

СИМУЛАЦИОНИ МОДЕЛ ДИСКОНТУАЛНОГ СИСТЕМА НА ПОВРШИНСКИМ КОПОВИМА

Димшио Милошевић¹, Владимир Малбашић², Миро Максимовић³

e-mail: dimsomilosevic@gmail.com

1-Спољни сарадник РиТЕ Угљевик 1, 2- Универзитет у Бањој Луци, Рударски факултет 2, 3- РиТЕ угљевик

Апстракт

Значај информационих технологија (ИТ) у великим индустријским системима, већ неколико деценија расте експоненцијалном брзином. У области рударства информационе технологије постају незаобилазни елемент пословања, који отвара нове перспективе за унапријеђење производње. Реализација информационог система али и ефектног модела управљања, захтијева познавање низа, често разнородних дисциплина, као и знања потребних за процјену и моделирање будућих понашања реалног система и његовог окружења.

Систем за управљање производњом чини срце рудника. Компјутерска симулација различитих варијанти транспортних система подразумијева процес развоја и коришћења симулационог модела у програмском пакету TALPAC и HaulSim 3D, Runge Software. Симулациони модел даје функционални опис реалног система, његових технолошких процеса и компонената. Равнотежа између нивоа уграђених детаља у симулациони модел и жељених циљева истраживања симулационим експериментима одређује се концептним моделом

Кључне речи: површински коп, транспортни систем, симулациони модел

Тема скупа: Рударство и заштита животне средине

Увод

Систематска побољшања у управљању готово свим аспектима производних операција у површинској експлоатацији минералним сировинама је до сада првенствено била усредсређена на постизање бољих економских ефеката путем масовне производње, умјесто модификовања самог система производње. Систем за управљање производњом чини срце рудника, а фокус на систем за управљање производњом је довео до развоја производних и управљачких техника којима се могу повећати продуктивност и квалитет.

Оптимизација управљања дисконтинуалним системима површинске експлоатације представља веома сложен процес и комплексну материју који захтијева прецизно дефинисање свих релевантних показатеља који утичу на

рад површинског копа у цјелини. Модернизација управљања у већини рудника условљена је контролом производње и механизмима управљања. Рударска производња има значајне користи од богатства информација и могућности мониторинга и електронске контроле процеса рада.

Значај информационих технологија (ИТ) у свим областима људске дјелатности, а посебно у великим индустријским системима већ дуже вријеме расте великом (експоненцијалном) брзином. Тако и у области рударства информационе технологије постају незаобилазни елемент пословања, који отвара нове перспективе за унапређење производње. Побошање пословних перформанси производних система постиже се активностима усмјереним на смањење трошкова, оптимизацију производних процеса и већем искоришћењу постојећих ресурса.

Израда компјутерског симулационог модела дисконтинуалног система експлоатације угља

Компјутерска симулација различитих варијанти транспортних система подразумијева процес развоја и коришћења симулационог модела у програмском пакету TALPAC, Runge Software. Симулациони модел даје функционални опис реалног система, његових технолошких процеса и компонената. Са друге стране, симулациони експерименти одређују услове под којима се симулациони модел примјењује да би дао статистички поуздане процјене излазних перформанси реалног система. Равнотежу између нивоа уграђених детаља у симулациони модел и жељених циљева истраживања симулационим експериментима одређујемо концептним моделом.

Други концептуални приступ је лоцирање багера на радним етажама у центре маса које треба да се откопавају и његово повезивање транспортним трасама са дробиличним постројењем при комбинованом транспорту и одлагалиштем јаловине при камионском транспорту јаловине. Тиме се упросјечује дужина камионског транспорта и омогућава разматрање рада система у дужем временском периоду са овим статичким елементима. Према томе, можемо да закључимо да на нивоу концептне разраде модела са промјеном транспортних траса у реалном времену и статичке елементе у систему преводимо у динамичке.

Структура модела

У структури интегралног симулационог модела издваја се више подмодела по основу два критеријума:

- (1) јединствености процеса или стања, и
- (2) програмске цјеловитости (макрои-подпрограми).

