



ЗРГИМ
Здружение на
рударски и
геолошки инженери
на Р. Македонија

XIII TO СТРУЧНО СОВЕТУВАЊЕ НА ТЕМА:

Технологија на подземна и површинска експлоатација на
минерални сировини

ПОДЕКС – ПОВЕКС '22

Охрид
14 – 16. 10. 2022 год.

ИДЕЈНО РЕШЕНИЕ ЗА ХИДРОТРАНСПОРТ И ОДЛАГАЊЕ НА ЈАЛОВИНАТА НА ЈАЛОВИШТЕ 2 – ТОРАНИЦА

**Благој Голомеов¹, Мирјана Голомеова¹, Афродита Зенделска¹,
Стојанче Мијалковски¹**

¹Универзитет „Гоце Делчев“, Факултет за природни и технички науки,
Штип, Р. Северна Македонија

Абстракт: Целта на овој труд е врз основа на топографијата на теренот и технолошките показатели да се осмисли идејно решение за хидротранспорт и одлагање на јаловината при изградба на ново јаловиште на Рудник Тораница, Крива Паланка. Во трудот ќе биде направен осврт на концепциското решение за продолжување на пулповодот до преградниот профил на новото јаловиште бр. 2, хидротранспорт на пулпата и нејзино одлагање во текот на изградбата (експлоатацијата) на новото хидројаловиште, усвоените хидраулички параметри потребни за избор на дијаметарот на пулповодот за непречена динамика на градба на браната и заполнувањето на таложниот простор.

Клучни зборови: јаловиште, флотациска јаловина, хидротранспорт, пулповод.

CONCEPTUAL SOLUTION FOR HYDROTRANSPORT AND DISPOSAL OF TAILINGS AT TAILING FACILITY - TORANICA

**Blagoj Golomeov¹, Mirjana Golomeova¹, Afrodita Zendelska¹,
Stojance Mijalkovski¹**

¹University “Goce Delcev”, Faculty of Natural and Technical Sciences, Stip,
R. of North Macedonia

Abstract: The purpose of this paper is, based on the topography of the field and the technological indicators, to devise a conceptual solution for hydrotransport and tailings disposal during the construction of a new tailings dump at the Toranica Mine, Kriva Palanka. The paper will review the conceptual solution for extending the pulp pipeline to the barrier profile of the new tailing facility no. 2, hydrotransport of the pulp and its disposal during the construction (operation) of the new tailing facility, the adopted hydraulic parameters necessary for the selection of the diameter of the pulp pipe for smooth dynamics of the construction of the dam and the filling of the sedimentation area.

Keywords: tailings, flotation tailings, hydrotransport, pulp pipeline.

1. ФОРМИРАЊЕ НА ИДНО ЈАЛОВИШТЕ БР. 2

Постојното Хидројаловиште бр.1 Тораница, со јаловишната брана и таложното езеро се наоѓаат во непосредна близина на Крива Паланка, на апроксимативна

оддалеченост од 15 km, и е формиран за потребите на работата на рудникот Тораница. Имено, во технолошката постапка на флотирање на оловно-цинковите минерали (Галенит и Свалерит) во рудникот за олово и цинк „Тораница“ се добиваат галенитен (олово) и свалеритен (цинк) концентрат и отпаден материјал – јаловина. Оваа јаловина изнесува околу 90% од вкупната маса на рудата и заедно со користените флотациски реагенси во процесот се одлага во Јаловиште бр. 1. Местоположбата на јаловиштето е на 4 km низводно од погонот флотација во долината на Крива Река, на профилот помеѓу профилот „Варошани“ и профилот „Цепен Камен“ кој се наоѓа непосредно по вливањето на Тораничка Река во Крива Река. Јаловиштето е од кањонско-акумулационен тип со двојна намена. Основната намена на хидројаловиштето е да овозможи безбедно депонирање на флотациска јаловина, добиена со процесот на флотација на олово-цинковата руда. Втората намена е да служи како акумулација на вода и нејзино пречистување од флотациските реагенси кои се користат во процесот на флотација, од каде што водата преку систем од четири таложници се испушта во реципиентот Крива Река [1].

