

ИДЕЈНО РЕШЕЊЕ СТАБИЛИЗАЦИЈЕ УНУТРАШЊЕГ
ОДЛАГАЛИШТА ПОВРШИНСКОГ КОПА ПОЉЕ Б И ПОЉЕ Ц

CONCEPTUAL SOLUTION OF STABILIZATION OF INTERNAL
LANDFILL OF SURFACE MINE FIELD B AND FIELD C

DOI: 10.5937/RG2402041M

Прегледни рад

Review

Драган Милошевић
Тања Миладиновић
Жељко Праштало
Снежана Јаковљевић
Рударски институт д.о.о. Београд
dragan.milosevic@ribеograd.ac.rs

Dragan Milošević
Tanja Miladinović
Željko Praštalo
Snežana Jakovljević
Mining institute Ltd. Belgrade
dragan.milosevic@ribеograd.ac.rs

Примљен 7 марта 2024; Рецензиран 8 децембра 2024; Прихваћен 9 децембра 2024.
Received 7 March 2024; Received in revised 8 Decembre 2024; Accepted 9 Decembre 2024

Сажетак: Већина површинских копова угља је вишедеценијском производњом изексплоатисала најповољније резерве угља. Садашња производња угља одвија се у веома сложеним рударско – геолошким условима. Којови су све дубљи, присутна је велика оводњеност као и раслојавање угља. Како је евидентна близина великих и многобројних мањих али и већих речних токова, велика густина насељености и развијена инфраструктура, онда се може схватити са каквим се проблемима срећу пројектанти и рударска оператива. Посебна пажња је поклоњена решавању нестабилности унутрашњих одлагалишта која су често главни узрок у неоспостављању планиране динамике производње угља. Рад се ујаво односи на препознавање једног од могућих решења који могу дати поуздан допринос у решавању ових проблема.

Кључне речи: ПОВРШИНСКИ КОП, ОДЛАГАЛИШТЕ, ЈАЛОВИНА, ИНИЦИЈАЛНИ НАСИП, СТАБИЛНОСТ

Abstract: Most surface coal mines have excavated the most favorable coal reserves through decades of production. Current coal production is taking place in very complex mining-geological conditions. The mines are getting deeper, there is a lot of dewatering and spalling of the coal. As the proximity of large and numerous smaller and larger river flows, high population density and developed infrastructure is evident, then it can be understood what kind of problems planners and mining operatives are facing. Special attention was given to solving the instability of internal landfills, which are often the main cause of failure to realize the planned dynamics of coal production. The paper is precisely related to the recognition of one of the possible solutions that can make a reliable contribution to solving these problems.

Key words: SURFACE MINE, LANDFILL, TAILINGS, INITIAL EMBANKMENT, STABILITY

УВОД

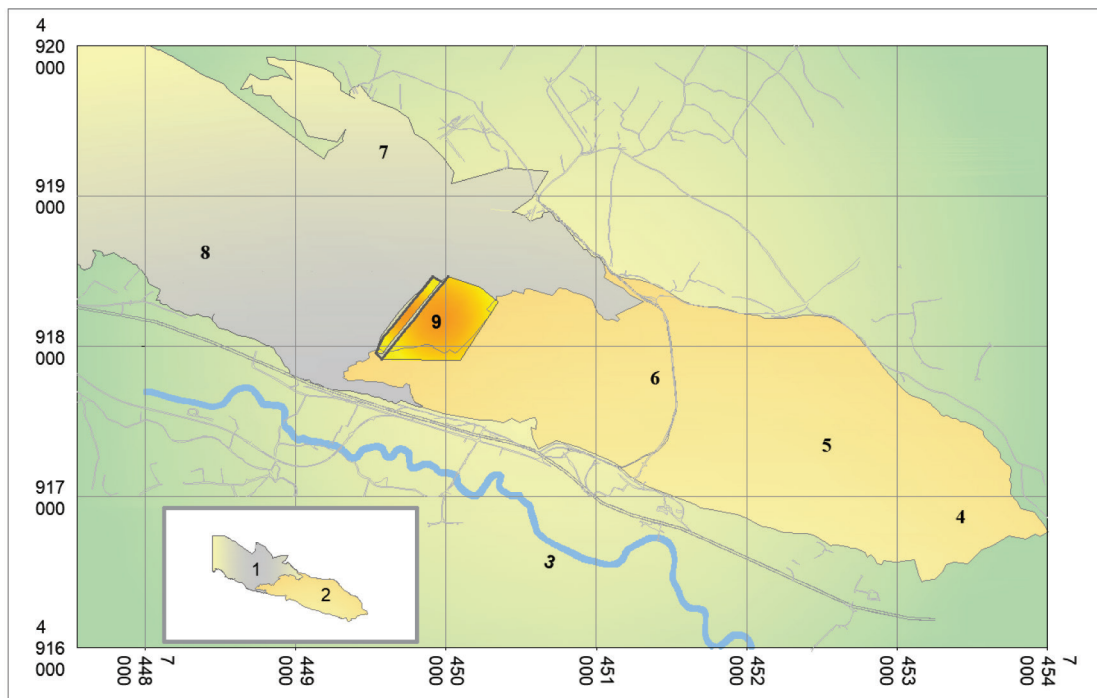
Рударски басен Колубара је највећи произвођач угља у „Електропривреди Србије“ и

