

GENETSKI ALGORITAM IZBORA OPTIMALNE KOMBINACIJE ZADATAK - VOZILU - BATERIJA

Milorad Vidović, Milan Sretenović, Slobodan Cvetić

Saobraćajni fakultet Beograd, Vojvode Stepe 305

ABSTRAKT:

Korišćenje elektrobaterijskih vozila predstavlja već nekoliko poslednjih decenija najšire korišćeno rešenje za realizaciju transportno manipulativnih procesa u logističkim sistemima.

Koncept fiksnog vezivanja vozila i baterije, međutim, nije ostavljao dovoljno prostora za racionalizaciju procesa eksploatacije, niti za korišćenje prednosti koje proizilaze iz optimalnog usaglašavanja karakteristika vozila, kapaciteta baterija i zadatka koji se realizuje.

Prava revolucija u oblasti racionalizacije ovih procesa uneta je početkom 80-ih godina uvođenjem VARTA koncepta "razdvajanja" vozila i baterije.

Problem koji se tada pojavio bio je kako u funkciji karakteristika zadatka izabrati optimalnu kombinaciju vozila i baterije. Ovaj problem rešavan je relativno jednostavnim heurističkim postupcima u okviru kojih je ukupan broj dozvoljenih kombinacija smanjivan višestrukim grupisanjem relevantnih karakteristika zadataka, vozila i baterija.

U ovom radu, za rešavanje problema izbora optimalne kombinacije vozilo - baterija - zadatak predložena je procedura zasnovana na primeni tehnike genetskih algoritama, čime je omogućeno rešavanje izuzetno kompleksnih kombinatornih problema koji su prisutni u sistemima koji realizuju radno intenzivne procese.

1. UVODNI DEO

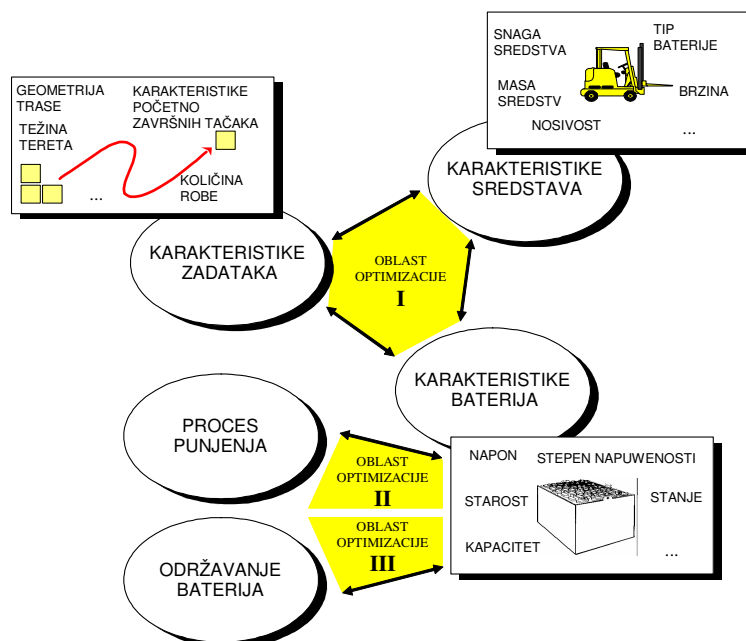
Korišćenje elektrobaterijskih vozila predstavlja već nekoliko poslednjih decenija, a i danas, besumnje najšire korišćeno rešenje za realizaciju transportno manipulativnih procesa u logističkim sistemima. Razloge ovome treba tražiti pre svega u:

- autonomnosti, odnosno mogućnosti slobodnog kretanja vozila po saobraćajnicama
- ekonomičnosti primene ovih vozila i
- tome da primena elektropogona sa ekološkog aspekta predstavlja najpovoljnije rešenje jer nema štetne emisije, a nivo buke je izuzetno nizak

Prava revolucija u oblast racionalizacije procesa eksploatacije elektrobaterijskih vozila, uneta je početkom 80-ih godina uvođenjem koncepta "razdvajanja" vozila od baterije, koga je uz to pratio tzv. "sistem menaxmenta baterija" i "sistem menaxmenta elektrobaterijskih vozila". Reč je naime o sistemu ŠIĆ koji je razvila firma VARTA i prvi put ga predstavila na Hanoverskom sajmu 1981. godine. Osnovna ideja na bazi koje je ceo sistem koncipiran bila je "razdvajanje" vozila od baterije, tj. odbacivanje principa fiksne veze i formiranje pool-a svih raspoloživih baterija koje su onda "dostupne" svim transportno manipulativnim sredstvima. Suprotno konvencionalnom pristupu, primenom ovog sistema obezbeđuje se da se baterije povezuju sa vozilima u funkciji zadatka, pri čemu se teži optimalnom sparivanju. U suštini, *sa razvojem ovog sistema trasiran je i put racionalizaciji procesa eksploatacije elektrobaterijskih vozila koji obuhvata tri segmenta (Slika 1):*

