

МОДЕЛ ОПТИМИЗАЦИЈЕ ИЗБОРА МЕХАНИЗАЦИЈЕ И
ТРАНСПОРТНИХ СРЕДСТАВА НА ПРИМЕРУ ДИСКОНТИНУАЛНОГ
ОТКОПАВАЊА И ТРАНСПОРТА УГЉА НА ЛОКАЛИТЕТУ СКОБАЉ
(„ТАМНАВА ЗАПАДНО ПОЉЕ“) ПРИМЕНОМ ЛИНЕАРНОГ
ПРОГРАМИРАЊА И ПОУЗДАНОСТИ СИСТЕМА

MODEL OF OPTIMIZATION OF THE CHOICE OF MACHINERY AND
MEANS OF TRANSPORT ON THE EXAMPLE OF DISCONTINUOUS
COAL MINING AND TRANSPORT AT THE SKOBALJ SITE
(„TAMNAVA WEST FIELD“) BY APPLYING LINEAR
PROGRAMMING AND SYSTEM RELIABILITY

DOI: 10.5937/RG2402097C

Стручни рад
Expert Paper

Саша Цвијић
Колубара Грађевинар, Лазаревац
sasac@kglgrad.com

Saša Cvijić
Kolubara Građevinar, Lazarevac
sasac@kglgrad.com

Примљен 5 јуна 2024; Рецензиран 16 децембра 2024; Прихваћен 17 децембра 2024.

Received 5 June 2024; Received in revised 16 Decembre 2024; Accepted 17 Decembre 2024

Сажетак: Ефикасан избор механизације и транспортних средстава може значајно утицати на продуктивност и трошкове експлоатације. У раду се анализирају две варијанте, коришћењем линеарног програмирања узимајући у обзир поузданост система, са циљем смањења трошкова уз задовољење дневне капацитетности. Циљ рада је развијати модел који минимизује укупне трошкове дисконтинуалног откопавања и транспорта угља, уз поштовање ограничења капацитетности и производних захтева.

Кључне речи: ДИСКОНТИНУАЛНО ОТКОПАВАЊЕ, ТРАНСПОРТ, МАШИНЕ, ЛИНЕАРНО ПРОГРАМИРАЊЕ, ПОУЗДАНОСТ СИСТЕМА

Abstract: An efficient choice of machinery and means of transport can significantly affect productivity and labour costs. This paper analyzes two variants, using linear programming taking into account the reliability of the system, with the aim of reducing costs while satisfying daily capacity. The aim of this paper is to develop a model that minimizes the total cost of discontinuous coal mining and transportation, while respecting capacity constraints and production requirements.

Key words: DISCONTINUOUS EXCAVATION, TRANSPORT, MACHINES, LINEAR PROGRAMMING, SYSTEM RELIABILITY

УВОД

Привредно друштво за извођење грађевинских радова у рударској инфраструктури и

INTRODUCTION

The company for construction works in mining infrastructure and excavation of non-

експлоатацију неметала “Колубара Грађевинар” из Лазареваца бави се пружањем услуга из области грађевинарства, производњом асфалта, бетона и столарије, изнајмљивањем транспортних средстава и механизације, производњом воћних садница, експлоатацијом неметала (ватро-стално-керамичка глина, кречњак као ТГК и карбонатна сировина, гранодиорит као АГК и ТГК) и производњом креча.

Од половине 2022. године, предузеће „Колубара-Грађевинар” из Лазареваца ангажовано је на послу дисконтинуалног откопавања угља на локалитету „Скобаљ” и транспорту откопаног угља до „Дробилане” – „Тамнава Западно поље”. У периоду од половине јуна 2022. године до краја априла 2024. године откопано је и транспортовано 1.425.000 тона угља.

ЛОКАЦИЈА, ОПИС РАДОВА И ПЛАНИРАНИ УЧИНАК

На слици 1 приказана је деоница по којој се транспортује откопани угаљ. Транспорт откопаног угља врши се макадамским путем (насутим шљаком) по радилишту/површинском копу, мрежом асфалтираних локалних путева у оквиру површинског копа до магистралног пута М22 (Е-763) („Ибарска магистрала”), и даље до „Тамнавске петље”, а затим регионалним путем Р145 до места истоваара (Дробилане). Просечна дужина транспортне деонице износи 17 километара.

