

**DIE GEBRUIK VAN SIMULASIE AS DEEL VAN 'N
BESLUITNEMINGSONDERSTEUNINGSHULPMIDDEL VIR
ONDERGRONDSE STEENKOOLOGYNBOW**

¹Hendrik Steynberg

&

²Pieter J Conradie

ABSTRACT

An underground coal mine is almost totally mechanised today. One of the methods of extraction is pillar development with expensive resources that include continuous miners, shuttle cars, roof bolters, feeder breakers, and conveyor belts. Currently the only mechanism to support decision making, regarding scheduling and resource capacities, is the experience of the miner, the shift boss and the manager. This article presents a new approach where a simulation model, linked to a user-friendly interface, is used to evaluate different scenarios.

OPSOMMING

'n Ondergrondse steenkoolmyn is vandag grootliks gemeeganiseerd. Een van die mynboumetodes is pilaarontwikkeling wat die aanwending van duur hulpbronne soos delwers, wisselkarre, dakbouters, voerderbrekers en vervoerbande tot gevolg het. Tans word besluite in verband met skedulering en hulpbronnkapasiteite gebaseer op die ondervinding van die myner, sy toesighouer en die bestuurder. Hierdie artikel stel 'n nuwe benadering voor, wat gebruik maak van simulاسie met 'n vriendelike gebruikersintervlak, om verskillende scenarios teen mekaar op te weeg.

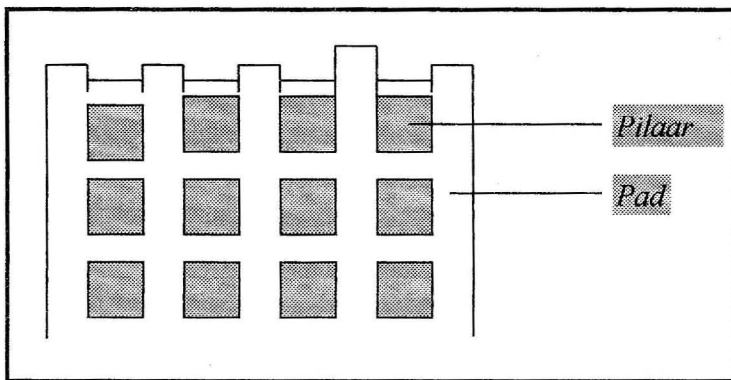
¹ Middelbult steenkoolmyn, SASOL Steenkool, 'n divisie van SASOL Mynbou

² Departement Bedryfs- en Sisteemingenieurswese, Universiteit van Pretoria

1. INLEIDING

'n Ondergrondse steenkoolmyn is grootliks gemeganiseer. Die ontginning van steenkool vind plaas in verskillende afdelings wat elkeen oor sy eie infrastruktuur en hulpbronne beskik. Pilaarontwikkeling, die spesifieke steenkoolmynboumetode waarop gefokus word, het 'n omwenteling ondergaan in die meganisasiëproses. Verskeie interafhanklike veranderlikes het in die meganisasiëproses ontstaan, wat moeilik kwantifiseerbaar is. Tesame daarmee het die ondergrondse steenkoolmynbouomgewing verskeie unieke eienskappe, soos byvoorbeeld die hele werksomgewing wat voortdurend verskuif, asook ventilasie, bestutting, waterhantering en die hantering van toerustingkabels. Die uitleg van 'n pilaarontwikkelingsafdeling lyk soos in **Figuur 1** getoon:

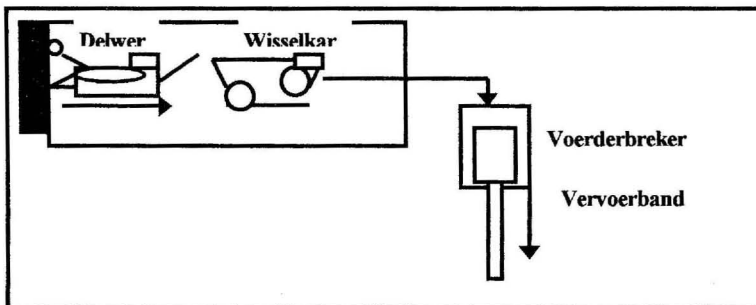
Figuur 1 - Die afdelingsuitleg



Die interaksie tussen die verskillende hulpbronne, tesame met die beperkings en unieke omstandighede van elke afdeling, maak dit moeilik om die hulpbronne optimaal te skeduleer en optimale hulpbronn kapasiteite te bepaal in die voortdurende poging om die besigheid se wins te verhoog. **Figuur 2** toon die belangrikste hulpbronne in die proses aan.

