons and the rationalization of train arrangement. The basic criteria that should be applied are tractive or haulage forces, safe braking, train length and the number of wagons imposing rational limitations. Apart from determining the rational parameters for locomotive haulage it is also very important to establish the optimal number of trains for the given output along with a constant load bearing capacity of the train. Moreover, for the systems with bunkers it is necessary to make optimal dimensioning of loading bunker placed at the beginning of the haulage system.

Vo väčšine prípadov keď lokomotívové dopravné systémy používajú zásobníky na plnenie vozíkov uhlím sú po technickej a ekonomickej stránke vyrovnané. Ale, frekventovaná ťažba a geologické pomery spôsobujú určité obmedzenia, znižujúce možnosti umiestnenia zásobníka blízko pri čel'be. Preto, priame plnenie vozíkov nie je zriedkavé. Toto si vyžaduje väčší počet vozíkov, ktoré musia byť umiestnené na plniacom mieste.

#### 4. ZÁVER

Stále ťažšie podmienky v podzemnom uhoľnom baníctve vyžadujú racionalizáciu a optimalizáciu všetkých technologických procesov. V prípade lokomotívovej dopravy táto požiadavka je dokonca ešte viac zvýraznená, hlavne v etape projektovania a pri vývoji nového systému lokomotívovej dopravy alebo pri jeho rekonštrukcii.

Existuje mnoho variantných usporiadaní vlakovkej súpravy, avšak len pár je opodstatnených. Toto si vyžaduje presnú koordináciu lokomotív a vozíkov a racionalizáciu zoradenia vlakov. Základnými kritériami, ktoré by mali byť použité sú ťažná sila lokomotívy na háku a na obvode kolesa, bezpečná brzdná dráha, dĺžka vlaku a počet vozíkov, ktoré stanovujú racionálne obmedzenia. Zvlášť spôsob určujúci racionálne parametre pre lokomotívovú dopravu je tiež veľmi významný, pretože stanovuje optimálny počet vlakov pre danú kapacitu súčasne s konštantnou nosnosťou vlaku. Navyše, pre systémy so zásobníkmi je potrebné optimálne nadimenzovať plnenie zásobníka umiestneného na začiatku dopravného systému.

#### REFERENCES / LITERATÚRA:

- [1] Grujić, M.: IZBOR TRANSPORTNIH SISTEMA U RUDNICIMA UGLJA, RGF Beograd, 1992
- [2] Grujić, M.: IZBOR TRANSPORTNOG SISTEMA U HORIZONTALNIM PODZEMNIM PROSTORIJAMA. Čas. Podzemni radovi, br.2, RGF Beograd, 1993
- [3] Grujić, M. at all: AUSWAHL DES TRANSPORTSYSTEM IN KLEINEN KOHLEBERGWERKEN, CNEM '97, Petrosani, Romania, 1997.
- [4] Ponomarenko, V.A.: SISTEMY PODZEMNOGO TRANSPORTA NA UGOL'NYH SHAHTAH. Nedra, Moskva, 1975.