За потребе реализације постављеног циља у овом раду, дефинисана су два концептна модела транспорта на бази којих ће бити развијени дискретни симулациони модели транспорта откривке и угља:

- модел дисконтинуалног система транспорта за откривку,
- модел дисконтинуалног дијела комбинованог система транспорта за угаљ.

Концептуалним моделом је одређен оквир транспортних процеса који се разматрају и везе између статичких и динамичких елемената у моделу. Као статички елементи у систему разматрају се багери, транспортне трасе. Могућност разматрања утицаја промјене положаја багера и/или дробиличног постројења у моделу се остварује уносом нових транспортних траса са свим потребним елементима за жељени временски интервал посматрања. Разматра се практично рад система багер-камион на П.К. „Бо гутово Село“:

Talpac је софтверски систем који се користи за одређивање продуктивности и економичности утоварно-транспортног система Багер - камион користећи логику која моделира стварне транспортне ситуације. *Talpac* омогућава разматрање већине фактора који штетно дјелују на продуктивност и осјетљивост продуктивности на ове факторе. У *Talpac*-у дефинишемо транспортне трасе, камион који користимо, утоварну јединицу, утоварну стратегију, особине материјала и организацију рада. Софтверски систем *Talpac* узима ове улазне податке и обавља бројне функције на њима, укључујући анализу производње, утоварну анализу, оптимизацију величине возног парка, снагу мотора, корисну носивост итд.

По завршетку уноса свих неопходних информација и података приступа се обради и приказу резултата. Табела резултата је средство за приказивање резултата из серије *Talpac*-ових анализа производње. Све врсте анализа производње могу бити приказане у табели резултата укључујући резултате:

- пуне симулације,
- анализе добитка,
- оптимизације параметара система, и
- брзе процјене.

Израдом симулационог модела у *Talpac*-у могу се анализирати следећи подаци и параметри:

- калкулација времена вожње која омогућава компаративну анализу циклуса транспорта у различитим алтернативама,
- упоређивање перформанси различите опреме на истој транспортној траси за одређивање оптималне селекције опреме,
- процјену и упоређивање продуктивности користећи различите утоварне методе за одређивање оптималне технике,

- одређивање оптималне опреме у смислу запремине кашике или снаге мотора утоварне јединице и сценарија транспорта,
- калкулација у смислу избора гума,
- одређивање трошкова транспорта и цијене транспорта,
- инкрементална анализа, гдје се при симулацији може аутоматски одредити сваки сегмент транспорта и резултати користити при изради подукционе криве, и
- анализу утоварне опреме за оптимизацију величине-запремине кашике, носивости камиона и броја кашика.

У изради овог модела кориштена је пуна симулација и оптимизација параметара система. Пуна симулација узима у обзир различите параметре камиона и утоварних јединица и врши стохастичку анализу, а параметри могу варирати – циклус кашике, пуњење кашике, вријеме вожње, вријеме истресања и вријеме расположивости камиона.

За сваку анализу производње табела резултата садржи све параметре (има их око 250) и они се могу приказати. Постоји могућност да се додају или бришу подаци са ове листе, односно да се формира листа података које желимо да прикажемо. Табела резултата се прилагођава и за графичко приказивање резултате анализе.

У *Talpac*-у постоје двије могућности симулације производње, пуна симулација и брза процјена. Пуна симулација користи промјењиве и непромјењиве податке, а као резултат је могуће приказати утицај ефеката чекања на ефективност возног парка. Брза процјена се обавља користећи само непромјењиве податке и ефекте процјене продуктивности возног парка. Брза процјена продуктивности је алтернатива пуне симулације, која као таква обавља и одређене прорачуне. То чини не узимајући у обзир класификацију која је постављена за камионске и утоварне параметре, користећи средње вриједности. Ова процјена подразумјева да нема варијација у избору параметара камиона и утоварне јединице и врши детерминистичку анализу, што је у конкретном случају могуће користити када је неопходан екстремно брз резултат и рјешење за одређену ситуацију.

Недостатак код кориштења брзе процјене продуктивности је то што се не могу добити стварни резултати за корисну носивост камиона, вријеме утовара, вријеме чекања и због тога ће камионска и продуктивност возног парка бити претпостављена. Предност је то што ће симулација узети много мање времена и резултати ће бити идентични у узастопним серијама, ако основна информација није мијењана ни на који начин. Подаци и формат резултата за брзу процјену продуктивности су исти и за пуну симулацију. Метод калкулације, кориштен да се добију резултати симулације, је истакнут на врху штампаног извјештаја.

