



## ПРИЛОЖЕНИЕ НА СПЕЦИАЛИЗИРАН СОФТУЕР ЗА ПЛАНИРАНЕ НА МИННИТЕ РАБОТИ В ОТКРИТИ РУДНИЦИ И КАРИЕРИ

ас. Данаил Терзийски, Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, [d.terziyski@mgu.bg](mailto:d.terziyski@mgu.bg)  
доц. д-р Евгения Александрова, Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“,  
[e.aleksandrova@mgu.bg](mailto:e.aleksandrova@mgu.bg)

ас. д-р Димитър Кайков, Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, [dimitar.kaykov@mgu.bg](mailto:dimitar.kaykov@mgu.bg)

### **РЕЗЮМЕ**

*В сферата на добива на полезни изкопаеми стремежът за осигуряването на висока ефективност, безопасност и намалено въздействие върху околната среда е довело до изследването и създаването на иновативни технологии и методи, позволяващи по-доброто планиране на минните работи. Новаторски подход в това отношение е внедряването на симулационни модели, напр. HAULSIM, с цел рационализиране на процесите на добив и транспорт в рамките на открити, подземни рудници и кариери. Настоящата статия разглежда практически пример, демонстриращ по достъпен начин възможностите на HAULSIM за краткосрочното планиране на минните работи за открит рудник. Чрез симулационния модел са разгледани транспортни маршрути за извозването на руда. Един от маршрутите е анализиран, като са представени различни варианти за броя на използваните самосвали. На тази база може да се избере най-рационалният вариант, осигуряващ изпълнението на плановата сменна производителност. Освен това е извършена и симулация за една работна смяна, като на тази база е установена ефективността на използването на работното време от смяната за приетия модел багер и автосамосвали.*

### **Въведение**

В съвременен план повишеното търсене на подземни богатства предявява високи изисквания за качеството на продукцията и функционирането на минната индустрия като цяло. До голяма степен за успеха да дадено предприятие в сектора задължително условие се оказва ефективното планиране и управление на минните работи, като същевременно се цели реализирането на висока производителност, безопасност на труда и опазването на околната среда. На фона на нарастващото търсене на суровини, необходимостта от иновативни решения при добива на полезни изкопаеми е по-изразено от всякога. Традиционните подходи за оптимизиране на процесите по добив, транспорт и преработка на добитата суровина не са лишени от своите ограничения, които в днешно време могат да доведат до нерационалното използване на производствените ресурси, реализирането на неоправдани разходи и потенциални рискове за хората и околната среда. Едно от най-съществените постижения на съвременната наука е разработването на специализирани симулационни модели, служещи за изследване на минните работи в различни условия. Подобни модели съчетават възможността от използването на емпирични данни и симулации, с цел разглеждането на множеството от възможни технологични варианти, служещи за вземането на обосновани решения.

### **Моделиране на работните процеси при добива на полезни изкопаеми**

Традиционно откритите рудници и кариери разчитат на аналитични модели, които по своето същество са детерминирани и често не успяват да отчетат динамичните промени в реалната среда, както и възникването на непредвидени събития. Появата и приложението на модели, базирани на симулация, се оказва мощен начин за по-реалистичното представяне на условията и особеностите на даден минен обект. Това предоставя възможността за разглеждането на различни сценарии с цел да се повиши ефективността на производствените дейности, като се осигури по-висока използваемост на механизацията, реализирането на по-ниски производствени разходи, както и намаляването на



отпечатъка върху околната среда от производствените дейности. Именно поради това в световен план използването на симулационни модели действително се откроява като иновативен подход в минно-добивната индустрия, трансформирайки начина, по който се планират, изпълняват и оптимизират основните, спомагателните и обслужващите работни процеси.