Посао дисконтинуалног откопавања и транспорта угља организован је у једној смени (са прерасподелом радног времена) у трајању од 12 часова, сваки дан у години. Радови на дисконтинуалном откопавању изводе се по Упрошћеном рударском пројекту „Дисконтинуално откопавања и транспорта угља на локалитету „Скобаљ”.

Планирани дневни учинак на откопавању и транспорту износи 2.000 тона угља дневно, односно око 145 м³/h.

metals of „Kolubara Građevinar” (“Kolubara Constructor”) from Lazarevac is engaged in the provision of services in the field of construction, production of asphalt, concrete and joinery, rental of means of transport and mechanization, production of fruit seedlings, extraction of non-metals (refractory ceramic clay, limestone as TKG and carbonate raw material, granodiorite as AGK and TKG) and production of lime.

Since mid-2022, the company “Kolubara-Građevinar” has been engaged in the work of discontinuous coal mining at the “Skobalj” site and transport of the excavated coal to “Drobilana” – “Tamnava West Field”. In the period from mid-June 2022 to the end of April 2024, 1,425,000 tons of coal were drawn out and transported.

LOCATION, DESCRIPTION OF WORKS AND PLANNED EFFECT

Figure 1 shows the section on which the excavated coal is transported. Transport of excavated coal will be carried out by macadam road (filled with slag) on the site/open-pit mine, along the network of asphalted local roads within the open-pit mine to the main road M22 (E-763) (“Ibar Highway”), and further to the “Tamnava Interchange”, and then by regional road R145 to the place of unloading (Drobilane). The average length of the transport section is 17 kilometers.

The work of discontinuous mining and transport of coal is organized in one shift (with the redistribution of working hours) for 12 hours, every day of the year. Works on discontinuous excavation are carried out in accordance with the Simplified Mining Project “Discontinuous Mining and Transport of Coal at the “Skobalj” Site.

The planned daily output on excavation and transport is 2,000 tons of coal per day, or about 145 m³/h.



Слика 1, Приказ транспортне деонице од места дисконтинуалног откопавања угља до места истовара

Figure 1, Presentation of the transport section from the place of discontinuous coal mining to the place of unloading

ПОЛАЗНЕ ОСНОВЕ ЗА ИЗБОР МАШИНА

Неопходно је нагласити, да је откопка на простору на коме се врши дисконтинуално откопавање угља уклоњена пре десетак година, тако да је сам технолошки процес откопавања и транспорта угља подељен на следеће радне операције:

- откопавање угља,
- утовар у камионе,
- транспорт угља до Дробилане,
- истовар угља.

Због специфичних лежишних услова, габарита механизације и транспортних средстава примењене су две варијанте за обављање посла дисконтинуалног откопавања и транспорта угља. У табели 1 дат је приказ изабране механизације и транспортних средстава са којима се реализује дисконтинуално откопавање и транспорт угља. Приказане су две варијанте које могу задовољити потребе технолошког процеса (слика 2).

STARTING POINTS FOR CHOOSING A MACHINE

It is necessary to emphasize that the overburden in the area where the discontinuous coal mining is carried out was removed about ten years ago, so that the technological process of coal mining and transport is divided into the following work operations:

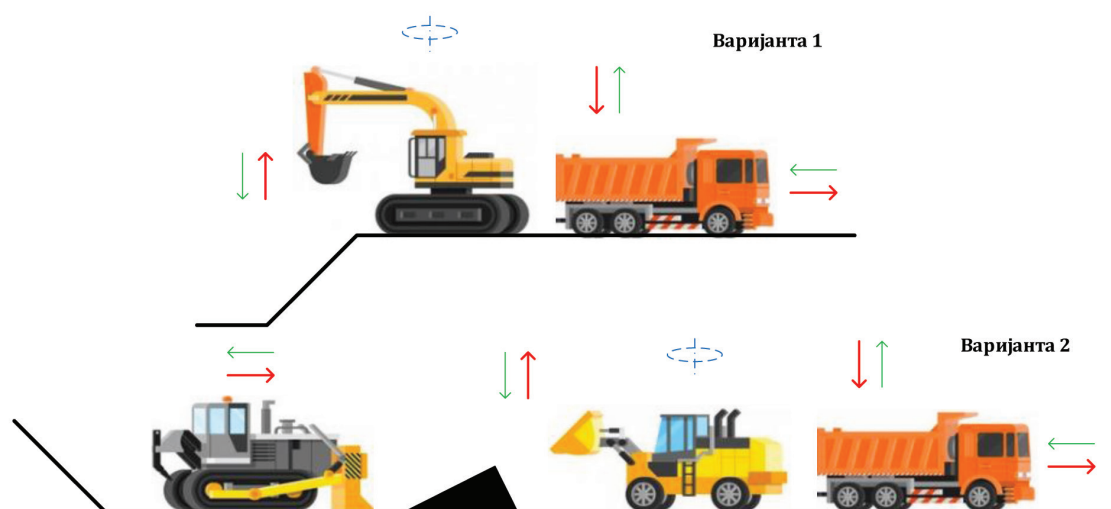
- coal mining,
- loading into trucks,
- transport of coal to the plant.
- unloading of coal.