- permanentno praćenje i registrovanje velikog broja informacija o stanju baterije i na bazi toga stvaranje podloge za optimalno održavanje
- optimalno povezivanje transportno manipulativnog vozila i baterije u funkciji od karakteristika zadatka koji se realizuje
- optimizacija procesa punjenja baterija

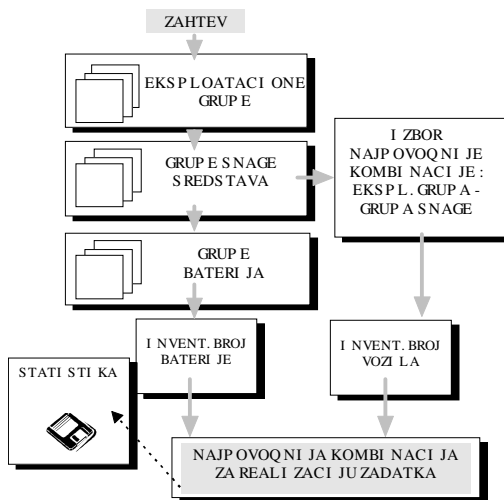
U ovom radu analizirana je druga od naznačenih oblasti, koja u sebi krije možda i najznačajniji racionalizacioni potencijal - razmotren je problem izbora optimalne kombinacije *zadatak - sredstvo - baterija*.



Slika 1 - Oblasti racionalizacije u oblasti eksploatacije elektrobaterijskih vozila

Prvi sistem ovog tipa koga je razvila "VARTA" nije bio koncipiran na način da se analiziraju parcijalni zadaci i svako vozilo i baterija ponaosob, već su oni grupisani u odgovarajuće kategorije. Zadaci su, tako, u funkciji od uslova eksploatacije grupisani u tri kategorije: lako do srednjeg opterećenja, srednje opterećenje i puno opterećenje. Transportno - manipulativna vozila su, takođe, kategorizovana u nekoliko grupa, saglasno nominalnoj snazi, a baterije su grupisane prema kapacitetu i starosti.

Proces operativnog planiranja bazirao se na primeni jednostavne procedure Š1Ć, Š2Ć kojom je definisana najpovoljnija kombinacija "zadatak - vozilo - baterija" (Slika 2).



Slika 2 - Princip definisanja optimalne kombinacije zadatka, vozila i baterije

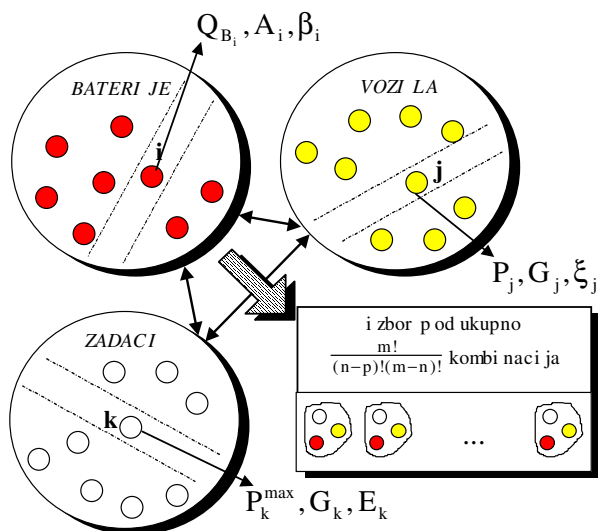
Ovaj sistem su, kao osnov i polaznu ideju, kasnije koristili i drugi proizvođači baterija, ali je očigledno reč o relativno jednostavnom postupku u okviru koga se ukupan broj dozvoljenih kombinacija smanjuje višestrukim grupisanjem relevantnih karakteristika (grupisanje zadataka, grupisanje vozila i grupisanje baterija). Ipak, na ovaj način sprovedeno smanjenje dimenzija problema nosi sobom i određene greške koje u većoj ili manjoj meri udaljavaju dobijeno rešenje od optimuma, a realno je očekivati da je to odstupanje veće sa porastom broja elemenata sistema.