Ten einde die besigheid se wins te kan verhoog moet bestuurders op verskeie vlakke verskillende besluite neem rakende die bedryf van die afdeling, wat gekompliseer word deur die interafhanklikheid van die komponente van die produksieproses.

Figuur 2 – 'n Skematiese voorstelling van die proses



Om 'n oplossing vir die vraagstuk te kry is 'n sagtewarestelsel ontwikkel wat op simulasiemodellering steun om besluitneming rakende skedulering en hulpbronnkapasiteit te ondersteun. Die sagteware stel die gebruiker in staat om verskeie spesifieke vrae te beantwoord, deur soveel as moontlik beheerbare veranderlikes van 'n produksie-afdeling as parameters te definieer. Hierdie parameters kan dan deur die gebruiker verander word om alternatiewe scenario's ten opsigte van produksie hulpbronne en bedryfsreëls voor te stel. Die prestasie van elke scenario word hoofsaaklik in terme van die produksietempo gemeet, wat dit moontlik maak om die verandering van beheerbare parameters teen mekaar op te weeg. Die stelsel word vervolgens in meer detail bespreek.

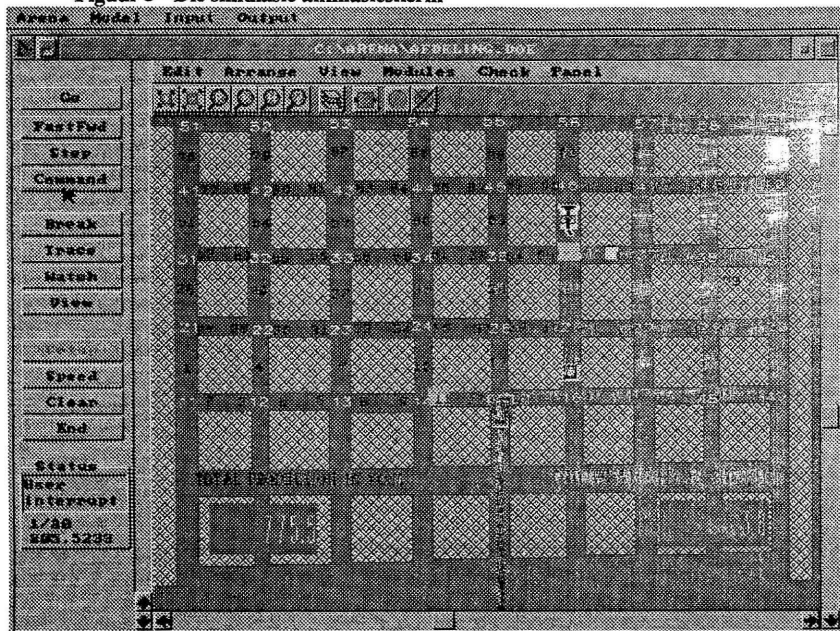
2. WERKING VAN STELSEL

Die tipe stelsel wat ontwikkel is, is 'n besluitnemingsondersteuningstelsel. Die stelsel bestaan volgens Finlay [1] en Sprague en Watson [5] uit drie tipiese komponente, naamlik 'n gebruikerskoppelvlak, 'n model (die simulasiemodel) en 'n databasisfasiliteit. Dit funksioneer as 'n alleenstaande stelsel wat die werking van 'n enkeldelwer ondergrondse produksie afdeling van 'n steenkoolmyn simuleer, ten einde besluitnemingsondersteuning te verskaf.

Die gebruikerskoppelvlak laat die gebruiker toe om deur middel van invoerskerms die veranderlikes in te voer wat sy afdeling karakteriseer. Afgesien daarvan kan die gebruiker ook twee ander scenario's skep om dit teen die huidige situasie op te weeg. Spyskaarte wat ontwerp is volgens die struktuur van die gebruikersomgewing en helpfunksies stuur die gebruiker om die simulasiemodel op te stel en uit te voer en resultate te ontvang. Die gebruikerskoppelvlak is geskryf met behulp van MS Excel. Die sagteware beskik oor die vermoë vir die programmering van 'n gebruikerskoppelvlak, met invoerskerms, wat lyk soos 'n alleenstaande stelsel binne die WINDOWS omgewing.