Резултати који се могу прегледати и упоредити су :

- детаљи циклуса транспорта,
- потрошња горива, мазива и гума,
- приказ тока новца,
- графички приказ времена вожње због уочавања кључних сегмената циклуса транспорта, и
- инкрементална анализа за одређивање продуктивности флоте при различитој дужини транспорта.

Runge mining препоручује да се анализа пуне симулације увијек користи када се желе добити најреалнији резултати. Може се користити за аутоматско генерисање серија података, повезујући следеће параметре:

- косина сегментне дужине у транспортном циклусу,
- равнина сегментне дужине у транспортном циклусу, и
- било који параметар продуктивности створен у *Talpac*-у.

За сваку комбинацију дужине косине и равнине *Talpac* проводи пуну симулацију, резултати симулације исписани су у табели резултата. Помоћу дате дужине косине и равнине за одређени транспортни циклус, могу се прочитати параметри продуктивности који нас занимају.

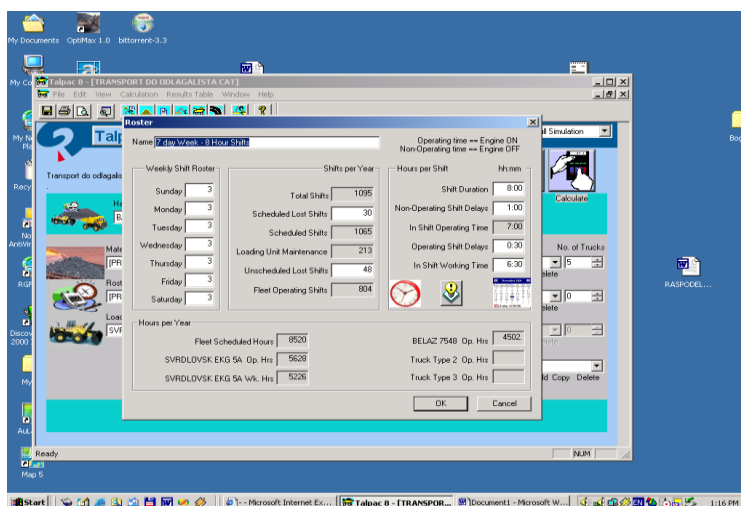
Анализа тока новца највише је корисна у следећим ситуацијама, односно када имамо:

- 1) много различитих транспортних циклуса да анализирамо, нпр. при процјени продуктивности опреме за сваки блок експлоатације у моделу свог великог блока на лежишту,
- 2) модел са транспортним циклусима гдје се један од два сегмента непрекидно продужава како се фронт радова удаљује од мјеста истоваара и 3) потребу симулирати промјене у транспортном циклусу.

У *Talpac*-у се могу оптимизирати следећи параметри транспортног система:

- а) величина возног парка,
- б) снага мотора,
- в) брзина преношења,
- г) коефицијент вуче,
- д) корисна носивост камиона и
- ђ) отпор котрљању.

Резултати оптимизације показују осјетљивост продуктивности и трошкова у повезаности са параметром који је оптимизиран и у неким случајевима могу осигурати оптималну вриједност за параметар базиран на трошковима и продуктивности. Било који параметар може бити обухваћен оптимализацијом, нпр. продуктивност возног парка, средња вриједност трошкова, вријеме



Слика 2 Изглед панела за дефинисање организације рада

При дефинисању организације рада се рачунају оперативни и радни сати опреме што се користи у симулацијама продуктивности (слика 2.). Оперативни сати се изводе из следећих улазних података за организацију рада:

- седмична организација рада,
- годишња организација рада, и
- смјенска организација рада.

Расположивост опреме се такођер примјењује, похрањена је у постојећој бази података о камионима и утоваривачима. Оперативни сати опреме се примјењују за одређивање погонских трошкова и онда се користе у калкулисању просјечних трошкова за расположиви возни парк. Радни сати се користе у калкулисању годишње продуктивности опреме. Примјери типичних организација рада заступљени су у *Talpac*-у.