Due to the specific reservoir conditions, the dimensions of the machinery and the means of transport, two variants were used to perform the work of discontinuous excavation and transport of coal. Table 1 provides an overview of the selected machinery and means of transport with which continuous mining and transport of coal is carried out. Two variants are shown that can meet the needs of the technological process (Figure 2).

Табела 1, Шире избор механизације и транспортних средстава

Table 1 Wider choice of machinery and means of transport

Варијанта Variant	Машина Machine	Радна операција Working operation		
		Ископ Excavation	Утовар Loading	Транспорт и истовар Transport and unloading
1	Багер / Bagger	☐	☐	
	Камион / Truck			☐
2	Булдозер / Bulldozer	☐		
	Утоваривач / Loader		☐	
	Камион / Truck			☐

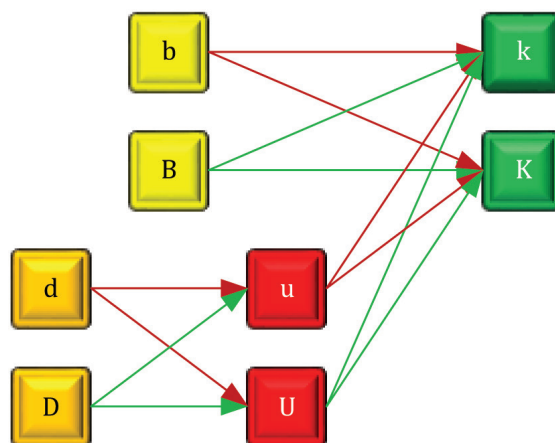


Слика 2, Приказ технолошког процеса по варијантама

Figure 2, Presentation of the technological process by variants

С обзиром на горе изнето, две варијанте разматрања технолошког процеса за дисконтинуално откопавање и транспорт угља сведе се на дванаест верзија радних група машина (слика 3 и табела 2).

In view of the above, the two variants of considering the technological process for discontinuous coal mining and transport are reduced to twelve versions of machine working groups (Figure 3).



Слика 3, Могуће верзије технолошког процеса

Figure 3, Possible versions of the technological process

ПОЛАЗНИ ПАРАМЕТРИ

У наредној табели 2 приказани су полазни параметри механизације и транспортних средстава која се користи у послу и на основу којих би требало да добијемо (изаберемо) оптималну варијанту. Под овим параметрима се подразумевају врста и тип машине, цена радног сата, поузданости и практични учинак и преузети су из документационог материјала предузећа „Колубара-Грађевинар“.

Табела 2, Подаци о механизацији и транспортним средствима
 Table 2, Data on machinery and means of transport

i	j	Врста машине Machine	Ознака Mark	Марка и тип Brand and type	Цена радног сата Hourly rate [€/h]	Поузданост Reliability	Учинак Performance [m ³ /h]	
							Варијанта Variant	
							1.	2.
1	1	Булдозер Bulldozer	d	Caterpillar CAT D6	100,00	0,9375030		379
1	2	Булдозер Bulldozer	D	Caterpillar CAT D8	135,00	0,9544080		558
2	1	Багер Bagger	b	LiuGong 925E	66,70	0,9548700	135	
2	2	Багер Bagger	B	Hyundai R290E	70,00	0,9604560	146	
3	1	Утоваривач Loader	u	LiuGong CLG 856	67,50	0,9655170		437
3	2	Утоваривач Loader	U	XCMAG ZL50GV	76,00	0,9664940		470
4	1	Камион Track	k	Iveco Trakker (8x4)	61,00	0,8749970	12,2	12,8
4	2	Камион Track	K	Iveco Trakker (4x2)	63,50	0,8964060	17,1	18,1

ДЕФИНИСАЊЕ ФУНКЦИЈЕ И РЕШЕЊЕ (КОНАЧНИ ИЗБОР МАШИНА)

Циљна функција је концепт који се често користи у математичком програмирању и операционим истраживањима. То је математички израз који треба оптимизовати, односно максимизирати или минимизирати, у оквиру задатог проблема оптимизације. Циљна функција обично зависи од једног или више променљивих и може имати различите облике, у зависности од природе проблема. Неки од основних аспеката циљне функције су:

STARTING PARAMETERS

The following table 2 shows the initial parameters of machinery and means of transport used in the business and on the basis of which we should obtain (choose) the optimal variant. These parameters include the type and kind of machine, price of working hours, reliability and practical performance which are taken from the documentation material of the company «Kolubara-Grđevinar».

