



КРАТКОСРОЧНО ПЛАНИРАНЕ И СЪЗДАВАНЕ НА РЕАЛИСТИЧЕН ГРАФИК НА ДОБИВНИТЕ ДЕЙНОСТИ В РУДНИК „ЕЛАЦИТЕ“, ПОСРЕДСТВОМ HXGN MINEPLAN™ ACTIVITY SCHEDULER

инж. Иван Димитров, ЕЛАЦИТЕ-МЕД АД, i.b.dimitrov@ellatzite-med.com
инж. Валентин Вължаров, ЕЛАЦИТЕ-МЕД АД, v.vazharov@ellatzite-med.com
инж. Мариела Василева, ЕЛАЦИТЕ-МЕД АД, m.m.vasileva@ellatzite-med.com

SHORT-TERM PLANING AND CREATING REALISTIC SCHEDULE FOR MINING ACTIVITIES IN ELLATZITE OPEN-PIT MINE, WITH HXGN MINEPLAN™ ACTIVITY SCHEDULER

Ivan Dimitrov, Dipl. Eng. ELLATZITE-MED AD, i.b.dimitrov@ellatzite-med.com
Valentin Vazharov, Dipl. Eng. ELLATZITE-MED AD, v.vazharov@ellatzite-med.com
Mariela Vasileva, Dipl. Eng. ELLATZITE-MED AD, m.m.vasileva@ellatzite-med.com

ABSTRACT

Ore mining has essential role for global economy and based on the increased need of metals worldwide, it is important all deposits to be exploited the most efficient way. Hence, short-term planning of mining activities is a key role for successful management of open-pit and underground mines. MinePlan Activity Scheduler combines activity-based scheduling, resource assignment and Gantt charting with an easy-to-use interface. Planning module features direct cut design against block model, with the ability to route material to certain destinations, including reclamation. The use of these software tools helps in accurate and reliable planning and efficient management of mining operations.

Keywords: open-pit mining, short-term planning, MinePlan Activity Scheduler, Gantt chart, material movement.

Въведение

Минното планиране се дефинира като процес от минното инженерство, отговарящ за усвояване на минералните ресурси по най-продуктивен начин, докато календарният график за добив е едно добро пожелание, което съответства на банковите договори на инвеститорите (Smith, 1998). В този смисъл, целта на минното планиране е да определи изземването на запасите във всеки един период, за да се достигне максимална печалба от преработката, включително, коя част от запасите трябва да бъдат преработени, изискванията за транспортната механизация, необходимите инвестиции за обогатителната фабрика и др.

Процесът на планиране в мината се извършва, като се вземат предвид оперативните и металургичните ограничения. Изготвянето на краткосрочни и средносрочни планове за добив, чрез наличните софтуерни продукти, налага разработване на различни алтернативи, които да оптимизират резултатите по отношение на извлечения метал, използването на изкопно-товарната и транспортна техника, както и правилното технологично отработване на мината. Но тъй като е изключително трудно да се включат всички променливи от минно-добивния процес в използвания 2D софтуер, „се обръщаме“ за помощ към специализиран такъв.

В рудник „Елаците“, за целите на планирането, както дългосрочно, така и краткосрочно, се използва специализиран минен софтуер на компанията Хексагон, лидер в дигиталните решения, съчетаващи сензорни софтуери и автономни технологии. По отношение на краткосрочното планиране, компанията разработва модул MinePlan Activity Scheduler, който улеснява работата по задаване последователността на изземване, разпределяне на багерната техника, изчисляване на транспортната работа и необходимия брой автосамосвали. Чрез създаването на линеен график, към добивните дейности се включва продължителността на пробивно-взривните работи, планирани и непланирани



ремонти и др. Алгоритмите и значителното подобрене в изчислителната мощ на компютърната техника позволяват генериране на множество варианти и алтернативи, целящи коректно достигане на зададените параметри (обеми, тонове и съдържания), както и безопасното отработване на находището. Информацията от линейния график дава възможност на минните инженери от отдел „Минно планиране“ да представят краткосрочното развитие на минно-добивните дейности. Форсмажорните обстоятелства, възникнали по време на оперативните дейности, биват отбелязвани в графика, което води до точно управление на процесите.