В контекста на работните процеси и съставляващите ги работни операции подобен клас софтуерни продукти, симулиращи процесите в открити рудници и кариери обхващат широк набор от техники за моделиране на работата на различните видове механизация. Всеки метод за моделиране, включен в симулационния софтуерен модел е предназначен да решава конкретна задача или взаимодействието между отделните участници в дадена ситуация. Част от по-важните използвани методи за моделиране на комплекса от работни операции и общото протичане на работните процеси включват:

1. *Метод Монте Карло*. Методът представлява статистически подход за моделиране на вероятностния характер на множество от променливи в дадена система. Чрез генерирането на произволен голям брой от случайни числа при известна кумулативна функция на разпределението, методът позволява компютърното реализиране на множество от опити, които „имитират“ действителната реализация на даден процес или възможните стойности на величина, за която не е известна нейната действителна стойност. По този начин се осигурява по-цялостно разбиране на функционирането на системата именно чрез разглеждането ѝ като вероятностна (Kroese et al., 2011).
2. *Система от дискретни събития (Discrete element system – DES)*. DES е една от най-широко използваните техники при симулирането на сложни системи. Методът се фокусира върху моделирането на отделни събития, които се случват последователно във времето, напр. движение на автосамосвали, етапи на работните процеси (товарене, разтоварване, завъртане на кофата и др.). Последователното реализиране на тези събития в краен брой интервали от време за цялата система позволява да се получи по-пълна представа за потоците от минна маса и състоянието на механизацията за даден цикъл на работа или за работна смяна. По този начин могат да се идентифицират потенциални „тесни места“ в системата и своевременно да се избегне нерационалното протичане на процесите (<https://rpmglobal.com/product/haulsim/>).
3. *Агентно-базирано моделиране (Agent-based modelling – ABM)*. ABM представлява набор от компютърни модели, целящи пресъздаването на поведението на отделни агенти (участници) в дадена система като автономни единици (Grimm & Railsback, 2005). Този подход е особено подходящ за анализиране на взаимодействията и динамиката между отделните участници, позволявайки да се изясни възникващото поведение на системата при различни условия.

Други методи, които могат да допринесат за по-точното пресъздаване на изследваната система могат да включват още и вериги на Марков и модели от теорията на масовото обслужване (Czaplicki, 2008). Не на последно място симулационните модели се базират и на фундаментални аналитични и емпирични зависимости, изведени от дългогодишния човешки опит в минното дело и други области на знанието (напр. закони от физиката).

### **Предимства на симулационните модели**

Интегрирането на симулационни модели в процеса на планирането на работните процеси предлага няколко основни предимства пред традиционния аналитичен подход. Част от тях могат да бъдат:

1. *Точност и надеждност на резултатите*. Симулационен софтуер, като HAULSIM, създава „дигитален двойник“ на открития рудник, като по този начин се моделират с цел изучаване различни фактори, които влияят върху работните процеси, в т. ч. физико-механични свойства на скалите, пътни условия, времена за протичане на работните операции, спецификация на използваната механизация и др. Чрез симулиране на тези елементи, моделът точно отразява реалната среда, предоставяйки на заинтересованите страни точна и надеждна информация.
2. *Гъвкавост и възможност за анализ на множество сценарии*. За разлика от традиционните методи за планиране, симулацията позволява изследването на различни сценарии при разнообразни условия. Подобни модели позволяват проверката и оценяването на множество



сценарии с цел изясняване на последиците от конкретни решения и идентифициране най-ефикасните от тях.

3. *Повишаване на безопасността.* Симулационните модели позволяват оценяването на потенциалните рискове и идентифицирането на опасностите за безопасността на труда, преди те да се проявят в действителност. Чрез анализиране и идентифициране на потенциални ситуации, нарушаващи условията за безопасност, превантивно могат да се приемат подходящи правила за спазването на безопасността в минния обект. По този начин се минимизира вероятността от инциденти и се осигурява по-безопасна работна среда за персонала.
4. *Намаляване на вредното въздействие върху околната среда.* Основният принос на подобни симулационни модели е предоставянето на възможността за намаляване на въглеродния отпечатък на минно-добивния отрасъл. Разглеждайки различни алтернативи като критерий за избора на технологичен вариант могат да се търсят варианти за минимизиране на количеството въглеродни емисии на 1 t продукция.