INTRODUCTION

The Kolubara mining basin is the largest producer of coal in the “Electric Power Company

Републици Србији са производњом од око 30 милиона тона угља на годишњем нивоу. Недавни престанак рада површинског копа Поље Д убрзао је отварање површинских копова Поље Е и Радјева и условио повећање производње угља на ПК Поље Ц и Поље Г. ПК Поље Ц се налази у крајњем источном делу колубарског басена и представља наставак најстаријег површинског копа Поља Б. Унутрашње одлагалиште ПК Поље Ц истиче се као посебан проблем. Ради се о ширем простору који се налази највећим делом на некадашњем ПК Поље Б и делимично на ПК Поље Ц. Напредовање откопавања и одлагања одвија се према западу, према ПК Поље Е [2].

of Serbia” and the Republic of Serbia with an annual production of about 30 million tons of coal. The recent cessation of open pit mining Field D hastened the opening of open pit mines Field E and Radjev and led to an increase in coal production at Surface mine Field C and Field G. Surface mine Field C is located in the extreme eastern part of the Kolubara basin and is a continuation of the oldest surface mine Field B. The internal landfill Surface mine Field C stands out as a special problem. It is a wider area that is mostly located on the former Surface mine Field B and partially on Surface mine Field C. The progress of excavation and disposal is taking place towards the west, towards Surface mine Field E [2].



Слика 1, Прегледна карта источне дела колубарског угљеног басена [2]

Figure 1, Overview map of the eastern part of the Kolubara coal bearing basin [2]

Тумач: 1 – Откопни фронт (откривка и угљ); 2 – Одлагалиште (јаловина); 3 – Река Пештан; 4 – ПК Поље А; 5 – ПК Поље Б; 6 – ПК Поље Ц; 7 – ПК Поље Д; 8 – ПК Поље Е; 9 – Иницијални насип.

Legend: 1 – Mining front (overburden and coal); 2 – Landfill (tailings); 3 – Pestan River; 4 – Surface mine Field A; 5 – Surface mine Field B; 6 – Surface mine Field C; 7 – Surface mine Field D; 8 – Surface mine Field E; 9 – Initial embankment.

Унутрашње одлагалиште ПК Поље Б и Поље Ц, ограничено је фронтом рударских радова на угљеној етажи на западу, северном завршном косином, источно до краја пројектованог одлагалишта и јужном границом површинског копа. Приближне димензије

The internal landfill of Surface mine Field B and Field C is limited by the front of the mining operations on the coal floor to the west, the northern final slope, to the east to the end of the designed landfill and the southern border of the surface mine. The approximate

одлагалишта су 4.500 m дуж северозапад – југоисток и 1.200 m североисток – југозапад. Просечна висина одложене јаловине је око 35 m у централном делу одлагалишта и 10 m по ободу [2]. Проблем унутрашњег одлагалишта је вишеструк [2]:

- Неприпремљена подина одлагалишта за дренажање одложених маса;
- Неселективно одлагање јаловине;
- Недовољно одводњена јаловина у фронту напредовања рударских радова;
- Неефикасна заштита одлагалишта од утицаја површинских вода ван и унутар копа.

Описани проблеми узроковали су високу заводњеност одлагалишта. Ниво подземне воде на већем делу је близу површине. Одлагалишта јаловине у источном делу колубарског басена не располажу довољним простором за додатно инвестиционо одлагање јаловине из новог ПК Поље Е. Приступило се анализи могућности надвишења постојећег унутрашњег одлагалишта на ПК Поље Б и Поље Ц. Требало је решити три проблема:

- Стабилизovati постојеће одлагалиште (иницијални насип);
- Стабилизovati надвишење постојећег одлагалишта (надвишење иницијалног насипа);
- Повећати носивост постојеће површине одлагалишта за додатно одлагање (надвишење постојећег одлагалишта).

Пре спровођења свих технолошких захвата потребно је у потпуности решити све проблеме који су везани за заштиту копа од површинских и подземних вода.

ОПШТИ УСЛОВИ НА ПОВРШИНСКОМ КОПУ

Напредовање рударских радова на откопавању угља има смер север – југ. На северној страни копа, угаљ исклињава вертикално. Најнижи је у средишњем делу копа и

dimensions of the landfill are 4,500 m along the northwest – southeast and 1,200 m northeast – southwest. The average height of the deposited tailings is about 35 m in the central part of the landfill and 10 m along the skirt board [2]. The problem of the internal landfill is multiple [2]:

- Unprepared floor of the landfill for draining the disposed masses;
- Non-discriminatory waste disposal;
- Insufficiently drained tailings in front of mining progress;
- Inefficient protection of the landfill from the influence of surface water outside and inside the mine.