В настоящия доклад ще бъде представена последователността при изготвяне на краткосрочен план на минно-добивните дейности за период от 1 месец. В среда на MinePlan Activity Scheduler е съставен оперативен план с линеен график, който изобразява продължителността на основните дейности. Резултатът представя транспортната работа, необходимият брой автосамосвали и продължителността на минно-технологичните дейности за постигане на заложените цели (натурални показатели).

Входни данни

Краткосрочното планиране цели да следва стратегията на дългосрочното планиране и да минимизира оперативните разходи, колкото е възможно (Osanloo & Rahmanpour, 2017). Ролята на минния инженер е да определи оптималното количество материал, който трябва да бъде добит от всеки етап, така че обогатителната фабрика да получи руда с необходимото качество и обем. Входната информация трябва да бъде определена спрямо наличните данни, преди самото планиране.

Основните геометрични и геоложки параметри, се считат следните:

- Бортово съдържание на Cu% за определяне на видовете минна маса;
- Планово количество и качество на рудата, както и количество на откритката за съответния месец;
- Актуален блоков модел - обединява информация от ресурсен модел и експлоатационно проучване;
- Актуална маркшайдерска повърхнина на рудника;
- Проектна повърхнина към края на година /краен контур/.

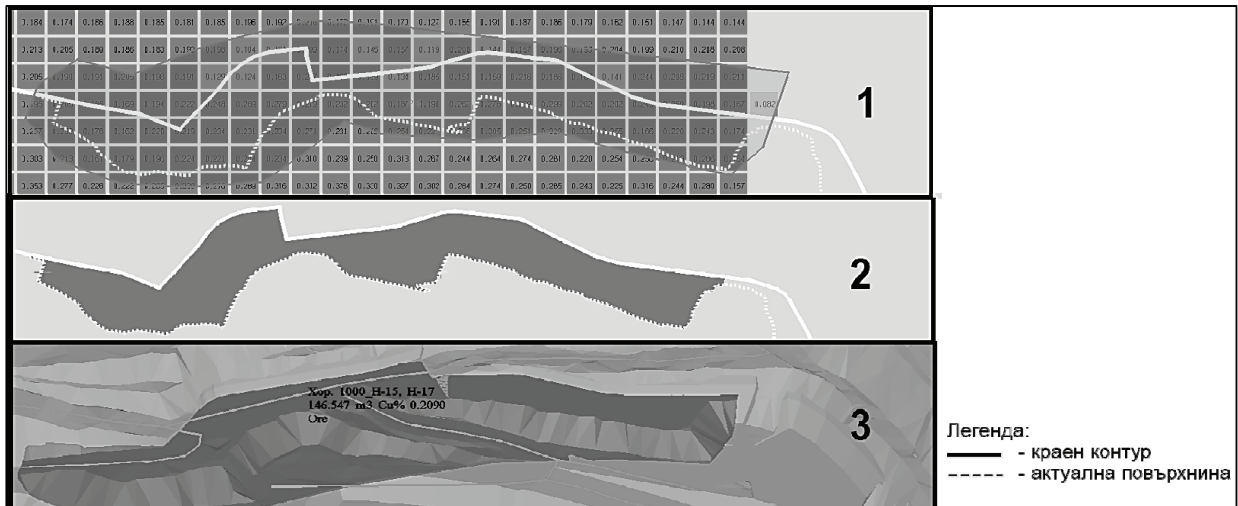
От гледна точка на механизацията и достъпността на минното оборудване е необходима информация за:

- Планирани ремонти на изкопно-товарната и транспортната техника;
- Планирани ремонти на сондажното оборудване;
- Планирани ремонти на корпусите за трошене на рудата.

При създаване на краткосрочен план за добив е важно да се обърне внимание и на непредвидими фактори, които биха повлияли на производството. Те могат да бъдат от различно естество и характер, но най-често при открития добив се наблюдават минно-технологични и метеорологични. Залагането на песимистични данни за минно-добивните процеси намаляват риска от неизпълнение на плановите показатели.