### **Недостатъци на симулационните модели и предизвикателства при тяхното използване**

Въпреки многобройните предимства, симулационните модели не са лишени от своите недостатъци. Важно е те да бъдат посочени, тъй като те могат да представляват сериозни предизвикателства за използващите ги минни дружества. По-важни недостатъци и предизвикателства могат да бъдат:

1. *Необходимост от събиране, съхранение и анализиране на данни.* Успехът на базираните на симулация модели зависи до голяма степен от наличността, точността и прецизността на емпирични данни. Това би могло да се окаже препятствие за някои минни обекти, реализиращи нискъпа продукция, тъй като събирането на данни в реално време за работата на различните видове механизация изисква влагането на немалки финансови средства и време, както и работата на квалифициран персонал.
2. *Необходимост от квалифициран персонал.* Основен творчески двигател е човешкият гений, което означава, че съставянето на различни технологични варианти за решаването на даден производствен проблем е дело на човека, а симулацията единствено се явява средство за проверка на дадено предположение. Освен това за правилното изпълнение на дадена симулация е необходимо човекът, създаващ компютърния модел да бъде запознат с особеностите на самия минен обект, естеството на работните процеси, физико-механичните свойства на добиваната суровина, икономическите, екологичните и социалните аспекти на решавания проблем, както и с основните математически принципи на функционирането на моделите, използвани в симулационните софтуерни продукти. В противен случай, симулацията ще бъде неточна и получените резултати не биха дали желаното решение на конкретния производствен проблем.
3. *Необходимост от мощна изчислителна техника.* С появата на подобни симулационни продукти до голяма степен се облекчава механичната работа по разработването на дадено технологично решение за рационалното използване на комплексната механизация. Същевременно по този начин се появява и необходимостта от разглеждането на по-голямо множество от различни варианти за решаването на даден технологичен проблем. В зависимост от мащаба на проблема, нерядко е необходимо изчислително време за получаването на дадено решение в порядъка на няколко десетки минути до няколко часа. С цел ускоряването на процеса на получаване на изходна информация е необходимо паралелното протичане на няколко независими един от друг варианта, за което е необходима по-мощна изчислителна техника или по-голям брой изчислителни машини (компютри).

Независимо от посочените недостатъци, симулационните методи се очертават като основен инструмент в минната индустрия, осигурявайки нова гледна точка, основаваща се на практически наблюдения за състоянието на процесите по разработването на дадено находище. Освен това част от тези недостатъци могат да бъдат превъзможнати, тъй като в съвременен план дигитализирането на минно-добивния отрасъл представлява водещ двигател на неговата трансформация. Голяма част от



последните нововъведения в минната индустрия са свързани с използването на автономни превозни средства и минна техника, както и интегрирането им в симулационни модели. Действително използването на тези напреднали технологии става все по-решаващо, тъй като комбинирането на симулационните модели с автономните системи ще даде възможност за комплексен анализ и оптимизиране на цялостната производствена система.

### **Основни характеристики на HAULSIM**

HAULSIM представлява специализиран минен софтуер, който революционизира начина на проектиране и оптимизиране на производствените процеси при добива на полезни изкопаеми. Продуктът е разработен с цел симулация на работните процеси и включва мощен набор от функции, предназначени за описание и моделиране на сложните взаимовръзки между участниците в производствената система на даден минен обект. Освен използването на горепосочените методи за моделиране, HAULSIM притежава възможността да създава подробни 3D модели на изследвания минен обект. Тези 3D модели включват пространственото положение на геоложката даденост, пътната мрежа, източници на минна маса и крайни пунктове за нейното депониране (междинен склад за руда, насипище и др.). Не на последно място в програмата са включени и тримерни модели на използваната механизация, както и различни видове анимации на основните операции при протичането на работните процеси. По този начин може да се придобие общ изглед за оперативната динамика и същевременно могат да се идентифицират потенциални възможности за повишаване на ефективността на системата по дадени критерии (<https://rpmglobal.com/product/haulsim/>).

Друга характерна особеност на HAULSIM е използването на данни, получавани в реално време от различни източници, като GPS системи за проследяване на минната техника и др. Софтуерът позволява актуализирането на входните данни на симулациите през различните етапи от разработването на дадено находище, за да отрази най-актуалните условия и оперативните особености на изследвания участък. Тази гъвкавост на работа позволява на HAULSIM да осигури по-точни и надеждни резултати при различните симулационни сценарии.