Избор типа утоварне машине

Подаци о техничко-експлоатационим карактеристикама утоварних машина се налазе у бази података. Подаци су структурирани по типовима утоварних машина. Уколико у бази не постоји одређени тип утоварне машине софтвер омогућава да се база допуни додатним подацима. Изглед панела за избор типа утоварне машине је приказан на слици 3.

Похрањене информације су комбинација карактеристика утоварних машина и података из базе података. То укључује вријеме утовара кашике, корисна носивост багера, расположивост, методологију утовара, оперативне и основне трошкове. Радни вијек утоварне машине је дефинисан са 45.000 радних сати или 10 година уз одговарајућу амортизациону стопу за тај период.

За типове камиона којима располаже Рудник Угљевик се дефинише раднијек вијек у броју радних сати или година рада уз дефинисану амортизациону стопу.

Подаци похрањени у узорцима камиона су комбинација локалних карактеристика камиона и података из базе података о камионима. То укључује капацитет камиона, вучну силу, потрошњу горива, оперативне и основне трошкове. Могу се изабрати три типа камиона у транспортном систему, међутим може бити било који број камиона за сваки тип. Сваки тип камиона је похрањен у одвојеним узорцима. Први тип камиона, типа 1, мора бити одређен да би се добили резултати анализе. Дефинисање 2. и 3. типа камиона је препуштено избору. Сваки узорак камиона садржи везу са камионом у бази података. Ова веза може бити за стандардни камион или кориснички одређен систем.

Транспортна траса

Транспортна траса се састоји од серије рампи и равних дионица. За моделирање транспорта Talpac захтијева да транспортна траса буде подијељена на низ сегмената који представљају дионице под нагибом и равне дионице (слика 5.). Нови сегмент је потребан сваки пут када се околина која контролише брзину камиона мијења. Следећи параметри се користе да се одреди сваки сегмент: 1) дужина дионице, 2) нагиб дионице, 3) отпорт котрљању, 4) максимално дозвољена брзина, 5) крајња брзина и 6) податак о томе да ли је камион пун или празан.

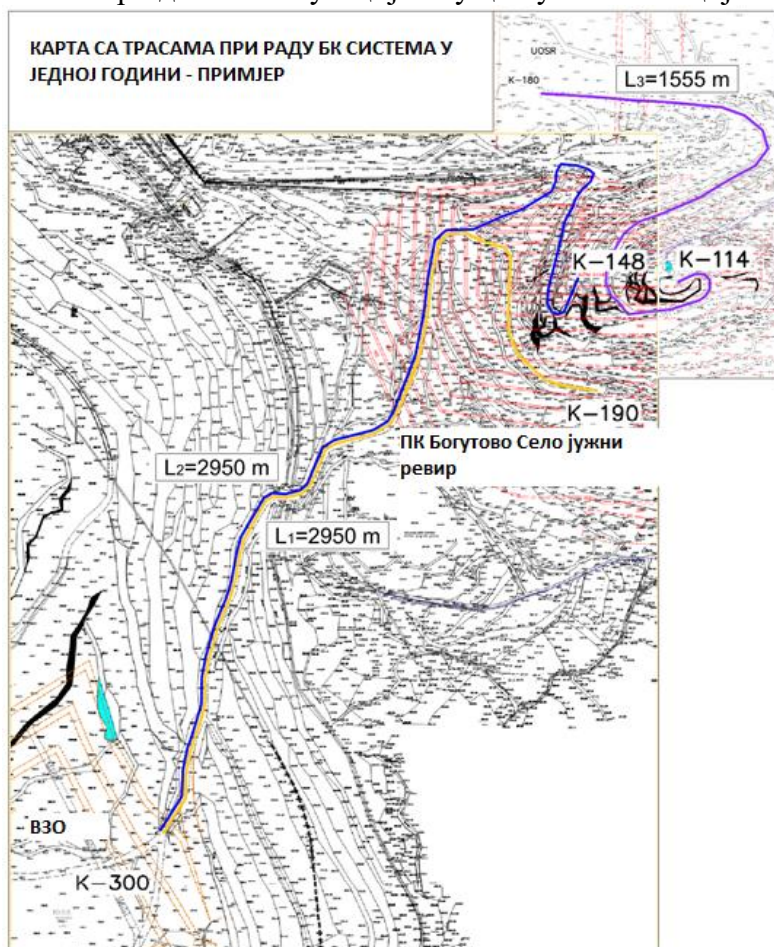
Type	Title	Distance metres	Grade %	Roll Res. %	Max km/h	Curve Angle	Final km/h	Load % of Full
1	Queue	CEKANJE NA UTOVAR	Auto	0.0	0.0	0.0	0.0	0
2	Spot	MANEVAR KOD BAGERA	Auto	0.0	0.0	0.0	0.0	0
3	Load	UTOVAR	Auto	0.0	0.0	0.0	0.0	0
4	1	D 1	65.0	0.0	3.0	Max	0.0	Max Full
5	2	D 2	82.0	0.0	3.0	Max	65.0	Max Full
6	3	D 3	125.0	7.0	3.0	Max	0.0	Max Full
7	4	D 4	157.0	7.0	3.0	Max	60.0	Max Full
8	5	D 5	45.0	8.0	3.0	Max	23.0	Max Full
9	6	D 6	48.0	8.0	3.0	Max	142.0	Max Full
10	7	D 7	67.0	8.0	3.0	Max	0.0	Max Full
11	8	D 8	45.0	8.0	3.0	Max	72.0	Max Full
12	9	D 9	132.0	8.0	3.0	Max	16.0	Max Full
13	10	D 10	235.0	8.0	3.0	Max	41.5	Max Full
14	11	D 11	100.0	8.0	3.0	Max	0.0	Max Full
15	12	D 12	160.0	8.0	3.0	Max	27.0	Max Full
16	13	D 13	108.0	8.0	3.0	Max	45.0	Max Full
17	14	D 14	195.0	8.0	3.0	Max	26.5	Max Full