The described problems caused a high level of flooding in the landfill. The groundwater level is mostly close to the surface. Tailings disposal sites in the eastern part of the Kolubara basin do not have sufficient space for additional investment disposal of tailings from the new Surface mine Field E. An analysis of the possibility of overhanging the existing internal landfill at Surface mine Field B and Field C was undertaken. Three problems had to be solved:

- Stabilize the existing landfill (initial embankment);
- Stabilize the raise of the existing landfill (the raise of the initial embankment);
- Increase the load-bearing capacity of the existing landfill area for additional disposal (elevation of the existing landfill).

Before the implementation of all technological interventions, it is necessary to completely solve all problems related to the protection of the mine from surface and underground water.

GENERAL CONDITIONS AT THE SURFACE MINING

The progress of mining works on the excavation of coal has a north-south direction. On the north side of the pit, the coal pinches out vertically. It is the lowest in the central part

потом стрмо исклињава у северном делу. Приметна су локална клизишта на етажама. На дну копа констатовано је да се вода углавном акумулира гравитацијом са откопног фронта и подручја изван копа, док мањи део долази из унутрашњег одлагалишта [2]. Како је одлагалиште површинског копа окарактерисано као заводњена средина, очигледна опасност је у могућности појаве клизишта и тецишта већих размера, што би се неповољно одразило на одлагалишну и откопну механизацију на угљу. Према тренутној ситуацији на терену, радови на експлоатацији угља су у директном контакту са унутрашњим одлагалиштем. Такво стање узроковало је размештање БТО система на унутрашње одлагалиште ПК Поље Д. Наставак одлагања на унутрашњем одлагалишту ПК Поље Б и Поље Ц оправдан је тек након спроведеног предодроводњавања и израде стабилизационих објеката.

of the mine and then it pinches out steeply in the northern part. Local landslides on the floors are noticeable. At the bottom of the mine, it was established that water is mainly accumulated by gravity from the excavation front and the area outside the mine, while a smaller part comes from the internal landfill [2]. As the surface mine landfill is characterized as a waterlogged environment, the obvious danger is the possibility of large-scale landslides and liquefaction, which would have an adverse effect on the disposal and coal mining machinery. According to the current situation on the ground, the coal mining works are in direct contact with the internal landfill. Such a situation caused the relocation of the BTO system to the internal parking lot of Surface mine Field D. Continuation of disposal at the internal landfill of Surface mine Field B and Field C is justified only after pre-watering and construction of stabilization facilities.



Слика 2, ПК Поље Ц – акумулисана вода у ножици одлагалишта [2]
(снимљено 01.09.2020.)

Figure 2, Surface mine Field C – accumulated water in the foot of the landfill [2]
(recorded on September 1, 2020)



Слика 3, Ручеви северне границе ПК Поље Б [2]
(снимљено 01.09.2020.)

Figure 3, Ručevi northern border Surface mine Field B [2]
(recorded on September 1, 2020)

ИДЕНТИФИКАЦИЈА НАСТАНКА КЛИЗИШТА

Појаве нестабилности вештачки насталих косина представљају резултат поремећаја равнотеже у природи. Решавање ових проблема у рударству захтева анализу, истраживачки рад, избор, примену и праћење методологије стабилизације.

IDENTIFICATION OF ORIGIN OF LANDSLIDE

The phenomena of instability of artificially created slopes are the result of imbalance in nature. Solving these problems in mining requires analysis, research work, selection, application and monitoring of stabilization methodology.

Процес рада на површинском копу условљава да се радне косине етажа и завршне косине површинског копа константно изводе у променљивим условима [2]. Косине одложене јаловине налазе се у стабилном стању (не клизају се и не обрушавају) све дотле, док у њима постоји за то довољна унутрашња веза [4].

Познавање својстава и састава терена на коме је дошло до појаве клизишта су веома битан услов за препознавање разлога настанка. На бази тих података утврђују се ефикасне санационе мере. Захтев је да се одлагалиште санира најјефтинијим и технолошки најједноставнијим санационим поступцима. Различити су узроци нестабилности одлагалишта: косине су стрме и високе, подина одлагалишта има недовољну носивост, високи порни притисци, недовољна одводњеност откопане јаловине. Наведени узроци могу да делују појединачно, а могу и међусобно повезани. Од начина њиховог деловања зависи и избор санационих мера.

Санационе мере се могу поделити на: дренажне, потпорне промене геометрије косина, примена конструкција и армирање тла. Када су у питању површински копови често се постављају три кључна питања: колика се стабилност захтева, за који временски период и колико је при стабилизацији косине прихватљива цена? Ова три питања представљају основни проблем на површинским коповима, а њихово решавање је компромис између сигурности, цене и времена.