Една от най-ключовите функционалности на HAULSIM се крие в неговите алгоритми, които управляващи процеса на симулация. Тези алгоритми отчитат голямо множество фактори, включително техническите характеристики на използваната механизация, наборът от възможни транспортни маршрути, правилата за движение по автомобилните пътища, състоянието на пътната настилка, времетраенето на работните операции, производителността по преработка на рудата и др. Чрез оптимизиране на тези променливи, HAULSIM може да идентифицира най-ефективните и рентабилни стратегии за множеството от различни източници на минна маса и транспортни маршрути, повишавайки производителността на механизацията, намалявайки консумацията на гориво (респ. емисиите на CO<sub>2</sub>) и оперативните разходи. Не на последно място, HAULSIM предоставя лесен за работа интерфейс за извършването на различни по характер анализи на отделни сценарии, позволяващи разбирането на механизмите на взаимодействие между технологичните процеси и външните фактори за производствената система върху нейната ефективност. Типични разглеждани сценарии са определяне на броя кофи на багера за напълването на коша на автосамосвал при различни комбинации на модели от двата вида техника, изследването на последиците от промените в броя на използваните автосамосвали, разпределението на минната техника за работа в различни условия, точното определяне на производителността на различните видове механизация, точното определяне на графика за поддръжка на минната техника и т.н.

Успешното използване на HAULSIM за решаването на конкретен производствен проблем за даден минен обект представлява систематичен процес, започващ със събирането на емпирични данни и завършващ с калибриране и валидиране на симулационния модел. Както при всеки подход, базиран на компютърно моделиране, наличието на достатъчен набор от точни и прецизни данни е от първостепенно значение за успешното интегриране на HAULSIM в работната среда. Ключово се явява наличието на полеви данни за физико-механичните свойства на скалите, пътната настилка, спецификации на използваното оборудване, състояние на транспортните маршрути, актуален теренно-

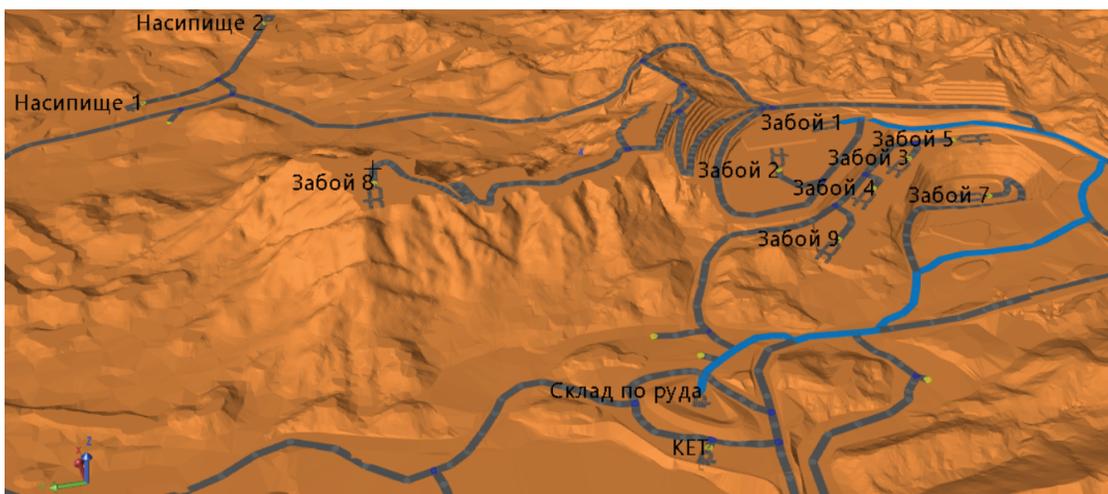


ситуационен план, исторически данни за протичането на отделните процеси и цялостната производствена система. Процесът на събиране на данни може да включва използване на геодезични инструменти, GPS устройства, системи за управление на автопарка и други сензорни технологии. След като данните бъдат събрани, те формират основата за конструиране на симулационния модел в HAULSIM. Тримерният модел на минния обект и въвеждането на основната изходна информация за софтуера осигурява създаването т. нар. „дигитален двойник“ на минния обект или изследвания участък от него. Следващият етап е калибрирането и валидирането на модела с цел гарантиране, че симулационният модел точно представя действителните условия на работа. Това включва сравняване на резултатите от симулацията с исторически данни и наблюдения, направени на място. При необходимост се извършва коригиране на входните параметри на модела с цел минимизиране на несъответствията между симулираните и действителните резултати. С калибриран и валидиран модел вече е допустимо извършването на прогнози и анализи върху алтернативни сценарии