Die simulasiemodel is 'n model in ARENA wat uitgevoer word met die data wat deur die gebruiker via die gebruikerskoppelvlak ingevoer word. Die resultate word weer na die gebruikerskoppelvlak teruggeskryf. Die model logika simuleer 'n enkeldelwer afdeling tot 'n maksimum van nege paaie, drie wisselkarre, een voerderbreker en een dakbouter. Die simulatie animasieskerm word getoon in **Figuur 3**.

Figuur 3 - Die simulatie animasieskerm



Die behoefte na 'n databasisfasiliteit word ook bevredig deur gebruik te maak van MS Excel. Die databasisfasiliteit stoor eksperimente van verskillende afdelings tesame met 'n gesamentlike databasis van al die wisselkarreisroetes, delwerreisroetes en dakbouterreisroetes. Dit vergemaklik die opstelling van 'n simulatie scenario aansienlik, deurdat die gebruiker minder data hoef toe te voer.

Die eerste stap in die gebruik van die besluitnemingsondersteuningstelsel is die skep van 'n nuwe afdeling of die oopmaak van 'n bestaande een. Indien 'n nuwe afdeling geskep word, word die afdelingnaam as 'n lêerhouer gedefinieer waarin verskillende eksperimente gestoor kan word. Die gebruiker kan dan vir 'n spesifieke afdeling eksperimente skep waarin verskillende veranderlikes in die afdeling verander kan word. Onder elkeen van die spyskaarthoofde kan veranderlikes van 'n enkeldelwer afdeling ingevoer word. Verskillende scenario's kan op die manier deur die simulasiemodel uitgevoer en geëvalueer word. Die delwerinvoerskerm getoon in **Figuur 4** dien as voorbeeld van die skermuitleg en die gebruikerskoppelvlak.

Figuur 4 - Die delwerkkapasiteitsinvoerskerm

Default - Continuous mine

Enter the CM number

CMtranspeed (m/min)

CMlength (m)

CMcutterdrumeachwidth (m)

CMcutterdrumdiameter (m)

CMconveyorloadingrate (tons/min)

Mean time to breakdown (min)

Mean time to repair (min)

Time to maintenance (min)

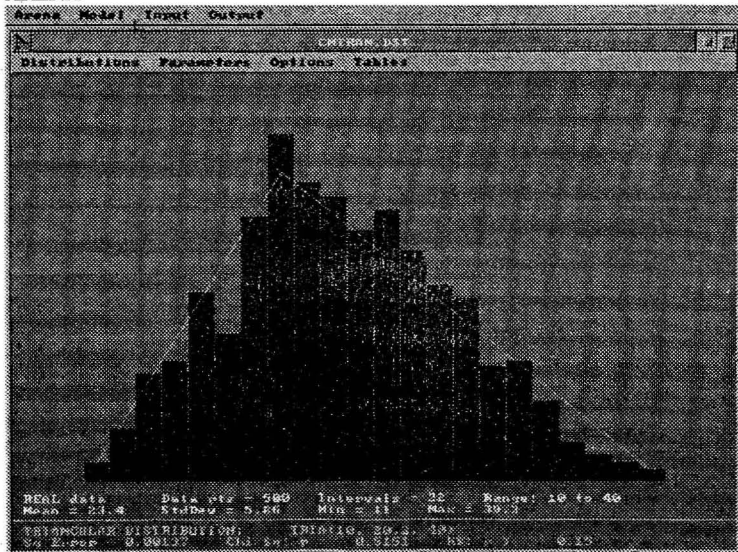
Maintenance time (min)

For Help on dialog settings, press F1

Start Microsoft Office Shortcut ... DES FOR UNDERG... 11:25 PM

Die proesystyd insetdata word deur die gebruiker toegevoer. Die insetdata word met behulp van werkstudies, telemetriese stelsels en skofverslae bepaal en word deur die inset analiseerder van ARENA verwerk om 'n passing te maak van die waarskynlikheidsverdeling wat die data die beste beskryf (Figuur 5). Die geldigheid van die passings word oorweeg aan die hand van Chi-Kwadraat en die Kolmogorov-Smirnov passingstoetse.