DEFINING THE FUNCTION AND SOLUTION (FINAL SELECTION OF THE MACHINE)

A target function is a concept that is often used in mathematical programming and operations research. It is a mathematical expression that needs to be optimized, that is, maximized or minimized, within a given optimization problem. A target function usually depends on one or more variables and can take different forms, depending on the nature of the problem. Some of the basic aspects of the target function are:

- дефинисање проблема (конкретни циљ),
- променљиве,
- ограничења.

- definition of the problem (specific objective),
- variable
- restrictions.

Циљна функција може се написати као:

The target function can be written as:

$$F_{min} = \sum_{i=1, N_k; j=1, n_i} \frac{Crs_{ij}}{P_{ij} \cdot Up_{ij,k}} \cdot X_{ij} \left[\frac{\text{€}}{\text{m}^3} \right]$$

где су:

where they are:

Crs_{ij} – цена радног сата машине [€/h];

Crs_{ij} – the cost of working hour of the machine [€/h];

P_{ij} – поузданост машине;

P_{ij} – the reliability of the machine;

Up_{ij} – практичан учинак машине [m^3/h];

Up_{ij} – the practical effect of the machine [m^3/h];

X_{ij} – број машина;

X_{ij} – the number of machines;

N – број различитих врста машина у варијанти k .

N – the number of different types of machines in variant k .

Услови ограничења изражавају се преко једначине:

The conditions of restriction are expressed in terms of the equation:

$$\sum_{j=1}^{n_i} P_{ij} \cdot Up_{ij,k} \cdot X_i \geq Q_d \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right], i = 1, N; x_{ij} \geq 0$$

где је:

where they are:

Q_d – дневни капацитете на дисконтинуалном откопавању и транспорту угља [m^3/h].

Q_d – daily capacities for discontinuous coal mining and transport [m^3/h].

ВАРИЈАНТА 1

VARIANT 1

Циљна функција коју треба минимизирати је:

The target function to be minimized is:

$$\min F_I = \frac{135}{66,7 \cdot 0,95487} \cdot X_b + \frac{146}{70 \cdot 0,960456} \cdot X_B + \frac{12,2}{61 \cdot 0,874997} \cdot X_k + \frac{17,1}{63,5 \cdot 0,896406} \cdot X_K$$

$$\min F_I = 2,12 \cdot X_b + 2,17 \cdot X_B + 0,229 \cdot X_k + 0,3 \cdot X_K$$

Ограничења циљне функције су:

The limitations of the target function are:

1. $66,7 \cdot 0,95487 \cdot X_b + 70 \cdot 0,960456 \cdot X_B \geq 145$
 $63,7 \cdot X_b + 67,2 \cdot X_B \geq 145$
2. $61 \cdot 0,874997 \cdot X_k + 63,5 \cdot 0,896406 \cdot X_K \geq 145$
 $53,4 \cdot X_k + 56,9 \cdot X_K \geq 145$

Добијене вредности, ради прегледности приказане су у „simplex“ табели 3:

For the sake of clarity, the obtained values are shown in the “simplex” table 3:

Табела 3, Добијене вредности променљивих S_1 , S_2 и F

Table 3, Obtained values of variables S_1 , S_2 and F

Променљива Variable	X_b	X_B	X_k	X_K	Слободни члан Free item
S_1	129	140	0	0	145
S_2	0	0	10,7	15,3	145
F	-0,517	-0,499	-8,52	-6,1	0

ВАРИЈАНТА 2

VARIANT 2

Циљна функција коју треба минимизирати је:

The target function to be minimized is:

$$\begin{aligned} \min F_2 = & \frac{379}{100 \cdot 0,937503} \cdot X_d + \frac{558}{135 \cdot 0,954408} \cdot X_D + \frac{437}{67,5 \cdot 0,965517} \cdot X_u + \\ & + \frac{470}{76 \cdot 0,966494} \cdot X_U + \frac{12,8}{61 \cdot 0,874997} \cdot X_k + \frac{17,1}{63,5 \cdot 0,896406} \cdot X_K \\ \min F_2 = & 4,04 \cdot X_d + 4,33 \cdot X_D + 6,71 \cdot X_u + 6,4 \cdot X_U + 0,24 \cdot X_k + 0,3 \cdot X_K \end{aligned}$$

Ограничења циљне функције су:

The limitations of the target function are:

- $100 \cdot 0,937503 \cdot X_b + 135 \cdot 0,954408 \cdot X_B \geq 145$
 $93,8 \cdot X_b + 129 \cdot X_B \geq 145$
- $67,5 \cdot 0,965517 \cdot X_u + 76 \cdot 0,966494 \cdot X_U \geq 145$
 $65,2 \cdot X_u + 73,5 \cdot X_U \geq 145$
- $61 \cdot 0,874997 \cdot X_k + 63,5 \cdot 0,896406 \cdot X_K \geq 145$
 $53,4 \cdot X_k + 56,9 \cdot X_K \geq 145$

Добијене вредности, ради прегледности приказане су у „simplex“ табели 4:

For the sake of clarity, the obtained values are shown in the “simplex” table 4:

Табела 4, Добијене вредности променљивих S_1 , S_2 , S_3 и F

Table 4, Obtained values of variables S_1 , S_2 , S_3 and F

Променљива Variable	X_d	X_D	X_u	X_U	X_k	X_K	Слободни члан Free item
S_1	355	533	0	0	0	0	145
S_2	0	0	422	454	0	0	145
S_3	0	0	0	0	11,2	15,3	145
F	-0,281	-0,253	-0,16	-0,167	-8,13	-6,1	0

Решење линеарног програмског проблема извршено је коришћењем програмског алати *Excel Solver*:

The solution of a linear programming problem is accomplished using a programming tool *Excel Solver*:

Први корак, за варијанту 1 је унос података у *Excel* радни лист:

The first step, for variant 1, is to enter the data into an *Excel* worksheet:

- Унос коефицијената циљне функције и ограничења у *Excel* табелу.

- Entering target function coefficients and constraints into an *Excel* table.

Вредности циљне функције се уносе: у ћелију B3, 135 (вредност за X_b), у ћелију

The values of the target function are entered: in cell B3,135 (value for X_b), in cell C3,146

C3, 146 (value for X_B), у клітині D3, 12,2 (value for X_K) and у клітині E3, 17,1 (value for X_K).

Вредности за ограничење циљне функције се уносе: у клітині B7, 63,7 (value for X_b), у клітині C7, 67,2 (value for X_b), у клітині D8, 53,4 (value for X_K) and у клітині E3, 56,9 (value for X_K). У клітині D7, E7, B8 and C8 уноси се вредност 0 (нула).

- Унос иницијалних вредности.
У клітині B4, C4, D4 and E4 уноси се 0 (нула), иницијалне вредности за X_b , X_B , X_K and X_K .
- Унос формула за циљну функцију.
У клітині F3 уноси се формула =SUMPRODUCT(B3:E3;B\$4:E\$4).
- Унос формула за ограничење.
У клітині F7 уноси се формула =SUMPRODUCT(B7:E7;B\$4:E\$4).
У клітині F8 уноси се формула =SUMPRODUCT(B8:E8;B\$4:E\$4).
- Унос формула за усвојене (коначне) вредности – заокруживање иницијалних вредности (на први већи, цели број).
У клітині B9 уноси се формула =ROUNDUP(B4;0).
У клітині C9 уноси се формула =ROUNDUP(C4;0).
У клітині E9 уноси се формула =ROUNDUP(E4;0).

(value for X_B), in cell D3,12,2 (value for X_K), and in cell E3,17,1 (value for X_K).

The values for the target function constraint are entered: in cell B7, 63.7 (value for X_b), in cell C7, 67.2 (value for X_b), in cell D8, 53.4 (value for X_K), and in cell E3, 56.9 (value for X_K). In cells D7, E7, B8, and C8, enter the value 0 (zero).