### **Примери за приложение на HAULSIM при решаването на практически проблеми**

Възможните ситуации, илюстриращи способността на симулация посредством софтуерния продукт HAULSIM, действително са много. Поради тази причина са разгледани някои типични проблеми при открития добив на полезни изкопаеми: 1) оптимизиране на транспортните маршрути на автосамосвалите в открит рудник, 2) определяне на подходящ брой автосамосвали за обслужването на даден забой по предварително избран транспортен маршрут и 3) извършване на симулация и определяне на нивото на ефективно използване на избраната механизация.

На първо място за извършване на симулацията е необходимо зареждането на тримерния модел на минния обект и дефинирането на източниците на минна маса, пунктовете за нейното разтоварване според вида ѝ, както и свързващите ги транспортни връзки (Фиг. 1).



Фиг. 1. Тримерен модел на разглеждания примерен минен обект  
(изглед от софтуерния продукт HAULSIM)

На следващо място се дефинират видовете минна маса, участваща в симулационния модел. За целта е разгледан пример за добива и транспорта на скална маса (медна руда) с обемна плътност  $2,7 \text{ t/m}^3$ , при коефициент на разбухване 1,4 и коефициент на напълване на кофата 0,91 (при вместимост с шапка 2:1). Следва създаването на списък с механизацията, участваща във симулацията, моделите на използваната техника. За настоящия пример са използвани хидравличен багер Terex RH 120 C и автосамосвал Caterpillar 785D. По този начин са необходими 5 бр. кофи за напълването на коша на автосамосвала. На Табл. 1 са представени примерните данни, използвани за моделиране на разхода



на дизелово гориво за двата вида механизация при пълно натоварване и при работа на двигателя в състояние на престой. Приетата цена на дизеловото гориво за изчисления в модела е 1,30 EUR/l.

Таблица 1. Входни данни за разходите на дизелово гориво на използваната механизация

	Terex RH 120 C	Caterpillar 785D
Максимален разход на двигателя, (l/h)	132,00	135,60
Разход на двигателя в състояние на престой, (l/h)	52,80	54,20

След това може да се пристъпи към анализ на производителността въз основа на възможните транспортни разстояния между въведените забои и крайни пунктове (Табл. 2).

Таблица 2. Получени резултати при анализа на работата на хидравличен багер и автосамосвал за четири възможни маршрута за извозването на добитата руда

Източник	Краен пункт	Разстояние, (m)	Време на курса, (mm:ss)	Производителност, (t/h)	Разход на гориво, (l)
Забой 1	Склад по руда	2410,34	14:38	467,90	18,35
Забой 1	КЕТ	2626,40	15:31	441,08	19,66
Забой 2	Склад по руда	2851,92	16:27	416,12	21,11
Забой 2	КЕТ	3067,97	17:20	394,77	22,42

Подобни резултати могат да бъдат получени и за по-сложни транспортни мрежи, както и при по-голям брой на забойите и крайните пунктове за разтоварване на минната маса. Целта на предварителния анализ е придобиването на основна представа за очакваното време за 1 курс на автосамосвала, неговата часова производителност, разход на гориво и др. Анализът на времетраенето на курса на автосамосвалите може да бъде използван многократно и за други комбинации между наличните багери и автосамосвали при планирането на работната смяна в рудника.