Имајќи ја топографијата на теренот околу рудникот, веќе воспоставената техничко технолошка инфраструктура и воспоставеното искуство со менаџирањето на постојното јаловиште бр.1, најдобро и економски најприфатливо решение, за понатамошното непречено работење на рудникот Тораница, е да се изгради второ каскадно поставено хидројаловиште во долината на Крива река, непосредно под Јаловиште бр. 1. Од аспект на конструктивна стабилност и од аспект на обезбедување на максимален акумулационен простор, за депонирање на јаловина, најприфатлива е методата наназад (низводно), за која вработените во Рудникот Тораница имаат и најголемо искуство.

2. ПРОЦЕНКА НА ТЕХНОЛОШКИТЕ ПОДАТОЦИ ЗА ФЛОТАЦИСКАТА ЈАЛОВИНА

Технолошките показатели, пред се, зависат од планираниот годишен капацитет на преработена руда и ефективното искористување на работното време [5,7]. За Рудникот Тораница одредувањето на количината на флотациска јаловина е извршено врз основа на масите на цврстата фаза од производите на флотациската концентрација (руда, концентрат на олово, концентрат на цинк и јаловина) и тоа за просечно планирана и максимално планирана преработка на руда во погонот флотација за ефективно работно време од 55% или 200,75 дена во текот на годината (податоци доставени од инвеститорот):

Табела 1. Количини на јаловина

Производ јаловина	Планирани количини
$Q_{jal,t/год}$	296.928
$Q_{jal,t/ден}$	1.479,09
$Q_{jal,t/час}$	61,63

2.1. Карактеристики на флотациската јаловина

Во табела 2. Се прикажани пресметаните карактеристиките на флотациската јаловина врз основа на кои се вршат сите понатамошни технолошки пресметки поврзани со хидротранспортот на јаловината.

Табела 2. Карактеристики на флотациската јаловина

Реден број	Карактеристики на флотациската јаловина	Усвоена количина на јаловина $Q_{jal} = 1.479,09 \text{ t/ден}$
1	2	3
1	Маса на цврста фаза, t/ден	1.479,09
2	Масен однос Ц : Т	1 : 3,5455
3	Маса на течна фаза, t/ден	5.244,06
4	Маса на пулпа, t/ден	6.723,15
5	Зафатнина на цврста фаза во пулпата, m ³ /ден	553,97
6	Зафатнина на течната фаза во пулпата, m ³ /ден	5.244,06
7	Зафатнина на пулпата, m ³ /ден	5.798,03
8	Густина на пулпата, t/m ³	1,16
9	Зафатнински однос Ц : Т	1 : 9,4664
10	Проток на пулпата:	
	Часовен, m ³ /час	241,58
	Минутен, m ³ /мин.	4,0264
	Секунден, l/s	67,11

- Врз основа на гранулометрискиот состав на јаловината усвоени се максималната и средната големина на јаловинските честички:
 $d_{max}(95\%) \dots\dots\dots 255 \mu\text{m}$
 $d_{sr}(50\%) \dots\dots\dots 47 \mu\text{m}$
- За понатамошна пресметка, за густина на цврстата фаза од флотациската јаловина, усвоена е густината $\gamma_c = 2,67 \text{ t/m}^3$. Оваа усвоена вредност е земена од добиените технолошки параметри од погонот флотација и досегашните проекти кои ја третираат оваа материја.
- Содржината на цврста фаза во флотациската јаловина (масениот однос Ц : Т), врз основа на податоците за технолошкиот процес на флотација, изнесува $C_t = 22 \%$ цврсто (Ц : Т = 1 : 3,5455).
- Зафатнинска концентрација на цврстата фаза 9.41%

3. ПРЕЛИМИНАРНО РЕШЕНИЕ ЗА ХИДРОТРАНСПОРТОТ НА ФЛОТАЦИСКА ЈАЛОВИНА ДО НОВОТО ХИДРОЈАЛОВИШТЕ БР. 2

Транспортот на флотациската јаловина од погонот флотација до флотациското хидројаловиште бр.1 на рудникот Тораница се врши гравитациски, со пулповод изграден од киселинско–абразивни отпорни дебелосидни PVC цевки со надворешен дијаметар $D_n = \varnothing 315 \text{ mm}$ (односно внатрешен дијаметар $D_v = 284,2 \text{ mm}$) во должина од 3,8 km. Пулповодот е со строго дефиниран наклон од 1.3% и делумно е поставен под земја, а дел на метална конструкција. За одржување на дефинираниот наклон се користат армирано-бетонски денивелациони пригушни шахти.