Најчешћи поступци за санацију или побољшање слабоносивог тла, а који укључују различите технолошке мере којима се повећава пропустљивост и/или побољшавају чврстоћа и деформациона својства тла су [2]:

- Уграђивање вертикалних дренажа, шљунчани шипови и вертикалне дренажне траке (wick – drains) за убрзање консолидације у радијалном и вертикалном смеру. Поступак је одговарајући када је утицајна дубина слабо носећег тла велика (5 m до 30 m);

The process of working on an open pit requires that the working slopes of the floors and the final slopes of the surface mine are constantly performed in changing conditions [2]. Slopes of deposited tailings are in a stable state (do not slide or collapse) as long as there is sufficient internal connection in them [4].

Knowing the properties and composition of the terrain on which the landslide occurred is a very important condition for recognizing the reason for its occurrence. Effective remedial measures are determined on the basis of this data. The request is to rehabilitate the landfill using the cheapest and technologically simplest remedial procedures. There are various causes of landfill instability: slopes are steep and high, the floor of the landfill has insufficient bearing capacity, high pore pressures, insufficient drainage of excavated tailings. The mentioned causes can act individually, or they can be interconnected. The choice of remedial measures also depends on their mode of action.

Remedial measures can be divided into: drainage, supporting changes in slope geometry, application of structures and soil reinforcement. When it comes to surface mines, three key questions are often asked: how much stability is required, for what period of time, and what is the acceptable price for slope stabilization? These three issues represent the basic problem in surface mines, and solving them is a compromise between safety, cost and time.

The most common procedures for rehabilitating or improving weak-bearing soil, which include various technological measures that increase the permeability and/or improve the strength and deformation properties of the soil, are [2]:

- Installation of vertical drains, gravel piles and vertical drainage strips (wick – drains) to accelerate consolidation in the radial and vertical direction. The procedure is appropriate when the effective depth of weakly bearing soil is large (5 m to 30 m);

- Уграђивање хоризонталних дренажних ребара за убрзање вертикалне и хоризонталне консолидације и за побољшање отпорности слабоносивог слоја на смицање. Поступак је одговарајући када је утицајна дубина слабоносивог тла сразмерно мала;
 - Замена слабоносивог тла бољим материјалом. Поступак је одговарајући када је утицајна дубина слабоносивог тла сразмерно мала;
 - Побољшање чврстоће слабоносивог тла при смицању поступцима дубинског ињектирања (jet – grouting шипови) или дубинске хемијске стабилизације (кречни шипови). Поступци су одговарајући када је утицајна дубина слабоносивог тла велика (5 m до 30 m);
 - Побољшање чврстоће слабоносивог тла поступцима додатног збијања (динамичко компримирање, тешко набијање, дубинско вибрирање). Поступци су одговарајући у пропуснијим, нехомогеним земљаним материјалима, као што су ситни песак и неконтролисана вештачка насипања;
 - Побољшање чврстоће површине темељног тла армирањем помоћу геосинтетика;
 - У посебним случајевима када описаним поступцима није могуће осигурати хомогено побољшање својства темељног тла у планираним роковима, насипи могу да се граде и на сабијеним или бушеним шиповима;
 - Применом комбинованих и посебних поступака.
- Installation of horizontal drainage ribs to accelerate vertical and horizontal consolidation and to improve the shear resistance of the weak-bearing layer. The procedure is suitable when the effective depth of weakly bearing soil is relatively small;
 - Replacement of weak-bearing soil with better material. The procedure is suitable when the effective depth of weakly bearing soil is relatively small;
 - Improvement of the shear strength of weak-bearing soil by means of deep injection (jet grouting piles) or deep chemical stabilization (lime piles). The procedures are suitable when the effective depth of weakly bearing soil is large (5 m to 30 m);
 - Improving the strength of weak-bearing soil by means of additional compaction (dynamic compaction, heavy compaction, deep vibration). The procedures are appropriate in more permeable, inhomogeneous soil materials, such as fine sand and uncontrolled man-made embankments;
 - Improving the strength of the foundation soil surface by reinforcement with geosynthetics;
 - In special cases when it is not possible to ensure a homogenous improvement of the properties of the foundation soil within the planned deadlines, embankments can also be built on compacted or drilled piles;
 - By applying combined and special procedures.

Стабилност одлагалишта за одређену технологију рада на одлагању зависи првенствено од физичко – механичких особина јаловине (замреминска маса, садржај влаге, гранулометријски састав, кохезија, унутрашње трење, конзистенција, еластичност и чврстоћа на смицање) у поремећеном стању и подине (темељног тла) у непо ремећеном стању. Када подина одлагалишта прима оптерећење одложених маса не сме бити склона клизању, нарочито ако је нагнута у правцу напредовања одлага-

The stability of the landfill for a certain disposal technology depends primarily on the physical and mechanical properties of the tailings (bulk mass, moisture content, granulometric composition, cohesion, internal friction, consistency, elasticity and shear strength) in a disturbed state and the floor (foundation soil) in undisturbed state. When the floor of the landfill receives the load of the deposited masses, it must not be prone to sliding, especially if it is inclined in the direction of the advance of the landfill. The bearing capacity of the base must be such that it can receive, apart

лишта. Носивост подлоге мора бити таква да прими, осим оптерећења одложених маса и силе које стварају динамички притисак при напредовању радова на одлагању и формирању косина [1]. На теренима где је изражена сеизмика потребно је укључити и овај параметар. У пракси су присутна честа потискивања и други облици деформације подине (унутрашње одлагалиште ПК Дрмно, Огранак ТЕ – КО Костолац).