- A few initial values.
Cells B4, C4, D4, and E4 contain 0 (zero), the initial values for X_b , X_B , X_K , and X_K .
- A formula for a target function.
In cell F3, enter the formula =SUMPRODUCT(B3:E3;B\$4:E\$4).
- A formula for the restriction.
In cell F7, enter the formula =SUMPRODUCT(B7:E7;B\$4:E\$4).
In cell F8, enter the formula =SUMPRODUCT(B8:E8;B\$4:E\$4).
- Entering formulas for adopted (final) values – rounding the initial values (to the first larger, integer).
In cell B9, enter the formula =ROUNDUP(B4;0).
In cell C9, enter the formula =ROUNDUP(C4;0).
In cell E9, the formula =ROUNDUP(E4;0).

	A	B	C	D	E	F
1						
2		X_b	X_B	X_K	X_K	
3	Функција Function	0,517	0,499	8,52	6,1	0
4	Иницијалне вредности Initial values	0	1,03571	0	9,47712	
5						
6						
7	Ограничења Limitations	129	140	0	0	0
8		0	0	10,7	15,3	0
9	Усвојене вредности Taken values	0	0	0	0	0

Слика 4. Изглед радног листа у Excel-у после уноса података (за варијанту 1)

Figure 4. Layout of a worksheet in Excel after data entry (for variant 1)

- Унос формуле за исписивање тачне вредности после решења циљне функције и усвојених вредности.

У ћелију F9 уноси се формула
 =SUMPRODUCT(B9:E9;B\$3:E\$3).

Изглед *Excel* радног листа после уноса података описаног у првом кораку приказан је на слици 4.

Други корак, за варијанту 1 је покретање програмског алата *Excel Solver*.

- Отварање *Excel Solver*.

На картици *Data (Podaci)* у *Excel*-у групи *Solver* кликнути на *Solver*¹.

- Постављање параметара у *Excel Solver*.

Када се отвори картица *Solver Parameters* у *Set Objective*: неопходно је изабрати ћелију F3 (ћелија са циљном функцијом). Код опције *To*: изабрати дугме за опцију *Min*. У опцији *By Changing Variable Cells*: изабрати ћелије од B4 до E4.

- Додавање ограничења.

Кликнути на дугме *Add*. У картици *Add Constraint*, у прозору *Cell Reference*: изабрати ћелију B7, а у прозору *Relation*: изабрати „>=“ и на крају у прозору *Constraint*: уписати 145 (планирани дневни учинак) (слика 5). Затим поново треба притиснути дугме *Add* да би се додало друго ограничење. У прозору *Cell Reference*: изабрати ћелију C7, а у прозору *Relation*: изабрати „>=“ и на крају у прозору *Constraint*: поново уписати 145. С обзиром да су унета сва ограничења, потребно је притиснути дугме *OK*, да би се вратили у прозор *Solver Parameters*.

- Entering a formula to print the exact value after solving the target function and the adopted values

In cell F9, enter the formula =
 SUMPRODUCT(B9:E9; B\$3:E\$3).

The layout of the *Excel* worksheet after entering the data described in the first step is shown in Figure 4.

The second step, for variant 1, is to run the *Excel Solver* programme tool.

- Opening *Excel Solver*.

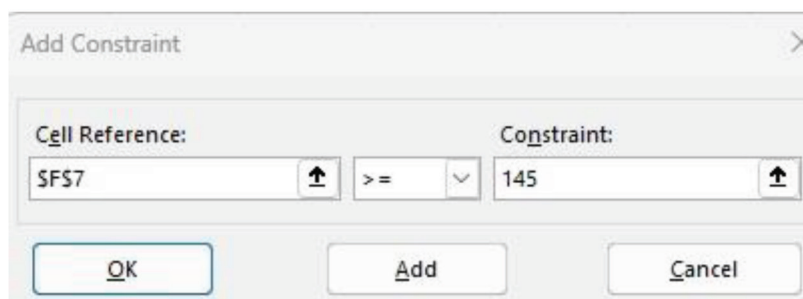
On the *Data tab* in *Excel*, in the *Solver* group, click *Solver*¹.

- Setting parameters in *Excel Solver*.

When the *Solver Parameters* tab is opened in *Set Objective*: it is necessary to select cell F3 (the cell with the target function). *To* option: Select the button for the *Min* option. In the *By Changing Variable Cells* option: select cells from B4 to E4.

- Adding restrictions

Click on the *Add* button. In the *Add Constraint* tab, in the *Cell Reference*: select cell B7, in the *Relation*: select „> =“ and finally in the window *Constraint*:, type 145 (planned daily output) (Figure 5). Then the *Add* button should be pressed again to add another constraint. In the window *Cell Reference*: select cell C7, and in the window *Relation*: select „> =“ and finally in the *Constraint* window, type 145 again. Since all the constraints have been entered, you need to press the *OK* button to return to the *Solver Parameters* window.