За потребата за градба (експлоатација) на новото хидројаловиште бр. 2, потребно е да се продолжи постоечкиот пулповод. За новиот потез од пулповодот се разгледани две варијанти [1], на левиот и десниот бок на долината. Левиот бок на долината е порамномерен од топографски аспект и е многу поповолен за диспозиција на линиски објекти (Слика 1) [2].

За варијантата бр. 1 на десниот бок, должината на пулповодот е 1,502 м. За првиот дол е неопходен челичен пешачки мост со должина од 75.7 м. За гребенот е потребен засек во теренот со должина од 37.2 м и максимална длабочина од 10.0 м, со сите неопходни геотехнички мелиорации за стабилизирање на косината на ископот. За вториот дол (Рупски Дол) е неопходен челичен пешачки мост со должина од 71.7 м.

За варијанта бр. 2 на левиот бок, должината на пулповодот е 1.082,0 м. За премин преку круна на браната Тораница 1 на кота 1,000 мнв, со должина на круната од 275.3 м потребни се лежишта со механизам да подесување на нивелетата на пулповодот, зашто во постсервисниот период може да се појават слегнувања во насипот, посебно во средишниот (највисок) пресек на браната.

За пулповодот цениме дека поповолна е варијанта бр. 2, односно со нов потез во левиот бок на долината, со должина од 1,064 м, кој е многу поповолен поради топографската едноличност на теренот. Со варијантата бр.1, во десниот бок на долината, должината е 1,502 м, односно пулповодот е за 46% подолг и поскап. Ако оваа констатација се дополни и со трошоците за инженерски објекти за варијантата бр.1: два челични моста за совладување на два дола, со вкупна должина од 147.4 м и еден длабок засек со должина од 37.2 м, тогаш еклатантно се потврдува дека варијантата бр. 2 (во левиот бок на долината) е поповолна.

Според варијанта 2, новиот дел од пулповодот би почнувал од спојот со постојниот пулповод во постоечката разводна шахта (точка Т0 шахта 1) на кота 1042 мнв. Истиот би се движел под дефиниран наклон од 1,3% до точка Т1 (шахта 2 на кота 1040 мнв) со сегментна должина од 162 метри. Овој дел од пулповодот би бил изграден од PVC цевки со надворешен дијаметар $D_n = \varnothing 315$ mm (односно внатрешен дијаметар $D_v = 284,2$ mm) како и постоечкиот пулповод. Од шахта 2 пулповодот по падината нагло би се спуштил до шахта 3 на кота 1008 мнв. со сегментна должина од 62 метри. Поради големата висинска разлика (пад од 51%) се очекува поагресивно абразивно дејство на цврстите честички врз ѕидовите од цевководот, поради што, овој сегмент од цевководот ќе треба да биде под зачестена контрола. Од шахта 3 на кота 1008 мнв. пулповодот би поминувал по круната на брана на јаловиште 1, по нејзината возводна ивица, и би продолжил низводно по левиот бок на долината со константен наклон од 1,3% до крајната собирна шахта на кота 993 мнв (шахта 5). Поставувањето на шахта бр. 3 на кота 1008 мнв е во функција на обезбедување на доволен притисок за совладување на, пред се, линиските отпори во сегментот на пулповодот од шахта 3 до последната собирна шахта 5 на кота 993 мнв во должина од 839,65 метри.

Имајќи го предвид сето досега кажано јасно е дека транспортот на пулпата до шахта бр. 3 ќе се одвива непречено. Во делот од спојот на новиот дел од пулповодот со постоечкиот во шахта бр.1 (директен спој на цевките) па се до шахта бр. 2 (162 метри), поради енергијата што ја има пулпата која гравитациски се транспортира од погонот флотација и зачуваниот дефиниран пад од 1,3%, транспортот на пулпата ќе се одвива непречено. Во делот помеѓу шахта бр. 2 и шахта бр. 3, транспортот на пулпата ќе биде непречен поради големиот пад од 51%. Со поставувањето на шахта бр. 3 на кота 1008 мнв хидрауличките пресметки покажуваат дека се обезбедува доволен притисок за совладување на сите отпори за несметан транспорт на пулпата до крајната собирна шахта на кота од 993 мнв. Имајќи предвид дека крајната кота на песочната брана на јаловиште бр. 2 е 970 мнв се јавува висинска разлика од 23 метри. Оваа висинска разлика е сосема доволна да го обезбеди потребниот притисок за работа на