U radno intenzivnim procesima, naime, kako to govore i neka empirijska istraživanja Š3Ć, pretovarni i sistemi unutrašnjeg transporta, ne tako retko, bazirani su na voznim parkovima sa čak 500 do 1000 elektrobaterijskih transportno manipulativnih vozila i sa 1.8-2.1 baterija po sredstvu, odnosno cca 1000 -

2000 raspoloživih baterija. Očigledno je da u ovim sistemima problem optimalnog povezivanja baterija, vozila i zadataka ima posebnu težinu, a smanjenje dimenzija problema na prethodni način, opisanim grupisanjem elemenata sistema, može dovesti do osetnijih odstupanja od optimuma. Otuda i sasvim logična potreba za adekvatnom formulacijom definisanog problema i to takvom da omogući primenu neke od tehnika kojima se mogu uspešno rešavati kombinatorni problemi većih dimenzija.

2. FORMULACIJA PROBLEMA

U cilju razvoja algoritma rešavanja definisanog zadatka optimalnog povezivanja vozila, baterije i zadatka za formalni opis problema uvedena je sledeća notacija Š4Ć. Neka se u sistemu nalazi m baterija ($i=1,2,\dots,m$) i neka je kapacitet i -te baterije Q_{B_i} ŠWhĆ, starost A_i ŠgodĆ, a troškovi eksploatacije β_i Šdin/WhĆ. Isto tako, neka se u sistemu nalazi n elektrobaterijskih vozila, ($j=1,2, \dots,n$) pri čemu je nosivost j -tog vozila G_j ŠkNĆ, max snaga P_j ŠkWĆ, jedinični eksploatacioni troškovi ξ_j Šdin/hĆ. Ako se u sistemu prisutno p zahteva ($k=1,2,\dots,p$) čije karakteristike su: zahtevana nosivost sredstva G_k ŠNĆ, potrebna energija za realizaciju zadatka E_k ŠWhĆ i maksimalna snaga koju je potrebno angažovati P_k^{\max} ŠkWĆ, postavlja se pitanje na koji način formirati "trojke" (i,j,k), *baterija - vozilo - zadatak* (Slika 3), da bi se obezbedila najracionalnija realizacija procesa, odnosno da troškovi realizacije svih p zahteva budu minimalni.



Slika 3 - Šematska predstava problema

S obzirom da se p zadataka, sa n vozila može realizovati na $\binom{n}{p} \cdot p!$ načina pri čemu se n vozila može na

$\binom{m}{n}$ načina povezati sa m baterija, to ukupan broj kombinacija iznosi:

$$N_{\text{Komb}}^{m,n,p} = \left[\binom{n}{p} \cdot p! \right] \cdot \binom{m}{n} = \frac{m!}{(n-p)!(m-n)!} \quad (1)$$

Kao ilustracija dimenzija problema naveden je i broj kombinacija za pretovarne sisteme sa relativno malim parkom manipulativnih vozila sa elektro pogonom.

$$N_{\text{Komb}}^{8,5,5} = 6720; \quad N_{\text{Komb}}^{20,15,10} \cong 170 \cdot 10^{12}$$

Treba pri tome naglasiti da navedeni broj kombinacija podrazumeva potpunu kompatibilnost svih vozila i baterija, kao i da je svaki zadatak moguće realizovati bilo kojom kombinacijom vozila i baterija. (Videti ograničenja data u nastavku izrazima (4)). Ukoliko to nije tako, neophodno je prethodno formirati međusobno kompatibilne podskupove čiji elementi zadovoljavaju nejednakosti (4) i mogu se međusobno kombinovati. U ovom slučaju broj kombinacija je svakako nešto manji.

Ako se sa C_{ijk} označe troškovi realizacije k-tog zadatka, j-tim vozilom koje se napaja i-tom baterijom tada je:

$$C_{ijk} = 1.2 \cdot \beta_i \cdot E_{jk} + \xi_j \cdot T_{jk} \quad (2)$$

pri čemu E_{jk} predstavlja ukupnu energiju $\dot{S}Wh\dot{C}$ potrebnu za realizaciju k-tog zadatka j-tim vozilom, a T_{jk} ukupno vreme realizacije k-tog zadatka j-tim vozilom.