Моделиране на добивните дейности

Планирането на различни варианти на минно-добивните дейности е ключов елемент при разглеждане в краткосрочен период. Минният софтуер е разработен и усъвършенстван да позволява бърза оценка и съответно, вземане на решение от ръководния персонал накъде да бъде насочен добива. Процесът по планиране се извършва в 2D, но всички резултати от изчисленията, са на база актуална повърхнина и актуален блоков модел (Фигура 1). В резултат на проектирането се получава планова повърхнина на рудника, която отчита добивните дейности и визуализира в какво положение ще бъдат пътищата, работните площадки, наклонените полутраншеи в края на периода.



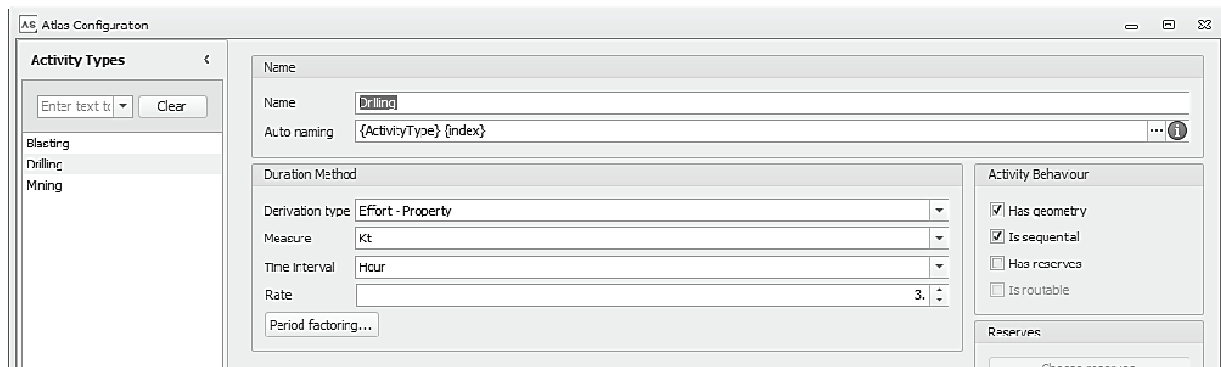
Фигура 1. Изглед на хоризонтен план на рудника и актуален блоков модел - използван за планиране, където: 1 – ръчно изчертаване на планов полигон; 2 – коригиран полигон спрямо актуална и проектна повърхнина; 3 – проектно обемно тяло (солид) за добив

DESTINATION	Name	BENCH	Density	Km3	Kt	CUMX	CUT	Reserves Locked	Elevation Range	ROCK	PROV_NAME	Resources
DESTINATION: MILL	Ruda		985	2.62	163.694	428.878	0.2893	1.240.725	Elevation: 985...	GRD	МЕДНА РУДА	H-17
					163.694	428.878	0.2893	1.240.725				

Фигура 2. Табличен вид с информация за обем, тегло, средно съдържание Cu% на полигона/солида

Activity Scheduler дава възможност дейностите в рудника да бъдат планирани като група от последователни действия - подготовка на масива (пробивно взривни работи) и изземване на минната маса (добивни работи). В настоящия доклад няма да бъдат разгледани и коментирани дейностите по подготовка на дадено поле в детайли (маркшайдерски замер, технологично почистване на площадка и др.).

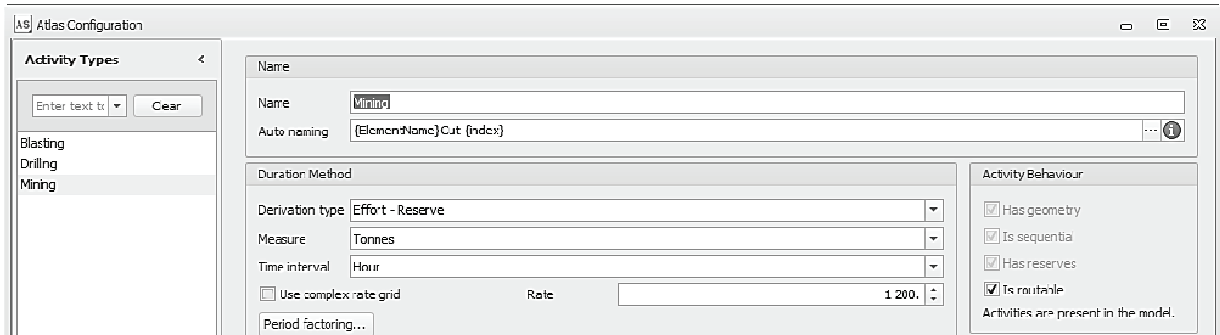
Планирането на пробивно-взривните работи е съобразено с наличната техника, персонал и технически параметри на сондите - производителност (хил. t/h). На този етап проектирането на взривните работи не се извършва в среда на MinePlan, като се използват обобщени данни за производителността, на база досегашният опит.