хидроциклоните (1,5 – 2,5 бара) при градбата на последната ламела на круната на браната. Исто така, при изградбата на телото на браната, под собирната шахта на кота 993 мнв ќе биде потребно да се проектираат 4 пригушни шахти, за да се обезбеди континуирано притисок од 1,5 – 2,5 бара за ефикасна работа на хидроциклоните, при различен степен на надвишување [4-7] и тоа:

Пригушна шахта 1 со влезно/излезна кота 956/954, за изградба на првите 4 ламели од по 2,5 метри на песочната брана. Почнувајќи од краната на иницијалната брана на кота 925 мнв до кота 935 мнв.

Пригушна шахта 2 со влезно/излезна кота 966/964, за изградба на 5 – 8 ламела до кота 945 мнв.

Пригушна шахта 3 со влезно/излезна кота 976/974, за изградба на 9 – 12 ламела до кота 955 мнв.

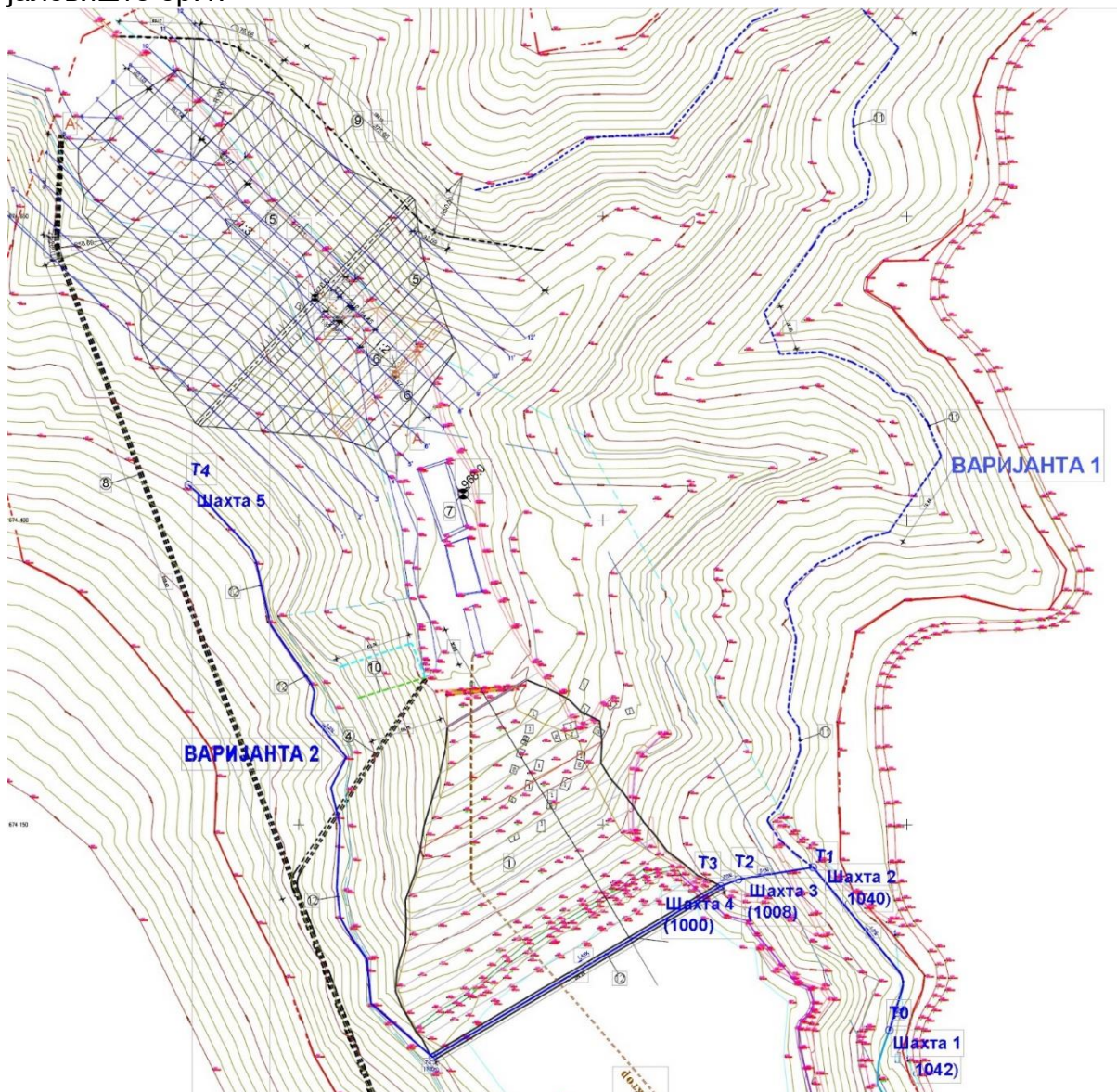
Пригушна шахта 4 со влезно/излезна кота 986/984, за изградба на 13 – 16 ламела до кота 965 мнв.