Ukoliko se sa δ_{ijk} označe identifikatorske promenljive:

$$\delta_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{ako i-ta baterija napaja j-to vozilo pri realizaciji k-tog zadatka} \\ 0, & \text{u ostalim slu~ajevima} \end{cases}$$

tada se definisani problem optimalne kombinacije *vozilo-baterija-zadatak* može svesti na zadatak iznalaženja minimuma troškovne funkcije (F_T):

$$F_T = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p \delta_{ijk} \cdot C_{ijk} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p \delta_{ijk} \cdot (1.2 \cdot \beta_i \cdot E_{jk} + \xi_j \cdot T_{jk}) \rightarrow \min \quad (3)$$

uz ograničenja:

$$G_j \geq G_k$$

$$0.8 \cdot Q_{B_i} \geq E_k$$

$$P_j \geq P_k^{\max} \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p \delta_{ijk} = p$$

Uz to, po pravilu su kapacitet baterije Q_{B_i} , kao i troškovi β_i poznate funkcije vremena, tj. starosti baterije A_i :

$$Q_{B_i} = f_{Q_B}(A_i), \quad \beta_i = f_{\beta}(A_i) \quad (5)$$

Očigledno, s obzirom na oblik ciljne funkcije, minimizacija troškova realizacije svih p zahteva u osnovi predstavlja tipični problem 0-1 programiranja za čije rešavanje je moguće primeniti neki od poznatih algoritama. Međutim, kako je reč o problemima veoma velikih dimenzija (izuzev za sisteme sa veoma malim brojem vozila) to primena nekog od algoritama 0-1 programiranja praktično i nije moguća pa se, kao mnogo pogodniji pristup, nameće primena neke od heurističkih procedura. Iz tog razloga u nastavku je izložena osnovna ideja za rešavanje definisanog problema primenom tehnike genetskih algoritama.

3. GENETSKI ALGORITAM IZBORA OPTIMALNE KOMBINACIJE ZADATAK - VOZILO - BATERIJA

3.1. Kratak osvrt na osnovni koncept genetskog algoritma

Kao što je danas već dobro poznato, genetski algoritam predstavlja, u suštini, postupak pretraživanja proizvoljnog skupa vrednosti u cilju nalaženja ekstrema (minimalne ili maksimalne vrednosti). Sama procedura pretraživanja bazirana je na analogiji sa reprodukcijom i adaptivnim mehanizmima u bio sistemima, a primena genetskih mehanizama na optimizaciju matematičkih funkcija, odnosno korišćenje genetskih algoritama u današnjem značenju, bazira se na teorijskim osnovama koje je postavio John Holland 1975.

Metod genetskih algoritama zasniva se na formiranju početne "populacije" (kodiranih vrednosti argumenata optimizacione funkcije koji se obično nazivaju "stringovi"), sastavljene od proizvoljnog broja "jedinki", i sukcesivnog ponavljanja tri osnovna koraka:

1. Reprodukcijska
2. Ukrštanje

3. Mutacija

Proces "reprodukcije" podrazumeva formiranje naredne generacije na osnovu karakteristika jedinki u prethodnoj. Proces reprodukcije (formiranja naredne generacije) baziran je na prirodnom mehanizmu adaptivnosti živih bića. Korišćenje ovog mehanizma ostvaruje se pridruživanjem odgovarajućih verovatnoća prelaska u novu generaciju, svakom članu populacije u posmatranoj generaciji. Verovatnoće prelaska u narednu generaciju utvrđuju se na osnovu doprinosa svake jedinke povećanju odnosno smanjenju ciljne funkcije (u zavisnosti od toga da li se radi o MAX ili MIN problemu). Formiranje naredne generacije realizuje se simulacijom, pri čemu, logično, veću šansu "preživljavanja" tj. prelaska u novu generaciju imaju jedinke sa većim uticajem na vrednost ciljne funkcije.

Nakon formiranja nove generacije, pristupa se "ukrštanju" parova jedinki iz populacije (stringova). Kako se argumenti ciljne funkcije po pravilu kodiraju binarno, to se "ukrštanje" sprovodi međusobnom zamenom delova dva stringa (ukoliko su stringovi dužine $l = x+y$ mesta, tada se ukrštanje sprovodi napr. na način da se razmene početni delovi od x elemenata). Način izbora parova koji se ukrštaju je po pravilu slučajan, kao i izbor dužene (x) mada se, u zavisnosti od konkretnog problema mogu koristiti i druga pravila.