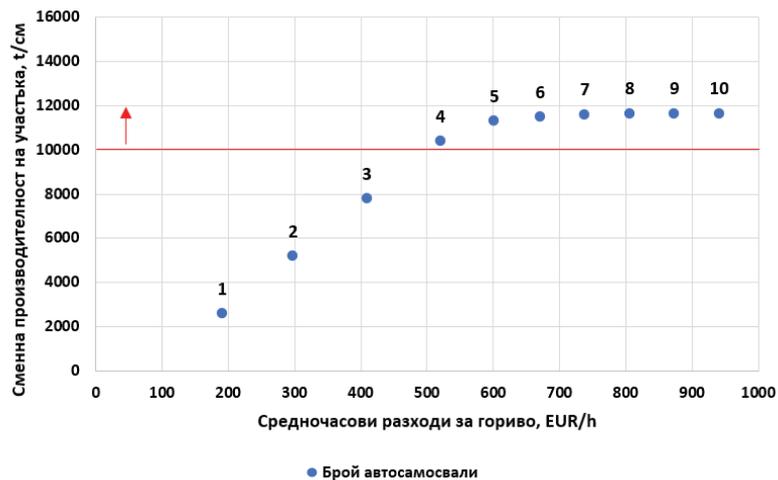
След избора на даден маршрут може да се пристъпи към по-точен анализ за определяне на необходимия брой автосамосвали за осигуряването на производствената мощност на изследвания участък за смяна или по-дълъг период от време (до 1 година). Получените резултати от анализа на необходимия брой автосамосвали е представен на Табл. 3.

Таблица 3. Получени резултати при анализа на варианти за броя автосамосвали необходими за обслужването на хидравличния багер

Брой използвани автосамосвали	Средно време за товарене, (min)	Средна продължителност на курса, (min)	Часова производителност на участъка (t/h)	Сменна производителност на участъка, (t/cm)	Средночасови разходи за гориво, (EUR/h)
1	0,37	14,23	379,29	2 591,78	190,58
2	0,43	14,29	761,29	5 201,82	297,87
3	0,49	14,35	1 140,53	7 793,60	409,16
4	0,56	14,42	1 522,48	10 403,64	520,34
5	2,80	16,66	1 652,92	11 294,95	601,74
6	5,87	19,73	1 681,08	11 487,35	670,86
7	9,03	22,90	1 696,88	11 595,34	738,39
8	12,19	26,05	1 702,78	11 635,65	805,84
9	15,30	29,16	1 702,78	11 635,65	873,35
10	18,40	32,23	1 702,78	11 635,65	940,78



На базата на направения анализ се установи, че избора на повече от 8 бр. автосамосвала не водят до повишаване на производителността на смяната поради повишеното време за изчакване между самите тях. Това е и причината за увеличаването на общите средночасови разходи. На базата на средните им стойности и сменната производителност при различните варианти, може да се търси такъв, при който се реализират минимални производствени разходи при осигуряване на плановата производителност на рудника или участъка, напр. над 10 000 t/cm (Фиг. 2). В случай, че при разгледаните варианти не се покрива плановата производителност, необходимо е повторно извършване на анализа с друг обем на кофата на багера или при друга конфигурация на използваните модели механизация.



Фиг. 2. Избор на вариант за необходим брой автосамосвали въз основа на плановата средносменна производителност на участъка

Както може да се види от Табл. 2 и Фиг. 2, решенията, които осигуряват приетата планова сменна производителност на участъка от 10 000 t/cm е при използването на поне 4 автосамосвала. След определянето на необходимия брой автосамосвали, може да се премине към симулацията минните работи за конкретната работна смяна. За целта е приета полукръгова схема на подаване на автосамосвалите към багера (Копрев и Александрова, 2022) (Фиг. 3).



Фиг. 3. Работа на хидравличен багер при полукръгова схема на подаване на автосамосвалите (изглед от софтуерния продукт HAULSIM)

След извършването на симулацията се установи, че при Вариант 1 (4 автосамосвала) се реализира сменна производителност от 10 539 t/cm, докато при Вариант 2 (5 автосамосвала) – 11 784 t/cm. Резултатите от направената симулация са представени на Табл. 4. Необходимо е да се уточни, че е възможно да настъпят известни разлики в оценката на разходите за гориво спрямо първоначалните



оценки, което се дължи на по-точно изчисленото времетраене на работните операции при извършената симулация. Важно е да се уточни, че това не е грешка в софтуерния продукт, а първоначално извършените изчисления при планирането на необходимия брой автосамосвали се дължи на липса на достатъчно точна информация за продължителността на различните видове престои за автосамосвалите и багера. Тъй като тяхното определяне представлява итеративен процес, за тази цел се препоръчва валидирането на всяко перспективно решение посредством симулация, както и разглеждането на алтернативни варианти с  $\pm 1$  до 2 автосамосвала с цел елиминирането на възможността от пропускане на оптималното решение.