Figuur 5 - 'n Voorbeeld van insetdata verwerk deur ARENA



Vir 'n nie terminerende proses, soos hier die geval is, is daar twee metodes om die stelsel te simuleer. Die eerste is die simulاسie van 'n lang simulاسiegang wat dan in lotte verdeel word en die tweede is die verkorte herhaling van simulاسiegange.

In die verlede was dit nodig om met behulp van formules die aantal lotte of gange te bereken wat nodig is om die vereiste vertrouensinterval te bereik (Pegden *et al.* [4]). ARENA verskaf egter tans 'n fasiliteit wat die gebruiker in staat stel om die vertrouensinterval wat verlang word, te spesifiseer. ARENA se simulاسiemodule het terminerende voorwaarde velde, waar die grootte van die vertrouensintervalle wat verlang word, ingevoer word in plaas van 'n vaste ganglengte.

Vir die stelselmodel word byvoorbeeld 'n vertrouensinterval van kleiner as 0.1 verlang by 'n 95% vlak van vertroue vir die produksietempo as hoofuitset. Die uitset analiseerder van ARENA wys die gebruiker op enige korrelasie en ook indien 'n spesifieke gang te kort is om 'n geldige puntskattergemiddeld te verkry. Dit stel die gebruiker ook in staat om hipotese toetse te doen om te bepaal of die verskil tussen gemiddeldes en standaardafwykings van alternatiewe vir 'n gegewe vertrouensinterval wesenlik is (Kelton *et al.* [2]).

3. EKSPERIMENTELE VOORBEELD

As voorbeeld van die werking van die simulاسiemodel word die volgende eksperiment getoon. 'n Enkeldelwer afdeling word gemodelleer met drie wisselkarre, een voerderbreker en afdelingsvervoerband en een dakbouter.

3.1 Probleemstelling

Nuwe wisselkarre moet aangekoop word. Die vraag ontstaan of die vergroting van die wisselkarakapasiteit werklik 'n wesenlike voordeel vir 'n afdeling inhou. Die probleem is om die voordeel te kwantifiseer, sodat nuwe wisselkarre wat aangekoop moet word, die wins van die besigheid optimeer. Nuwe wisselkarre met 'n kapasiteit van tien ton (die huidige wisselkarre in gebruik) se prys is R900 000. Die koste vir 'n twintig ton wisselkar (die maksimum grootte gegewe die fisiese beperkings) is R1 350 000. Twintig ton wisselkarre word oorgedoen na 1 000 000 ton of ongeveer vier jaar. Tien ton wisselkarre word oorgedoen na 750 000 ton, of ook ongeveer vier jaar. Die opknepkoste vir die groter wisselkar is R210 000 meer as vir die kleiner wisselkar.

3.2 Motivering vir die gebruik van die sagteware stelsel

Alhoewel die vergroting van die wisselkarkapasiteit kwalitatief beter is, kan die voordeel daarvan nie maklik gekwantifiseer word nie, as gevolg van die verskillende interafhanklike veranderlikes wat 'n rol speel in die produksieproses.

3.3 Belangrikste insetdata

Dit is belangrik om daarop te let dat die insetdata geldig is vir 'n spesifieke afdeling en omstandighede en nie in die algemeen noodwendig waar is nie. Die belangrikste insetdata vir die eksperiment word gegee in **Tabel 1**. Die driehoeksverdeling gee die beste passings

vir die insetdata volgens die inset analiseerder van ARENA, veral wat betref die definitiewe minimum en maksimum waardes wat die data vertoon.

Tabel 1 - Insetdata

VERANDERLIKE	WAARDE OF VERDELING
Aantal afdelingspaai	5
Wydte van afdelingspaai (m)	Driehoek(6, 6.6, 7)
Pilaarsenterlengte (m)	24
Pilaarsenterbreedte (m)	24
Laagdikte (m)	Driehoek(3.2, 3.5, 3.7)
Delwer snytyd per siklus (min)	Driehoek(1.25, 1.7, 2.5)
Delwer laaitempo (t/min)	Driehoek(8, 9, 12)
Wisselkarkapasiteit (eksperiment 1) (t)	Driehoek(9, 10, 11)
Wisselkarkapasiteit (eksperiment 2) (t)	Driehoek(17, 18, 20)
Wisselkaraflaaitempo (t/min)	Driehoek(10, 14, 16)
Wisselkarspoed (vol) (m/min)	Driehoek(45, 50, 55)
Wisselkarspoed (leeg) (m/min)	Driehoek(60, 70, 80)
Voerderbreker voerbakkapasiteit (t)	Driehoek(4, 5, 6)
Voerderbreker deursetkapasiteit (t)	Driehoek(9, 10, 11)