Општа карактеристика спољашњих одлагалишта наших површинских копова угља, јесте да су им подлоге претежно глиновите или алувијалне, при чему се деформисање косина и истискивање тла из подлоге врши у облику више таласних узвишења [3]. Оптерећењу маса јаловине треба додати и масу одлагача као и транспортних средстава која изазивају константне вибрације током рада.

Повећање носивости може се извести дренирањем као и променом висине појединих етажа. Свака етажа одлагалишта треба да буде у стању да прими и носи оптерећење виших етажа. У том контексту потребно је истаћи да је прва етажа до подине, темељног тла, највише оптерећена. То захтева преваходно дисциплиновано вођење технолошког процеса одлагања јаловине које омогућава брзо збијање и планирање површине одлагалишта ради бржег отицања атмосферских вода [1].

Најповољнија висина етажа омогућује максимално коришћење производних могућности одлагача (висину и нагиб косине), која произилази из прорачуна стабилности. Код истог нагиба косине дубинске етаже одлагалишта, повећањем садржаја глиновитих компоненти висина одлагалишта ће се у мањој мери смањити, али само до одређене критичне висине, када се угао нагиба нагло смањује [1].

АНАЛИЗА УСЛОВА СТАБИЛИЗАЦИЈЕ УНУТРАШЊЕГ ОДЛАГАЛИШТА

Анализом унутрашњег одлагалишта утврђено је да су у неправилној синклинали

from the load of the deposited masses and the forces that create dynamic pressure during the progress of the works on the disposal and the formation of the slope [1]. In terrains where seismicity is pronounced, it is necessary to include this parameter. In practice, there are frequent push-overs and other forms of deformation of the floor (internal landfill Surface mine Drmno, Branch of TPP – Surface mine Kostolac).

The general characteristic of the external landfills of our surface coal mines is that their substrates are predominantly clayey or alluvial, whereby the deformation of the slope and the displacement of the soil from the substrate is done in the form of several wave elevations [3]. To the load of tailings mass, the mass of dumpers and transport vehicles that cause constant vibrations during operation should be added.

The load capacity can be increased by draining as well as by changing the height of individual floors. Each floor of the landfill should be able to receive and bear the load of the higher floors. In this context, it should be pointed out that the first floor next to the basement, the solid foundation, is the most heavily loaded one. This requires above all disciplined management of the technological process of tailings disposal, which enables rapid compaction and planning of the landfill surface for faster stormwater runoff [1].

The most favourable floor height enables maximum use of the production possibilities of the stacker (height and slope inclination), which results from stability calculations. At the same slope inclination of the deep floor of the landfill, by increasing the content of clay components, the height of the landfill will decrease to a lesser extent, but only up to a certain critical height, when the angle of inclination decreases sharply [1].

ANALYSIS OF INTERNAL LANDFILL STABILIZATION CONDITIONS

The analysis of the internal landfill found that the largest loads of dumped tailings are in the

највећа оптерећења одложене јаловине. Констатација се базира на литологији терена, залегању угља, као и дебљини одложене јаловине. Имајући у виду значај могућег коришћења високопродуктивне механизације којом располаже површински коп, нека скромна светска искуства која се односе на стабилизацију унутрашњег одлагалишта, убрзану динамику извођења радова, процену трошкова изградње објекта предводњавања и заштитног иницијалног насипа, пројектанти су се определили за кориснику препознатљив објекат, иницијални насип [2].

Основни модел пројектног решења базиран је на примени мера и поступака санације како би се достигли законски захтеви фактора сигурности и обезбедио наставак коришћења унутрашњег одлагалишта за додатни смештај јаловине са ПК Поље Е. Једна од првих идеја која је овде разматрана је обезбедити стабилност постојећег одлагалишта и тренутни положај радова у односу на ПК Поље Е како би се на време осигурао наставак одлагања и надвишење унутрашњег одлагалишта. Пројектном документацијом за ПК Поље Ц дефинисано је растојање фронта радова на угљу у односу на ножицу одложеног материјала од 250 m. Како би се у зони пројектованог иницијалног насипа створили услови за дренажање одложених маса на подини и постављање геомреже за повећање носивости подине, потребно је у функцији геомеханичке стабилности оставити појас главног угљеног слоја на контакту са подином и растеретити северну косину која је једним делом већ формирана клизиште. Након израде дренажног система у подини и постављања геомреже, стварају се услови за изградњу иницијалног насипа.