Фигура 3. Задаване на базова производителност на сондажното оборудване



Задават се планова производителност на изкопно-товарната техника (Фигура 4), за да бъде изчислено времето, за което ще бъде добита планираната минна маса. Коефициентите на ефективност и ефикасност се прилагат впоследствие, като отчитат времето за технологичен престой, изчакване и др.



Фигура 4. Задаване на технологична производителност на изкопно-товарната техника

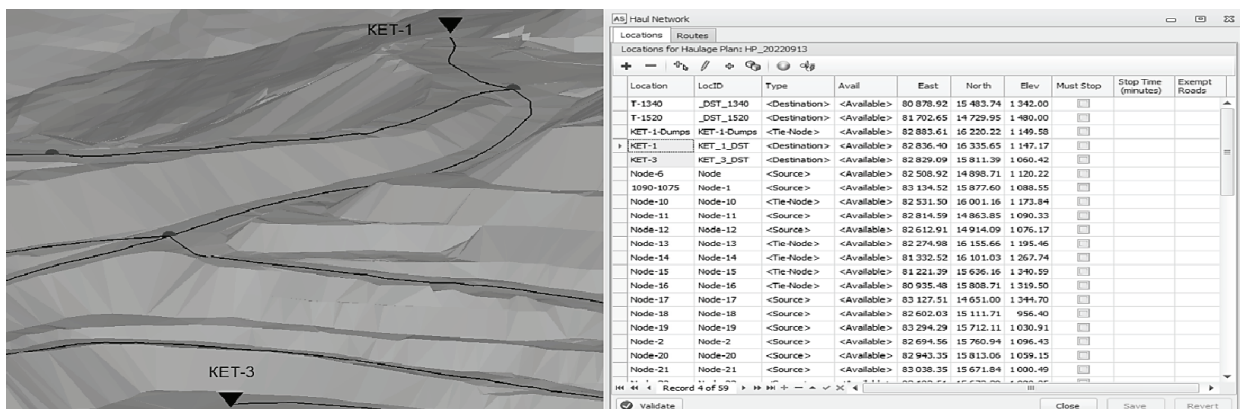
Определяне и дефиниране на разтоварните пунктове

Разтоварните пунктове са неразделна част от планирането и изграждането на краткосрочен график, тъй като още при планирането се вижда какво количество минна маса ще приемат (Workbook, 2023). Тяхното местоположение може да бъде посочено в модела, както и от модула Haulage, съдържащ геометрична информация за рудничните кръстовища и пътища. Проектирането на съоръжението за минни отпадъци се извършва с друг инструмент в Mine Plan, като геометрията и капацитетът му се посочват с цел отчитане във всеки един момент количеството насипана откритка и оставащия капацитет.

При рудник „Елаците“, разтоварните пунктове са разделени на две категории:

- по руда – Корпус едно трошене – 1 и 3 (KET-1 и KET-3);
- по откритка – насипище за откритка, като са определени 3 места за насипване (T-1340, T-1340-1 и T-1520).

Местоположението им е определено в Haulage с координати и наименования (Фигура 5), като за откритката не е определен капацитет на съоръжението за минни отпадъци. Поради факта, че корпусите за едро трошене имат технически капацитет, за тях е зададена дневна производителност.