3.4 Aannames

- Die spoed waarteen die verskillende grootte wisselkarre ry is dieselfde.
- Breekstilstande speel, in die opweeg van die twee alternatiewe, nie 'n rol tot voordeel van enige van die eksperimente nie.
- Beskikbaarheid van die spesifieke afdeling is 60%.
- Die afdeling se effektiewe skofyd, waartydens geproduseer word, is 9 uur.
- Daar is 515 volledige skofte per jaar.
- Die kapasiteitsveranderlikes van die verskillende wisselkarre is eksperimenteel bepaal vir afdelings in die algemeen. Die kapasiteite word as geldig aanvaar.

3.5 Resultate

Die belangrikste uitsetdata vir die verifikasie en validasie van die model en die beoordeling van die basisgeval (die 10 ton wisselkarre) teenoor die alternatief (die 20 ton wisselkarre) word in **Tabel 2** getoon.

Tabel 2 - Belangrikste uitsetdata

UITSETVERANDERLIKE	BASIS GEM.	95% INTERVAL	ALT. GEM.	95% INTERVAL
Produksietempo (t/min)	2.92	2.9 < gem < 2.93	3.56	3.54 < gem < 3.59
Persentasie snytyd (%)	30.4	30.2 < gem < 30.5	37.2	37 < gem < 37.4
Delwerlaaityd van een wisselkar (min)	1.79	1.78 < gem < 1.8	3.23	3.21 < gem < 3.25
Wisselkar wagtyd by uitruilpunt (min)	2.5	2.48 < gem < 2.51	3.85	3.82 < gem < 3.88
Wisselkar 1, aantal ritte in 5000 min	576	573 < gem < 578	392	390 < gem < 395
Wisselkar 1 siklusyd (1 aflaaissiklus) (min)	8.69	8.64 < gem < 8.75	12.7	12.6 < gem < 12.8
Wisselkar 1 aflaaityd by voerder (min)	0.7573	0.755 < gem < 0.76	1.51	1.5 < gem < 1.51

3.6 Opmerkings

- Slegs wisselkar 1 se veranderlikes is getoon. Vir al die veranderlikes, behalwe die wisselkarsiklustyd en die aantal wisselkarritte, is die ander wisselkarre se uitsette dieselfde. Die verskil in die wisselkarsiklustyd en die aantal wisselkarritte is slegs as gevolg van die wisselkarre se uitrustipunte, om toegang tot die delwer te verkry, wat verskil.
- Indien die aannames van die vorige paragraaf aanvaar word is die verbetering in produksie soos getoon in **Tabel 3**.

Tabel 3 - Produksie geprojekteer vir 'n jaarperiode

EKSPERIMENT	PRODUKSIE PER JAAR
Basisgeval	487 231 ton
Alternatief 1	594 022 ton
Verskil	106 791 ton

- Die alternatief word teen die basisgeval opgewees om die relatiewe voordeel of nadeel te evalueer ten opsigte van die basisgeval. Daar word aanvaar dat die basisgeval se netto huidige waarde in terme van relatiewe voordeel of nadeel nul is. Teen 'n inkrementele wins per ton van R27, indien die koste van ontginning dieselfde bly, is die relatiewe kontantvloei teenoor die basisgeval teen **konstante** pryse in Rand oor 'n vier jaar periode soos getoon in **Tabel 4**. Die finansiële maatstawwe word getoon in **Tabel 5**.

Tabel 4 - Kontantvloei oor 'n tydperk van 4 jaar vir die Alternatief

BESKRYWING	JAAR 0	JAAR 1	JAAR 2	JAAR 3	JAAR 4
Addisionele wisselkar kapitaal & instandhoudingskoste	(R1 350 000)				(R210 000)
Produksie verbetering in Rand (106 791 ton x R27)		R2 883 357	R2 883 357	R2 883 357	R2 883 357
Addisionele wins per afdeling	(R1 350 000)	R2 883 357	R2 883 357	R2 883 357	R2 673 357

Tabel 5 – Finansiële maatstawwe

Netto huidige waarde (@15%)	R5 879 873
Interne opbrengskoers	211 %

3.7 Gevolgtrekking

- Die vergroting van die wisselkarkapasiteit is gekwantifiseer vir die spesifieke enkeldelwer afdeling en dit is die moeite werd om die afdeling se wisselkarre, wanneer dit vervang word, met twintig ton wisselkarre te vervang.