Таблица 4. Резултати от симулиране на минните работи през работната смяна

Вид механизация	Вариант 1 (4 автосамосвала)		Вариант 2 (5 автосамосвала)	
	$K_v$	Разход на гориво, (l)	$K_v$	Разход на гориво, (l)
Багер 01	0,66	790,40	0,74	841,43
Автосамосвал 01	0,84	480,80	0,75	473,28
Автосамосвал 02	0,82	478,31	0,74	464,22
Автосамосвал 03	0,82	483,14	0,74	467,64
Автосамосвал 04	0,81	474,13	0,71	463,23
Автосамосвал 05	-	-	0,72	463,60
<b>ОБЩО</b>	-	<b>2 706,77</b>	-	<b>3 173,40</b>

$K_v$  – коефициент на използване на багера/автосамосвала през смяната

Получените резултати по отношение на автотранспорта могат да бъдат категоризирани като добри за Вариант 1 и средни за Вариант 2 (Александрова, 2007; Копрев и Александрова, 2022). От гледна точка на използването на багера в двата варианта, Вариант 2 осигурява по-ефективното му използване заради намалените престои за очакване на автосамосвалите в сравнение с Вариант 1. Въпреки това може да се твърди, че при 4 автосамосвала се реализира по-добра цялостна ефективност по отношение на използването на наличната механизация, както и по-висока икономическа ефективност и по-малък въглероден отпечатък. Това се дължи на по-големия дял на разхода на гориво от страна автотранспорта пред разходите на гориво при добива. За по-точна симулация съществува още възможността от включването на работа и на спомагателна механизация повреме на работната смяна, както и работата по други забои. Това би довело до получаването на още по-прецизни и точни резултати по отношение на ефективността на използването на наличната механизация, както и до възможността да бъдат прогнозираны оперативните разходи, необходими за извършването на минните работи.

### Заключение

Възприемането на HAULSIM в ежедневната работа на минни обект представлява важна стъпка напред към реализирането на по-висока ефективност, безопасност и намаляване на вредното въздействие върху околната среда на минно-добивния отрасъл. Чрез цялостен подход, базиран на симулация, HAULSIM позволява по-рационалното планиране на минните работи. Тъй като технологичния прогрес в минно-добивния отрасъл продължава с високи темпове, подобни софтуери като HAULSIM имат потенциалът да революционизират работата в открити, подземни рудници и кариери. Освен това, интегриране на IoT (Internet of Things) устройства, автономна механизация и генерирането на потоци от данни в реално време допълнително ще повиши възможностите за приложение на подобни симулационни подходи, давайки възможност за вземането на още по-рационални решения.

### Източници

1. Александрова, Е. 2007. Оценка на ефективността на съвместната работа на багер и автосамосвал. Сп. „Геология и минерални ресурси“, бр.7, София, ISSN - 1310-2265



2. Копрев, И., Александрова, Е. (2022). Открит добив на полезни изкопаеми. София, изд. къща „Св. Иван Рилски“, ISBN978-954-353-459-3
3. Czaplicki, J. M. (2008). Shovel-Truck Systems: Modelling, Analysis and Calculations, London, CRC Press, <https://doi.org/10.1201/9780203881248>
4. Grimm, V., Railsback, S. F. (2005). Individual-based Modeling and Ecology. Princeton University Press. ISBN 978-0-691-09666-7.
5. Kroese, D. P., Taimre, T., Botev, Z. I. (2011). Handbook of Monte Carlo Methods, Wiley Series in Probability and Statistics, John Wiley and Sons, New York, DOI:10.1002/9781118014967
6. <https://rpmglobal.com/product/haulsim/> (последно достъпен на 30.06.2023 г.)