Mutacija, analogno biološkim sistemima, predstavlja proces u okviru koga se, sa određenom verovatnoćom, vrši promena genetskog koda jedinki. Naime, ukoliko je string binarno kodiran, svakom članu stringa (0 ili 1), kod svih jedinki u populaciji, sa određenom verovatnoćom (obično malom - reda 10^{-3}) menja se vrednost (sa 0 na 1 ili sa 1 na 0).

Sukcesivnom primenom ovih osnovnih koraka genetskog algoritma dobijaju se vrednosti ciljne funkcije sve bliže ekstremu (minimalnoj ili maksimalnoj vrednosti). Konvergencija rezultata je po pravilu veoma brza, tako da ovaj metod pruža mogućnost nalaženja optimalnih, ili rešenja bliskih optimalnom i kada je reč o problemima ekstremno velikih dimenzija.

3.2. Način kodiranja problema pri izboru optimalne kombinacije zadatak-vozilo-baterija

U principu, "kodiranje" formulisanog problema moguće je realizovati na više načina, a ovde je predloženo da se "stringovi" - jedinke populacije, formiraju u matričnom obliku \mathbb{S}^C (Slika 4).

Pri tome, broj redova dvodimenzione matrice odgovara broju zadataka p , a broj kolona odgovara zbiru cifarskih mesta potrebnih za binarno kodiranje ukupnog broja baterija m i ukupnog broja vozila n .

Svaka na ovaj način formirana binarna matrica dimenzija $p \times (l_1 + l_2)$ predstavlja, očigledno, jednu od mogućih (dozvoljenih) kombinacija *baterija-vozilo-zadatak*, pri čemu se ne dozvoljava postojanje dva identična reda, niti pak postojanje identičnih delova reda dužina l_1 , odnosno l_2 .

Generisanjem većeg broja ovakvih matrica formira se ujedno i "početna populacija". Pri tome je jasno da se proračun vrednosti funkcije cilja za svaku od matrica - "jedinki populacije", može relativno jednostavno realizovati primenom izraza (3), ukoliko se ima u vidu da je indeks k (redni broj zadatka) u stvari redni broj reda matrice, indeks i dekodirana vrednost binarnog broja dužine l_1 , a indeks j dekodirana vrednost binarnog broja dužine l_2 .

Verovatnoće prelaska članova populacije u narednu generaciju (verovatnoće "preživljavanja"), s obzirom da je reč o minimizacionom problemu moguće je utvrditi na bazi izraza

$$p_r = \frac{\frac{1}{F_{Tr}}}{\sum_{r=1}^R \frac{1}{F_{Tr}}} \quad (6)$$

gde p_r označava verovatnoću prelaska r -te jedinke populacije u narednu generaciju, F_{Tr} vrednost funkcije cilja r -te jedinke, a R broj članova populacije.

1	1	0	...	1	1	...	1
2	0	0	...	1	0	...	0
...			
k	1	1	...	0	0	...	1
...			
p	1	0	...	0	1	...	1

$\longleftarrow l_1$
 $\longleftarrow l_2$

Cifarska mesta za
binarno kodiranje oznake
baterije

 $2^{l_1} \leq m \leq 2^{l_1+1}$

Cifarska mesta za
binarno kodiranje oznake
vozila

 $2^{l_2} \leq n \leq 2^{l_2+1}$

Slika 4 - Način kodiranja problema

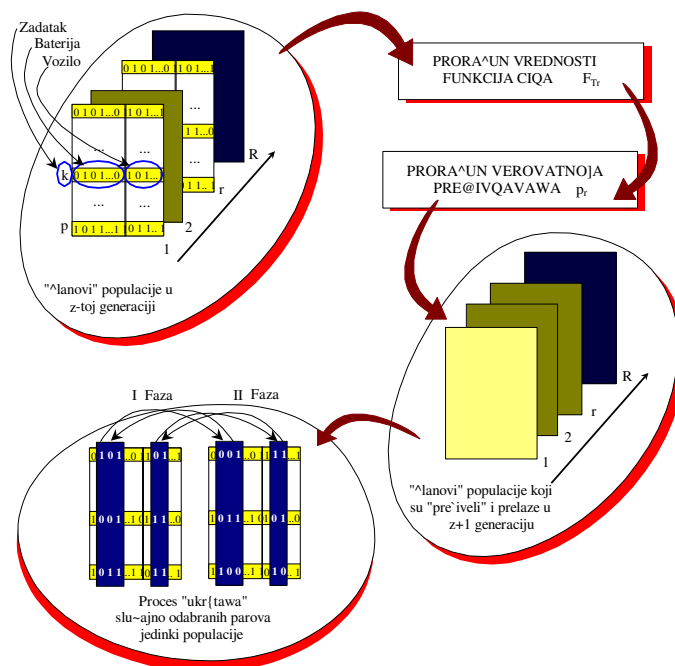
Proces ukrštanja, s obzirom da se ovde radi o matricnoj formi članova populacije, pri čemu, uz to, matrice u kolonama sadrže dve grupe informacija, pogodno je realizovati u dve faze. U prvoj, "ukršta" se "genetski kod" sadržan u kolonama 1 do l_1 , a u drugoj fazi "genetski kod" sadržan u kolonama l_1+1 do l_2 , kako se to vidi i sa slike u nastavku (Slika 5). Pored ovakvog pristupa, moguće je ukrštanje realizovati i na način da se ceo "genetski kod" dužine l_1+l_2 , koji predstavlja šifru kombinacije vozilo-baterija za realizaciju odnosnog zadatka (definisano rednim brojem reda matrice), posmatra jedinstveno, te da se ukrštaju delovi ovog stringa.