ТЕХНОЛОШКИ ПОСТУПАК САНАЦИЈЕ

Технолошки поступак одлагања у функцији формирања иницијалног насипа и надвишења унутрашњег одлагалишта, подразумева примену већ описаних активности и разматран је са више аспеката. Анализира-

irregular syncline. The finding is based on the lithology of the terrain, coal deposits, as well as the thickness of the deposited tailings. Bearing in mind the importance of the possible use of highly productive mechanization at the disposal of an open-pit mine, some modest world experiences related to the stabilization of an internal landfill, the accelerated dynamics of the execution of works, the estimation of the costs of the construction of pre-drainage facilities and the protective initial embankment, the designers opted for a user-recognizable facility, namely the initial embankment [2].

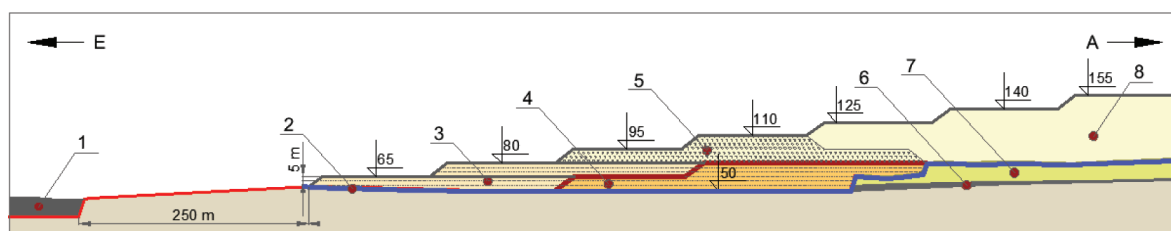
The basic model of the project solution is based on the application of remediation measures and procedures in order to reach the legal requirements of the safety factor and ensure the continuation of the use of the internal disposal site for additional storage of tailings from Surface mine Field E. One of the first ideas that was considered here is to ensure the stability of the existing landfill and the current position of the works in relation to Surface mine Field E in order to ensure the continuation of disposal and the elevation of the internal landfill in time. The project documentation for Surface mine Field C defines the distance of the front of the coal works in relation to the foot of deposited material of 250 m. In order to create the conditions in the area of the projected initial embankment for draining the deposited masses on the floor and installing a geogrid to increase the bearing capacity of the floor, it is necessary to leave a belt of the main coal seam in contact with the floor and relieve the northern slope, which has already formed a landslide. After construction of the drainage system in the floor and installation of the geogrid, conditions are created for the construction of the initial embankment.

TECHNOLOGICAL PROCEDURE OF REMEDIATION

The technological procedure of disposal in the function of forming the initial embankment and the internal landfill banking, implies the application of the already described activities and it has been considered from several aspects.

на је актуелна ситуација на површинском копу, динамика експлоатације, расположивост опреме и њени конструктивни параметри, распоред БТО система, подлога са које би се вршило одлагање, врста материјала од кога би се изградио стабилизациони објекат, дебљина слојева. Узевши у обзир да ће иницијални насип претрпети највеће оптерећење, предвиђена је његова изградња одлагањем песка у више слојева од 6 m (након сабијања етажне су 5 m) . Одлагач напредује одлажући масе испред себе [2].

An analysis was done concerning the current situation at the surface mine, the dynamics of mining, the availability of equipment and its structural parameters, the layout of the BTO system, the substrate from which the disposal would be carried out, the type of material from which the stabilization facility would be built, the thickness of the layers. Taking into account that the initial embankment will bear the greatest load, its construction is planned by placing sand in multiple layers of 6 m (after compaction, the levels are 5 m). The delayer advances by delaying the masses in front of him [2].



Слика 4, Принципијелна шема стабилизације унутрашње одлагалишта [2]

Figure 4, Principle scheme of internal landfill stabilization [2]

Тумач: А – ПК Поље А; Е – ПК Поље Е; 1 – Неоткопани угаљ; 2 – Дренажни систем;

3 – Надоградња иницијалног насипа; 4 – Иницијални насип; 5 – Надвишење иницијалног насипа;

6 – Неоткопан угаљ; 7 – Претходно одложена јаловина-постојеће одлагалиште;

8 – Надвишење постојећег одлагалишта.

Legend: A – Surface mine Field A; E – Surface mine Field E; 1 – Unmined coal; 2 – Drainage system;

3 – Upgrade of the initial embankment; 4 – Initial embankment; 5 – Elevation of the initial embankment;

6 – Unmined coal; 7 – Previously disposed tailings – existing landfill;

8 – Exceeding the existing landfill.

На основу ситуације на терену, усвојених конструктивних параметара и резултата геомеханичких прорачуна, одлагање на унутрашњем одлагалишту је предвиђено да се врши у продужетку иницијалног насипа са напредовањем према ПК Поље Е, продужавањем етажних равни на k+65 m и k+80 m [2].