Слика 5, Приказ картице *Add Constraint* (унос првог ограничења *Xb* у варијанти 1)

Figure 5, Display of the *Add Constraint* tab (entering the first constraint *Xb* in variant 1)

¹ Ако се не види команда *Solver* неопходно је инсталирати *Solver* тако што се оде у *Excel Options* у групу *Add-ins*.

- Избор методе рада Solver-а.

У прозору *Select a Solving method*:
 изабрати *Simplex LP*.

- Choice of Solver's working method.

In the *Select a Solving method* window:
 select *Simplex LP*.

Слика 6, Изглед картице *Solver Parameters* после уноса податка за прву варијанту

Figure 6, Appearance of the *Solver Parameters* tab after entering data for the first variant

- Покретање Solver-а.
- После уноса свих података (слика 6) неопходно је притиснути дугме *Solve*. Отвориће се картица *Solver Results* где треба проверити да ли је изабрано окно *Keep Solver Solution* (задржати решење Solver-а), а затим притиснути OK.

Након уноса података, *Excel Solver* ће израчунати оптималне вредности за променљиве X_b , X_B , X_k и X_K , које минимизују циљну функцију уз задовољење датих ограничења. Резултати ће бити приказани у ћелијама B4, C4, D4 и E4, док ће минимална вредност циљне функције бити приказана у ћелији F3 (слика 7).

- Launch of the Solver.
- After entering all the data (Figure 6), it is necessary to press the *Solve* button. The *Solver Results* tab will open where you need to make sure that the *Keep Solver Solution* pane is selected, and then press OK.

After entering the data, *Excel Solver* calculates the optimal values for the variables X_b , X_B , X_k , and X_K , which minimize the target function while satisfying the given constraints. The results will be displayed in cells B4, C4, D4, and E4, while the minimum value of the target function will be displayed in cell F3 (Figure 7).

	A	B	C	D	E	F
1						
2		X_b	X_B	X_k	X_K	
3	Функција Function	0,517	0,499	8,52	6,1	58,327
4	Иницијалне вредности Initial values	0	1,03571	0	9,47712	
5						
6						
7	Ограничења Limitations	129	140	0	0	145
8		0	0	10,7	15,3	145
9	Усвојене вредности Taken values	0	2	0	10	61,998

Слика 7, Изглед радног листа у Excel-у са добијеним решењима после примене програма Excel Solver (за варијанту 1)

Figure 7, Layout of a worksheet in Excel with the resulting solutions after applying the Excel Solver program tool (for variant 1)

Решење за варијанту 1 је:

The solution for variant 1 is:

$$X_b=0; X_B=2; X_k=0; X_K=10$$

$$\min F_1 = 62,00 \frac{\text{€}}{\text{m}^3}$$

С обзиром да је поступак уноса података за програмски алат Excel Solver детаљно описан у варијанти 1, за варијанту 2 само ће се приказати изглед радног листа у Excel-у после примене програмског алата Excel Solver (слика 8).

Since the data entry procedure for Excel Solver is described in detail in Variant 1, for Variant 2, only the appearance of the worksheet in Excel after applying Excel Solver will be displayed (Figure 8).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2		X_d	X_D	X_u	X_U	X_k	X_K	
3	Функција Function	0,281	0,253	0,16	0,167	8,13	6,1	57,9326
4	Иницијалне вредности Initial values	0	0,27205	0	0,31938	0	9,47712	
5								
6								
7	Ограничења Limitations	355	533					145
8				422	454			145
9						11,2	15,3	145
10	Усвојене вредности Taken values	0	1	0	1	0	10	61,42

Слика 8, Изглед радног листа у Excel-у са добијеним решењима после примене програма Excel Solver (за варијанту 2)

Figure 8, Layout of a worksheet in Excel with the resulting solutions after applying the Excel Solver program tool (for variant 1)

Решење за варијанту 2 је:

The solution for variant 2 is:

$$X_d=0; X_D=1; X_u=0; X_U=1; X_k=0; X_K=10$$

$$\min F_2 = 61,42 \frac{\text{€}}{\text{m}^3}$$

На основу добијених решења долази се до закључка да варијанта 2 има минималну вредност циљне функције и задатих ограничења:

On the basis of the solutions obtained, it is concluded that variant 2 has a minimum value of the target function and the given constraints:

$$F = \min\{F_1; F_2\} = F_2 = 61,42 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Практичан учинак радова за изабрану варијанту 2 (булдозер већи – утоваривач већи – камион већи) износи:

The practical effect of the works for the selected variant 2 (bulldozer larger – loader larger – truck larger) is:

$$U_{P.radova} = \min \left\{ \sum_{j=1}^{n_i} X_{ij} \cdot P_{ij} \cdot U_{Pij}, k=2 \right\} = 1 \cdot 0,9544080 \cdot 558 + 1 \cdot 0,9664940 \cdot 470 + 10 \cdot 0,8964060 \cdot 18,1$$

$$U_{p.radova} = \min \{535; 454; 160\} = 160 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} > 145 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

ЗАКЉУЧАК

CONCLUSION

Варијанта 2 је изабрана јер има минималну вредност циљне функције и задатих услова ограничења. На основу изабраног, процењена вредност радова на дисконтинуалном откопавању и транспорту угља износи 61,42 €/m³. За реализацију, било би потребно да се ангажује један (већи) булдозер, један (већи) утоваривач и десет (већих) камиона.

Variant 2 is chosen because it has a minimum value of the target function and the given constraint conditions. Based on the selected, the estimated value of the works on discontinuous mining and transport of coal is 61.42 €/m³. To achieve this, it would be necessary to hire one (larger) bulldozer, one (larger) loader and ten (larger) trucks.

Разлика у цени између варијанте 2 и варијанте 1 износи 0,58 €/m³, односно 0,944%. Код количина од на пример милион кубика угља, разлика је 580.000 €.

The price difference between variant 2 and variant 1 is 0.58 €/m³, or 0.944%. For example, one million cubic meters of coal, the difference is €580,000.

Као кључно ограничење овог модела намеће се немогућност сагледавања свих реалних услова на терену и недовољна тачност улазних података. У случају промене параметара модел би давао другачије резултате. Неопходно је испитати његову осетљивост у зависности од промене сваког од релевантних параметара како би се пронашли они који имају највећи утицај и како би се истима посветила посебна пажња у смислу пажљивијег осматрања и бележења реалних вредности.

The key limitation of this model is the inability to perceive all real conditions in the field and insufficient accuracy of the input data. In case of changing the parameters, the model would give different results. It is necessary to examine its sensitivity depending on the change in each of the relevant parameters in order to find those that have the greatest impact and to pay special attention to them in terms of more careful observation and recording of real values.

Оптималан избор механизације и транспортних средстава зависи од смањења трошкова уз задовољење капацитета и поузданости. Модел приказан у овом раду, пружа добру основу за доношење одлуке при избору механизације и транспортних средстава при дисконтинуалном раду.

The optimal choice of machinery and means of transport depends on reducing costs while satisfying capacity and reliability. The model presented in this paper provides a good basis for decision-making when choosing machinery and means of transport in discontinuous operation.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Драгојевић М., Дуран А., Прашчевић Н.: Модел економске оптимизације избора грађевинске механизације за земљане радове применом приступа линеарног програмирања, XLVI Симпозијум о операционим истраживањима, Кладово, 2019, стр. 565-570.
- [2] Игњатовић Д., Шубарновић Т., Ђенадић С.: Машине и помоћни радови на површинским коповима, Рударско геолошки факултет, 2021.
- [3] Игњатовић Д., Јованчић П.: Збирка задатака Машина и уређаји за површинску експлоатацију и транспорт, Рударско геолошки факултет, 2012.
- [4] Wayne L. Winston, Microsoft Excel 2019 Data Analysis and Business Modeling, Microsoft Press, 2020.
- [5] Документациони материјал предузећа „Колубара-Грађевинар“ из Лазареваца.

LITERATURE

- [1] Dragojević M., Duran A., Prašćević N.: Model ekonomske optimizacije izbora građevinske mehanizacije za zemljane radove primenom pristupa linearnog programiranja, XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima, Kladovo, 2019, str. 565-570.
- [2] Ignjatović D., Šubarnović T., Đenadić S.: Mašine i pomoćni radovi na površinskim kopovima, Rudarsko geološki fakultet, 2021.
- [3] Ignjatović D., Jovančić P.: Zbirka zadataka Mašina i uređaji za površinsku eksploataciju i transport, Rudarsko geološki fakultet, 2012.
- [4] Wayne L. Winston, Microsoft Excel 2019 Data Analysis and Business Modeling, Microsoft Press, 2020.
- [5] Dokumentacioni materijal preduzeća „Kolubara-Građevinar“ iz Lazarevca