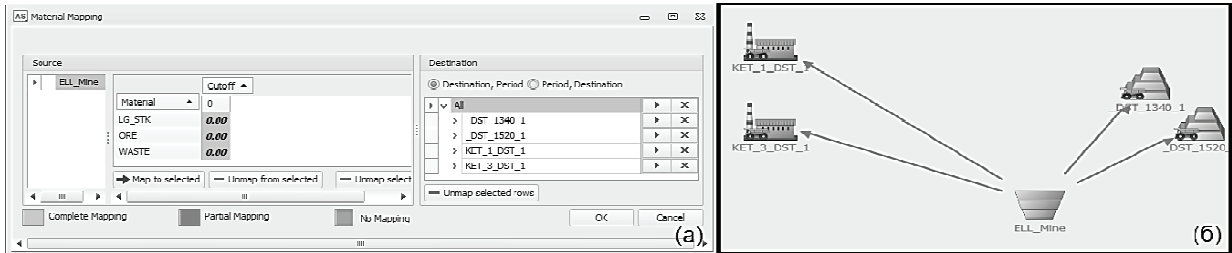


Фигура 5. Графично и таблично местоположение на разтоварни пунктове (KET-1 и KET-3)

Разпределянето на вида минна маса се осъществява предварително, за да се покаже всеки материал на кой разтоварен пункт трябва да бъде закаран. MinePlan Activity Scheduler е софтуер за ръчно планиране, така че логиката за маршрутизиране и планиране се въвежда от потребителя (Workbook, 2023). Изгражда се таблично и схематично разпределение (Фигура 6), което служи на алгоритъма да



изчисли транспортната работа, циклите на движение на автосамосвалите и правилно да бъде определен броя автосамосвали, необходим за извършване на планираната работа.



Фигура 6. Таблично (а) и схематично (б) разпределение на видовете минна маса спрямо разтоварните пунктове

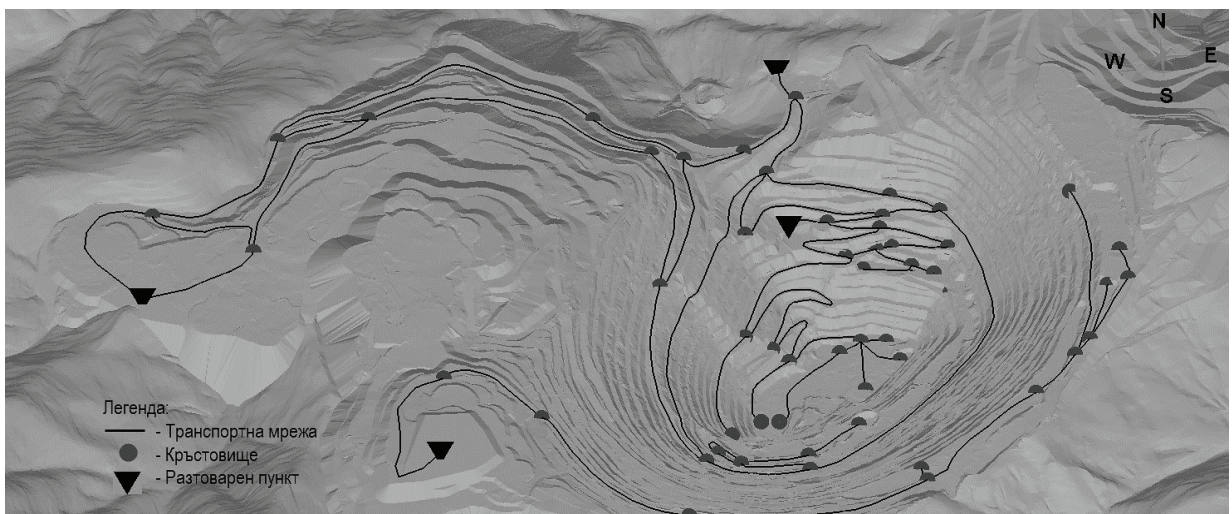
Налична е възможност да се зададат ограничения на производителност/капацитет за всеки разтоварен пункт (Фигура 7). Целта е да се получи правилно разпределение на минните маси от всеки участък. Задават се минимални и максимални тонажи/обеми, средни съдържания и други атрибути, дефинирани в блоквия модел, служещи за ограничения (Workbook, 2023).