За изградба на последните 2 (две) ламели до кота 970 мнв, потребниот притисок за работа на циклоните ќе се обезбеди директно од собирната шахта бр. 2 со излезна кота 991 мнв.

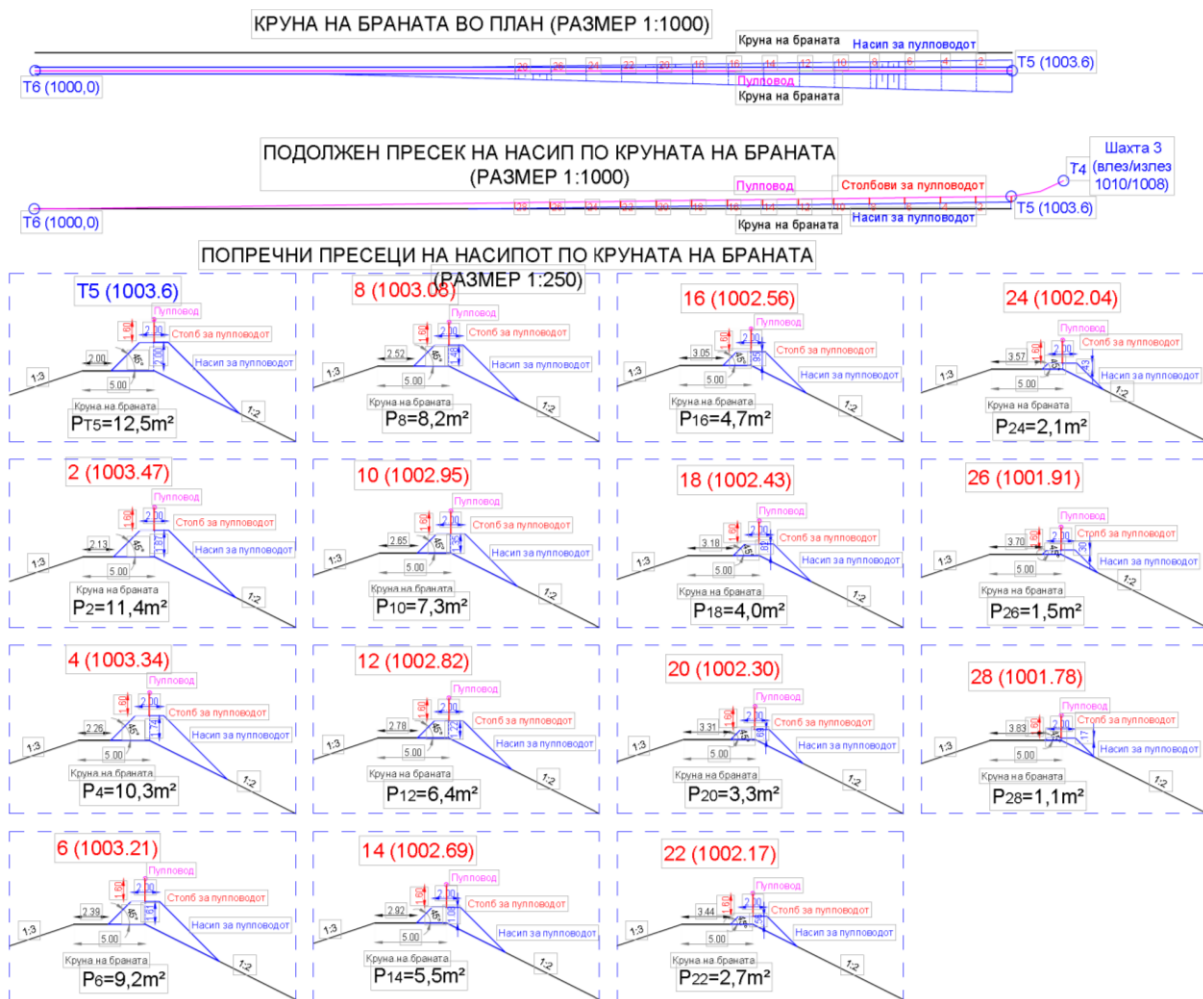
3.1. Нивелирање на пулповодот по должината на круната на браната на јаловиште бр. 1