Слика 5. - Изглед панела за дефинисање транспортне трасе

Информације везане за транспортни циклус похрањене су у узорку транспортног циклуса. Похрањене информације обухватају редослед операција које се јављају за камионски циклус укључујући: 1. чекање, 2. маневрисање, 3. утовар, 4. транспорт и 5. истовар

Примјер добијених резултата оптимизације рада БК система

Обрадом наведених података у софтверском пакету Talpac Runge, њиховим уносом у модуле кроз панеле приказане у претходним поглављима, слика 6, добијамо резултате који се обликују у постављену форму извјештаја - слика 7, чиме дефинишемо почетни фиксни број камиона у флоти, као базна варијанта која се користи и при даљим симулацијама у циљу оптимизације.



Слика 6 Примјер шеме траса транспорта на ПК при раду БК система на откривци

За потребе унапријеђења ефикасности рада дисконтинуалних система експлоатације на површинским коповима кроз примјену флексибилне

Округли сто: Геологија и рударство као прилике за привредни развој и еколошки изазови, Приједор, 2026.

дистрибуције камиона, односно одговарајућег диспечинг мода користи се програмски пакет HAULSIM. HAULSIM је 3D програмски пакет за дискретно симулирање догађаја, урађен за симулацију дисконтинуалних система експлоатације на површинским коповима (*Discrete Event Simulation -DES*). HAULSIM користи дискретно моделовање процеса у њихову интеракцију између утоврано-транспортне опреме, мреже транспортних путева, откопних локација и дестинација транспорта по типовима материјала који се откопавају. Овакав начин оптимизације система укључује све релевантне технолошке утицаје на процјену ефикасности система експлоатације.