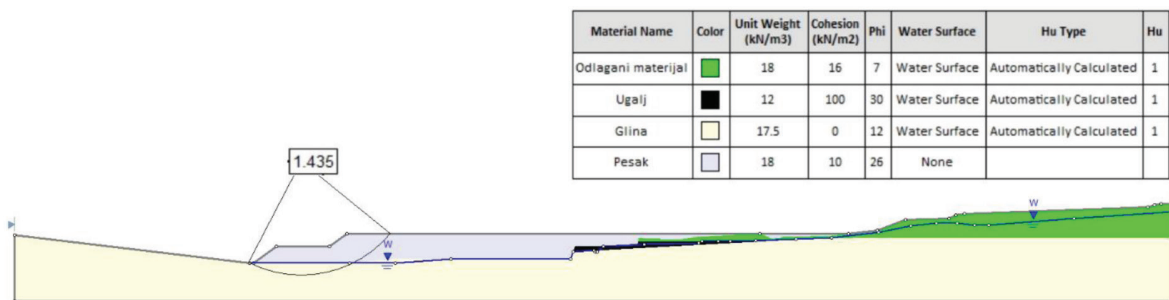
Наставак одлагања јаловине на унутрашњем одлагалишту предвиђен је формирањем виших етажних равни са котама: k+65 m, k+80 m, k+95 m, k+110 m, k+125 m, k+140 m, k+155 m, k+170 m и k+185 m.

Анализа геомеханичких резултата показује да се надвишењем иницијалног насипа и формирањем етажа унутрашњег одлагалишта према ПК Поље А постиже већа стабилност [2].

Based on the situation on the ground, the adopted structural parameters and the results of geomechanical calculations, the disposal at the internal landfill is planned to be carried out in the extension of the initial embankment with the advancement towards Surface mine Field E, by extending the floor levels to k+65 m and k+80 m [2].

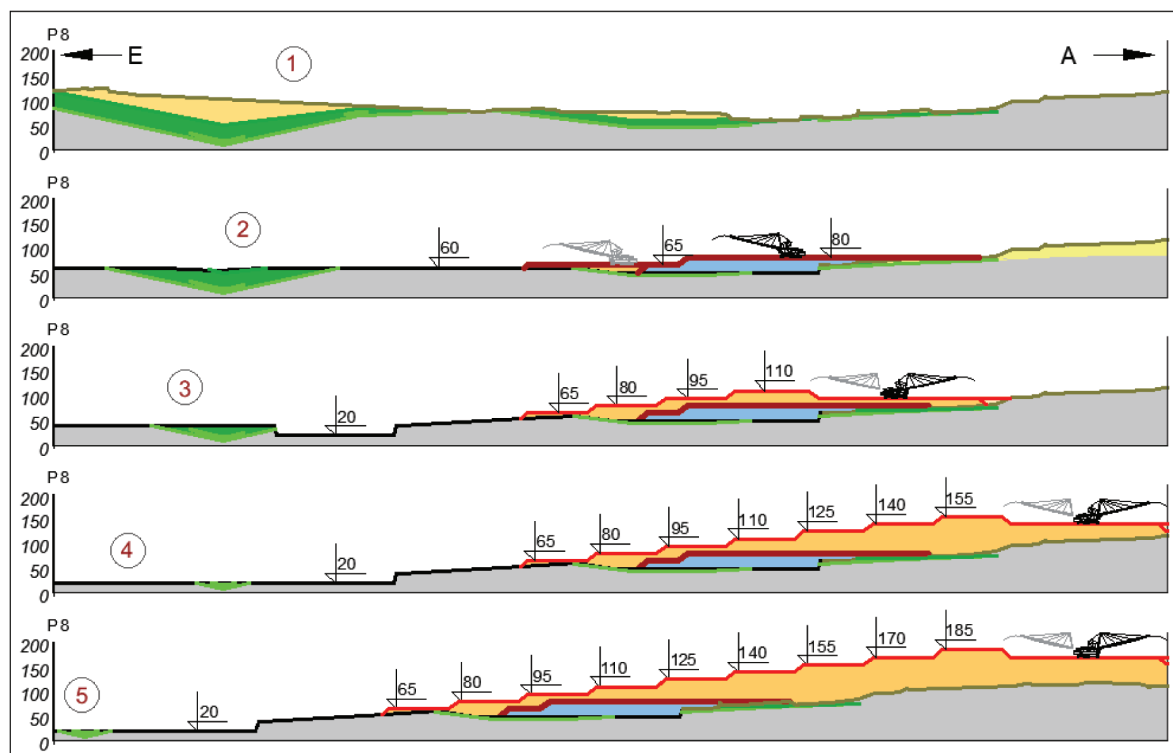
The continuation of tailings disposal at the internal landfill is foreseen by the formation of higher storey planes with elevations: k+65 m, k+80 m, k+95 m, k+110 m, k+125 m, k+140 m, k+155 m, k+170 m and k+185 m.