Destination	From	To	Grade	Constraint Type	Lower	Upper	Capped
KET_1_DST_1	Period 01	<End>	Tonnes	Mapped	300 000.00	373 000.00	<input type="checkbox"/>
KET_3_DST_1	Period 01	<End>	Tonnes	Mapped	1 000 000.00	1 015 000.00	<input type="checkbox"/>

Фигура 7. Зададени ограничения на капацитета за двата корпуса едро трошене (KET-1 и KET-3)

Транспортна работа и задаване техническите параметри на изкопно-товарната и транспортната техника

Activity Scheduler има вграден модул Haulage, който регламентира изграждането и поддръжката на транспортната мрежа и валидация на взаимодействието ѝ с минния план. Транспортната мрежа се изгражда по съществуващите пътища, като между всеки две кръстовища трябва да има една единствена линия. Основният принцип за изчертаване е посоката на отсечките да бъде от планирания забой към разтоварните пунктове (Workbook, 2023).



Фигура 8. Транспортна мрежа на рудник „Елаците“ и разположение на кръстовища и разтоварни пунктове



При планиране на добивната техника е необходимо да бъдат отчетени техническите параметри при работа в рудника. Тъй като работната среда не е еднородна и има фактори, влияещи върху производителността, се въвеждат технологичните характеристики, които са отчетени за предходен месец. Обособени са три комбинации на автосамосвали, които се използват за превозване на минната маса (Фигура 9). Част от основните параметри са разход на гориво (по време на престой и разтоварване/ изчакване), капацитет на коша, скорост според наклона на трасето и др.

Equipment List		Attributes for Bellaz+Hit_Diesel big				
Type	Name	Name	Description	Type	Units	Value
Hauler	Bellaz_130t	_TUse	Use trolley assist where available	TEXT	TRUE/FALSE	FALSE
Hauler	Bellaz+Hit_Diesel big	_FBWait	Fuel burn during wait time	FLOAT	GPH/LPH	63.5
Hauler	Bellaz+Hit_Diesel small	_FBSpot	Fuel burn during spot time	FLOAT	GPH/LPH	70.56
Hauler	Bellaz+Hit_Electric	_FBDump	Fuel burn during dump time	FLOAT	GPH/LPH	105.84
		_GrossWeight	Unloaded weight of equipment	FLOAT	Kg	107100

Фигура 9. Технически параметри на автосамосвалите, които се отчитат при изчисление на циклите

Параметрите на изкопно-товарните машини отчитат характеристики като ефективност, ефикасност, време за един цикъл и капацитет на кофата (Фигура 10).

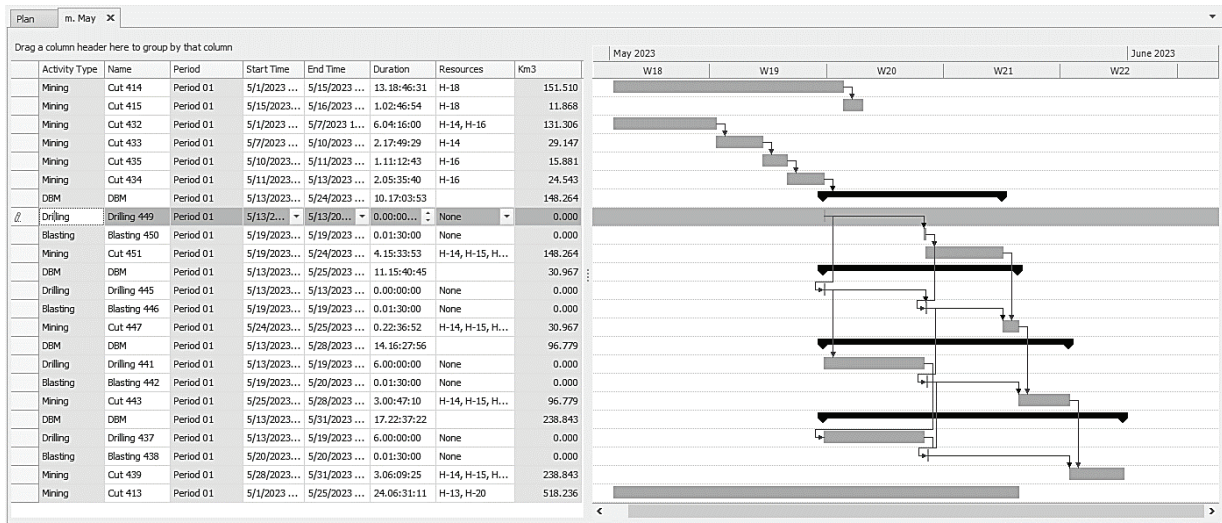
Equipment List		Attributes for Hit_Diesel big				
Type	Name	Name	Description	Type	Units	Value
Hauler	Bellaz_130t	_Availability	Availability for piece of equipment	FLOAT	Percent	95
Hauler	Bellaz+Hit_Diesel big	_CyclLoader	Cycle time of loader	FLOAT	Minutes	26
Hauler	Bellaz+Hit_Diesel small	_Description	Description of equipment	TEXT	Text	Hitachi 16
Hauler	Bellaz+Hit_Electric	_LoadRate	Loading Rate	FLOAT	Kg per hour	968000
Loader	Hit_Diesel big	_Payload	Capacity for piece of equipment	FLOAT	Kg	40650
Loader	Hit_Diesel_small	_Utilization	Utilization for piece of equipment	FLOAT	Percent	43
Loader	Hit_Electric	*				