Production Summary - Full Simulation		
Haulage System:	BAGER 2 DROBILICA II	
Haul Cycle:	Bager 1 Etaza 100 P.D. II	
Material:	[PRJ] Glina, pjescar,alevroilit i pijesak	
Roster:	[PRJ] 7 day Week + 12 Hour Shifts	
Loading Unit	SVRDLOVSK EKG 5A	
Availability	%	80
Average Bucket Volume	cu.metres	4.81
Bucket Fill Factor		1
Average Payload	tonnes	7.51
Operating Hours per Year	OpHr/Year	5,628.00
Operating Shifts per Year	shifts/Year	536
Average Bucket Cycle Time	min	0.83
Production per Operating Hour	tonnes	418.43
Production per Shift	tonnes	4,394
Production per Year	tonnes	2,354,947
Wait Time per Operating Hour	min	2.33
Truck	BELAZ 7548	
Availability	%	80
Payload in Template	tonnes	34.13
Operating Hours per Year	OpHr/Year	4,502.40
Average Payload	tonnes	34.3
Production per Operating Hour	tonnes	174.35
Production per Shift	tonnes	1,465
Production per Year	tonnes	784,982
Average Queue Time at Loader	min/cycle	1.99
Average Spot Time at loader	min/cycle	0.42
Average Loading Time	min/cycle	3.64
Average Travel Time	min/cycle	3.72
Average Spot Time at Dump	min/cycle	0.33
Average Dump Time	min/cycle	1.15
Average Cycle Time	min/cycle	11.25
Fleet Size		3
Average No. of Bucket Passes		4.57
Fleet		
Production per Year	tonnes/Year	2,354,947
Discounted Capital Cost	\$/tonnes	0.05 Loading Methodology
Discounted Operating Cost	\$/tonnes	0.51 Single Sided
Discounted Average Cost	\$/tonnes	0.56 Full Truck
		Average for 150 Shifts
Excavation Target	tonnes	1,400,000.00
Time to move Excavation Target	Days	217.14
Loading Unit Hours to move Target	Op. Hours	3,346
Total Truck Hours to move Target	Op. Hours	8,030
Total cost to move Target	\$	788,184
Productivity estimates allow for insufficient time at the end of the shift to complete another cycle.		
Time for the first bucket pass coincides with the Truck queueling and maneuvering times.		
This simulation is based on truck data provided by the equipment manufacturer.		

Слика 7 : Форма извјештаја резултата симулације у програмском пакету Talpac и HaulSim 3D

Умјесто закључка

За опстанак рударске индустрије у 21. вијеку биће потребно да се изврше фундаменталне промјене, како у техничкој тако и у управљачкој технологији. Наведена два извора иновација омогућила су другим пословним секторима да остану профитабилни.

Операционо-симулациони модел управљања дефинисан је карактеристичном поставком комерцијалних рачунарских програма за статистику прикупљених информација, те симулацију дисконтинуланог система експлоатације чији резултати нису само погодни за директни диспечинг и алокацију опреме него и за саму валидацију важећих модела управљања.

Предложени симулациони модел даје могућност интерактивне двосмјерне везе између диспечерског центра са директним извршиоцима, пословођама и руководиоцима појединих производних цјелина, те нивоом техничког директора као тактичког, па и директора као стратешког управљања. То значи да је могуће много лакше управљање и специфично прилагођавање стратешких и оперативних планова и циљева.

Референце/Литература

- Четин, Н. (2004): *Open pit truck/shovel haulage system simulation*, Ph.D thesis., The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University-Department of Mining Engineering, September 2004, 116 pages.
- Колоња, Б. (1992): *"Simulation Analysis of Dispatching Strategies for Surface Mining Operations Using SIMAN"*, M. Sc. Thesis, Pennsylvania State University.
- Колоња, Б., Васиљевић, Н. (2000): *"Computer Simulation of Open-Pit Transportation Systems"*, *Mine Planning and Equipment Selection*, Panagiotou and Michalakopoulos (Eds), Balkema, Rotterdam, pp. 613-618.
- Колоња, Б., Стевановић, Д. (2019): *Рударска економика минералних ресурса – Евалуација инвестиционих пројеката*. Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет Београд. Београд.
- Малбашић В. (2007): *Модел за евалуацију транспортних система у функцији дугорочног планирања површинских копова метала*. Докторска дисертација, РГФ Београд, 2007.
- Максимовић, М., Милошевић, Д. (2016): *Заштита животне средине-рекултивација пошумљавањем одлагалишта површинских копова угља*. Институт за рударство и металургију Бор. Бијељина.
- Милошевић, Д. (2018): *Модел управљања радом дисконтинуалних система експлоатације на површинским коповима*. Докторска дисертација. Универзитет у Бања Луци, Рударски факултет Приједор. Приједор