Круната на браната на јаловиште бр. 1 се наоѓа на 1000 мнв. и има должина од 275,28 метри. За да се постигне дефинираниот наклон од 1,3% во делот на пулповодот по должината на браната на јаловиште бр. 1, нивелирањето на овој сегмент на пулповодот би започнало од точка на кота 1003,6 мнв. За да се избегне поставувањето на нивелирачки столбови со голема висина, посебно во првата половина од должината на круната на браната (непогодно заради одржување на пулповодот во овој сегмент), се препорачува одредено претходно нивелирање на круната на браната со насипување на руднички камен во слој со ширина од 2 метри и лева и десна косина од 45° (1:1) Слика 2. Средината на насипот би била по возводната ивица на круната на браната на јаловиште бр.1. Како што е прикажано на слика 2 должината на насипот би била 153 метри, некаде до средината на круната на браната на јаловиште бр. 2. На почетокот би имал висина од 2 (два) метри а на крајот е на ниво на круната на браната. Практично во овој дел нивелацијата на пулповодот од 1.3 % би се постигнала со наклонот на насипот по чија цела должина пулповодот би бил поставен на столбови од 1,6 метри (висина која овозможува непречено одржување на пулповодот). Потоа нивелацијата на пулповодот до крајната собирна шахта бр. 2 ќе се одвива со столбови со различна висина. Столбовите за нивелација на пулповодот би се поставувале на секои 2,5 метри по должината на истиот. На овој начин, како што може да се види од слика 2, на почетокот насипот ќе зафати 3 метри од круната на браната на јаловиште бр. 1 а на крајот само околу 1 метар. На овој начин ќе остане доволно широк простор за комуникација до должината на целата круна од браната на јаловиште бр. 1. Волуменот на насипот е пресметан преку 15 напречни профили, графички прикажани на слика 2 и би изнесувал 834 m³. Ваквиот насип инвеститорот самиот може да го изведе од руднички камен, градејќи го во слоеви и компресирајќи го со сопствената механизација.

Треба да се има предвид дека, во случај на било каква хаварија на пулповодот во делот на круната на песочната брана, може да дојде до нејзино оштетување со ерозија на песокот од кој е изградена, под дејство на пулпата која неконтролирано би се излеала. За да се спречи ваквата, реално можна ситуација, и да се овозможи брза реакција и запирање на протокот на пулпа во делот на пулповодот, кој минува преку круната на браната, предвидено е на десниот бок од круната на јаловиште 1 да се изгради собирна шахта 4 со влезно излезна кота 1002/1000 (слика 1, точка Т3). Во случај на било каква хаварија на делот од пулповодот кој минува преку круната на браната на јаловиште 1, со помош на разделник, пулпата од шахта бр. 3 (точка Т2) би се преусмерила во собирната шахта 4 а од неа со помош на цевковод/гумено армирано црево (внатрешен дијаметар $\varnothing 220,4 / \varnothing 220$) спуштен по падината на телото на браната на јаловиште бр. 1, со приближна должина од 80 метри, пулпата безбедно би се спровела во таложното езеро на новото јаловиште бр. 2. На овој начин има можност за брза реакција во случај на појава на хаварија и неконтролирано истекување на делот од цевководот кој минува преку круната на браната на јаловиште бр.1.



Слика 1. Ситуациона карта



Слика 2. Попречни профили

3.2. Пресметка на критичната брзина на системот за хидротранспорт на флотациската јаловина од шахта бр. 3 на кота 1008 мнв до новото јаловиште бр. 2 (разводна шахта на кота 993 мнв),

Хидротранспортот на флотациската јаловина од шахта бр. 3 на кота 1008 мнв до новото јаловиште бр. 2 (разводна шахта на кота 993 мнв), имајќи го предвид планираниот капацитет, усвојуваме да се одвива низ ПВЦ цевки со надворешен дијаметар $D_n = 250$ mm односно внатрешен дијаметар за $PN = 10$ at, $D_v = 220,4$ mm.