The analysis of the geomechanical results shows that by raising the initial embankment and forming the floors of the internal landfill according to Surface mine Field A, greater stability is achieved [2].



Слика 5, Фактор сигурности након изградње иницијалног насипа [2]

Figure 5, Safety factor after the construction of the initial embankment [2]



Слика 6, Технологија одлагања на унутрашњем одлагалишту [2]

Figure 6, Disposal technology at an internal landfill [2]

Тумач: А – ПК Поље А; Е – ПК Поље Е; 1 – Тренутна ситуација; 2 – Формирање иницијалног насипа;
3 – Надвишење иницијалног насипа; 4 – Надвишење одлагалишта до k+155 m;
5 – Надвишење одлагалишта до k+185 m

Legend: A – Surface mine Field A; E – Surface mine Field E; 1 – Current situation; 2 – Formation of the initial embankment; 3 – Elevation of the initial embankment; 4 – Elevation of the landfill up to k+155 m; 5 – Elevation of the landfill up to k+185 m

ЗАКЉУЧАК

Након анализе услова на терену, усвојених конструктивних параметара коришћених у документацији, дефинисани су дренажни систем, поступци изградње иницијалног насипа, његово надвишење и надвишење претходно формираног одлагалишта. Ре-

CONCLUSION

After the analysis of the conditions on the ground, the adopted constructive parameters used in the documentation, the drainage system, the construction procedures of the initial embankment, its elevation and the elevation of the previously formed landfill were defined.

шења су у континуитету проверавана геомеханичким прорачунима како би се утврдиле граничне висине одлагања и прорачунао смештајни простор. Геомеханичке анализе су утицале на смер напредовања и начин одлагања јаловинских маса.

Све наведено, обезбеђење слободног простора између неоткопаног угља и ножице одложених маса, предодводњавање, ојачавање подине геомрежом, израда иницијалног насипа, надвишење иницијалног насипа и надвишење претходно формираног унутрашњег одлагалишта, представљају редослед операција које треба реализовати како би се остварила његова стабилизација и испунио захтев за одлагање додатне јаловине. Даљим напредовањем фронта радова на ископавању јаловине и угља, према ПК Поље Е, стварају се услови за дисциплиновано процедурално одлагање јаловинских маса формирањем ниже одлагалишне нивеле $k+65$ m, што би се позитивно одразило на наставак надвишења одложене јаловине.

Узевши у обзир, величину и облик може се констатовати да предложена стабилизација предметног одлагалишта, наведених димензија и карактеристика, није била присутна у светској пракси.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Јанош К.: Површинска експлоатација лигнита, Књига 2, 1982, 373 стр.
- [2] Милошевић Д.: Студија стабилизације унутрашњих одлагалишта простора Поља Б/Ц за потребе одлагања откривке са ПК Поље Е, Рударски институт Београд, 2020, 249 стр.
- [3] Обрадовић Р.: Формирање предодлагалишта као фактор стабилности одлагалишта на површинским коповима лигнита, Рударски гласник, Бр. 3, 1989, стр. 5-13.
- [4] Обрадовић Р.: Анализа услова стабилности одлагалишта на брдским падинама, Рударски гласник, Бр. 4, 1987, стр. 5-13.

The solutions were continuously checked with geomechanical calculations in order to determine the limit heights of disposal and calculate the accommodation space. Geomechanical analyses influenced the direction of progress and the method of disposal of tailings masses.

All of the above, the provision of free space between the unmined coal and the base of the deposited masses, pre-drainage, strengthening of the floor with a geogrid, creation of the initial embankment, elevation of the initial embankment and elevation of the previously formed internal landfill, represent the sequence of operations that should be implemented in order to achieve its stabilization and fulfill the requirement for disposal of additional tailings. With the further progress of the tailings and coal excavation front, according to Surface mine Field E, the conditions have been created for the disciplined procedural disposal of tailings masses by forming a lower disposal level of $k+65$ m, which would have a positive effect on the extended banking of the deposited tailings.

Taking into account the size and shape, it can be concluded that the proposed stabilization of the landfill in question, with the stated dimensions and characteristics, was not present in world practice.

LITERATURE

- [1] Janoš K.: Površinska eksploatacija lignita, Knjiga 2, 1982, 373 str.
- [2] Milošević D.: Studija stabilizacije unutrašnjih odlagališta prostora Polja B/C za potrebe odlaganja otkrivke sa PK Polje E, Rudarski institut Beograd, 2020, 249 str.
- [3] Obradović R.: Formiranje predodlagališta kao faktor stabilnosti odlagališta na površinskim kopovima lignita, Rudarski glasnik, Br. 3, 1989, str. 5-13.
- [4] Obradović R.: Analiza uslova stabilnosti odlagališta na brdskim padinama, Rudarski glasnik, Br. 4, 1987, str. 5-13.