4. EVALUERING VAN DIE STELSEL

Die voordeel van die sagtewarestel is dat dit die gebruiker in staat stel om self die stelsel te gebruik en sodoende 'n beter begrip te verkry van die produksieproses, die beperkings in die proses, sowel as die sensitiwiteit van die prosesprestasie ten opsigte van die beheerbare parameters. Die belangrikste beheerbare veranderlikes wat deur die gebruiker verander kan word, word getoon in **Tabel 6**. Verstekwaardes vir alle veranderlikes word gestoor en oorgepra na scenario's om die datainvoer vanaf die gebruiker te verminder.

Tabel 6 – Die belangrikste beheerbare veranderlikes

Delwer	Wisselkar	Voerderbreker en bande	Dakbouter, uitleg en ander
Delwerreisspoed	Aantal wisselkarre	Voerderbreker	Tyd vir installering van een dakbout
Reikwyde van snykop	Wisselkarkapasiteit	aflaabakkapasiteit	Aantal dakboute per ry
Laaitempo	Aflaaitempo	Voerderbreker deurse tempo	Reisspoed van dakbouter
Tyd tot faling	Spoed wanneer vol	Bandverlengingsinterval	Tyd tot faling
Tyd tot herstel	Spoed wanneer leeg	Bandverlengingstyd	Tyd tot herstel
Tyd tot instandhouding	Tyd tot faling	Aantal afdelingsbande	Tyd tot instandhouding
Tyd vir instandhouding	Tyd tot herstel	Bandkapasiteit	Tyd vir instandhouding
Padsnyksklus	Tyd tot instandhouding	Aantal hoofvoerbande	Aantal afdelingspaai
Delwerreisroete	Tyd vir instandhouding	Tyd tot faling	Wydte van afdelingspaai
Kabelhantering	Reisroetes van wisselkar	Tyd tot herstel	Wydte van pilaarsenters
Siklus per pad		Tyd tot instandhouding	Laagdipte van steenkool
Pikruityd en veewerk		Tyd vir instandhouding	Aantal skofte
Snit siklus			Reistyd na afdeling
			Tydsduur van spanpraattjie
			Begin van skof ondersoek
			Krag en waterstaantyd

Die sagtewarestel stel ook die gebruiker in staat om 'n aksiepad te kies, rakende die besluite wat deur die stelsel ondersteun word. Die opleiding in die gebruik van die stelsel is baie maklik, aangesien die uitleg van die stelsel dieselfde is as die meeste ander kommersiële sagteware wat tans beskikbaar is.

Die data invoer na die sagtewarestel ondersteun die ou waarheid ten opsigte van bestuurders se manier van werk, naamlik dat dit beskryf kan word as kort gefragmenteerde aksies (Mintzberg [3]). Die tyd wat beskikbaar is, is gewoonlik kort tydsintervalle. Die stelsel leen hom daartoe dat, nadat die veranderlikes vir 'n spesifieke afdeling ingevoer is, eksperimente uitgevoer kan word binne 'n uur, om 'n spesifieke aksiepad te evalueer.

Die stelsel lewer voorheen onbeskikbare inligting, vertoon die inligting op 'n visuele manier deur die simulasië animasieskerm en resultaatgrafieke en verskaf daardeur ook 'n beter manier om verwantskappe in die produksieproses raak te sien. Die sagtewarestel lewer dus inligting oor hoe om die deurset van die stelsel te verhoog en sodoende ook die wins van die onderneming.

VERWYSINGS

- [1] FINLAY, P, 1994, "Introducing decision support systems", First edition. Oxford, UK : NCC Blackwell Ltd.

- [2] KELTON, W D, R P SADOWSKI & D A SADOWSKI, 1997, "Simulation with Arena", McGraw-Hill.
- [3] MINTZBERG, H, 1973, "The nature of managerial work", Harper & Row.
- [4] PEGDEN, C D, R E SHANNON & R P SADOWSKI, 1991, "Introduction to Simulation using SIMAN", International edition, McGraw-Hill.
- [5] SPRAGUE, R H, JR. & H J WATSON, 1993, "Decision support systems, putting theory into practice", Third edition. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.