Во пратичните инженерски пресметки треба да се користат оние равенки за критичната брзина кај хетерогениот транспорт за кои постојат најцелосни податоци за експериментот, за ист материјал на транспортирање [3]. Доколку такво нешто не постои, треба да се организира сопствена лабораториска процедура за утврдување на критичната брзина на определен материјал, со определена гранулација и низ определен пречник на цевката. Во услови, кога не постојат можности за сопствени лабораториски испитувања за нашата конкретна суровина, одредувањето на критичните брзини (V_{kr}), го вршиме со користење на експерименталните формули.

Одредувањето на критичната брзина е извршено со користење на експерименталните формули од авторите Durand, Knoroz, Silijan и Jufin. Во Табела 3 се дадени пресметаните вредности на критичната брзина по сите автори како и вредноста на стварната брзина со која ќе се движи пулпата низ цевководот со избраниот дијаметар.

Табела 3.

По образец на:	Критична брзина (V_{kr}), во цевковод со $D_v = 220,4$ mm
Durand	1,67 (m/s)
Knoroz	1,37 (m/s)
Silin	0,85 (m/s)
Jufin	1,45 (m/s)
Стварна брзина	1,76 (m/s)

Од табелата 3, јасно произлегува заклучокот дека стварната брзина (V_{st}) во делот од цевководот со внатрешен дијаметар $D_v = 220,4$ mm. е поголема од критичната брзина (V_{kr}), пресметано според формулите на Knoroz, Durand Silin и Jufin. Според тоа можно е да се очекува дека во вакви услови нема да имаме појава на исталожување и гушење во цевководот со внатрешен дијаметар од $D_v = 220,4$ mm.

4. ЗАКЛУЧОК

Изборот на трасата по која ќе се води пулповодот е многу значајна за неговото нормално и непречено функционирање. Пулпата е полидисперзен систем кој вклучува течна и цврста фракција. Гранулометрискиот состав на цврстата фаза зависи од финоќата на мелење и при одвивањето на технолошкиот процес има променлив карактер. Тоа е последица на промената на: геомеханичките карактеристики на суровината која се мели, минералошкиот состав, наполнетоста на млиновите, процентот на кружна шаржа, ефикасноста на класирање и т.н. Поради сето ова хидрауличниот транспорт на пулпата по гравитациски пат е многу чувствителен на брзината со која се одвива. Ако брзината на транспорт е под критичната брзина доаѓа до таложење и блокирање на пулповодот. Ако брзината на транспорт е премногу голема абразивното дејство на пулпата го уништува цевководот. Затоа се препорачува брзина на пулпата од 1.6 – 2.4 m/s [3]. Поради сето ова: 1. избраната траса на пулповодот треба да биде со благ пад и со, што е можно, помалку остри кривини во кои хидрауличките загуби се најголеми и 2. Дијаметарот на цевките треба да биде избран така да обезбеди брзина на движење на пулпата поголема од нејзината критична брзина на таложење.

КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Градежен факултет – Скопје, 2020.02.19, Прелиминарната проценка на функционална, техничка и финансиска изводливост на јаловиште бр.2 на рудник Тораница, К. Паланка, Љ.Петковски, Б. Голомеов и други
- [2] Гео-Сигма Груп, Штип, 2021-03-09, ажурирана геодетска подлога за рудник Тораница, К.Паланка, Јадранка Кралева (овластен геодет)

- [3] Младеновиќ Славко, Хидрауличен цевководен транспорт на минералични суровини, Скопје 2000
- [4] Борис Крстев, Благој Голомеов, Флотациски хидројаловишта, Универзитет “Гоце Делчев“ – Штип, 2008
- [5] Wills, B.A., 1981, Mineral Processing Technology, 2nd Ed., Pergamon Press, Oxford.
- [6] Милосав Адамовиќet. al., Технолошке оснoве проектовања построeња са припрему минералних сировина, Рударски институт – Београд, 1999
- [7] A. Gupta, D.S. Yan, Mineral Processing Design and Operation, Elsevier, Oxford, UK.