Фигура 10. Технически параметри на багерната техника, използвана в рудник „Елаците“

Създаване на линеен график (Gantt chart)

Основната задача на ръководството на всяка компания е да взема решения относно политиките и да предприема действия, които ще доведат до желаното състояние. В условия на непрекъснато нарастваща нужда от метали, решенията и действията трябва да се основават не само на внимателно доказана информация, но и на пълното оценяване на важността на въздействието от нея (Clark, 1922). Линеиният график (диаграмата на Гант), поради пространственото представяне, както на количеството време, така и количеството работа, която трябва да бъде извършена през това време, има забележителен принос при ръководене и управление на минни проекти.

За целите на този доклад, планирането и проектирането е направено за период от 1 месец. Гант диаграмата съдържа два основни раздела - табличен и графичен (Фигура 11), като с детайли е показана информацията, нужна на ръководството да контролира процесите. Детайлната таблица представя минните дейности и свързаната с тях информация - начало и край, продължителност за изпълнение и др. За визуалното изобразяване на продължителността и последователността им, таблицата е обвързана с графика.



Фигура 11. Линеен график за минно-добивните дейности за период от 1 месец на рудник „Елаците“

Заключение

Тъй като рудникът е сложна система с множество критерии, функционални ограничения и липса на пълна априорна информация за средата, планирането на минно-добивните дейности се превръща в предизвикателство. Затова работата със стандартните софтуери, използвани за минно проектиране, вече отстъпва място на модерни и специализирани продукти, ориентирани към конкретната сфера. Те предоставят на минния инженер голяма гъвкавост за изработване на множество варианти, които от своя страна да покажат различни крайни състояния на рудника при зададен кратък период. Минно-геоложката информация е на разположение в една платформа, което намалява възможността от грешки и рационализира планирането. MinePlan Activity Scheduler обединява модул за проектиране, обвързване на планираните дейности времево и създаване на реалистичен график на дейностите в рудник „Елаците“. Това помага за максимално използване на времето и ресурсите в отдел „Минно планиране“, като позволява на инженерите да се съсредоточат върху проекти с по-значимо въздействие, които често изискват решаване на проблеми и творческо мислене – нещо, което дори най-добрият софтуер за планиране и проектиране няма да може да замени.

Библиография

1. Clark, H. W. (1922). *The Gantt Chart: A Working Tool of Management*. New York: Ronald Press.
2. Osanloo, M., & Rahmanpour, M. (2017). *Optimizing short-term production plan using a portfolio optimization model*. REM-International engineering journal.
3. Smith, M. L. (1998). Optimizing short-term production schedules in surface mining: Integrating mine modeling software with AMPL/CPLEX. *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, 149-155.
4. Upadhyay, S. P., & Hooman, A.-N. (2016). *Short-term Production Planning in Open Pit Mines*. Edmonton: Mining Optimization Laboratory (MOL).
5. Workbook, H. M. (2023). *Activity-Based Scheduling with Activity Scheduler*.