4. ZAKLJUČAK

Predloženi pristup izboru optimalne kombinacije zadatak-vozilo-baterija predstavlja pokušaj da se ukaže na mogućnosti primene tehnike genetskih algoritama pri rešavanju ove klase kombinatornih problema, što je posebno značajno za zadatke velikih i ekstremno velikih dimenzija kad primena klasičnih optimizacionih metoda nije moguća.

U okvirima ovog rada, kako je to i prethodno istaknuto, analiziran je samo jedan od segmenata iz domena optimizacije transportno manipulativnih procesa koji se realizuju elektrobaterijskim vozilima. Prevedhodni cilj bio je, otuda, da se istraže mogućnosti korišćenja jedne od veoma efikasnih tehnika iz arsenala, danas sve više korišćenih metaheurističkih procedura.

Ako se govori o mogućim pravcima daljih istraživanja onda se mogu izdvojiti dva osnovna. Naime, pored istraživanja koja se odnose na dalji razvoj i usavršavanje predloženog algoritma, kako kroz analizu uticaja performansi zadatka, tako i kroz ispitivanje parametara koji se koriste u samom procesu primene algoritma (veličina populacije, broj generacija, proces reprodukcije, način ukrštanja jedinki, mutacija,...), određene napore treba usmeriti i u pravcu uobličavanja kompleksnijih algoritama koji bi u sebi obuhvatali i ostale probleme iz domena realizacije transportno manipulativnih procesa. Ovde se pre svega misli na moguća proširenja razmatranog, sa problemima optimalnog raspoređivanja transportno manipulativnih vozila na zadatke, kao i sa problemima rutiranja, s obzirom da, u krajnjoj liniji, samo odgovarajući kapacitet baterije može elektrobaterijskom vozilu omogućiti zahtevano vreme angažovanja, odnosno prelaženje zahtevanog rastojanja.



Slika 5- Prikaz karakterističnih faza genetskog algoritma za rešavanje problema izbora najpovoljnije kombinacije baterija-vozila-zadatak

Na kraju, može se konstatovati da problemi izbora optimalne kombinacije zadatak-vozilo-baterija predstavljaju, besumnje, veoma interesantnu oblast istraživanja i izazov za istraživača, a sa druge strane reč je i o, sa aspekta ekonomičnosti, veoma značajnom segmentu racionalizacije transportno manipulativnih procesa. O značaju rešavanja ove klase problema, posmatrano sa aspekta zahteva za snižavanjem troškova logističkih procesa, rečito govore i činjenice o učešću elektrobaterijskih vozila u realizaciji logističkih procesa, a još više efekti koji se mogu očekivati (za neke od postojećih sistema menaxmenta vozila i baterija efekti na smanjenju eksploatacionih troškova iznose cca 25%).

5. LITERATURA

1. Preuss P. "Managementsystem für batteriebetriebene Flurförderzeuge", DHF Nr. 1/2 1987, str 66-70
2. Sretenović M., Vidović M. "Struktura i efekti primene automatizovanih sistema za upravljanje eksploatacijom akumulatorskih baterija", I međunar. simpoz. – Industrijsko inženjerstvo 96, Beograd, 7-9 Nov. 1996
3. Wenzl H. "Batterien und Flurförderzeuge aus Betreibersicht", Logistik im Uternehmen, 6 (1997)
4. Vidović M. "Mogućnosti poboljšanja performansi logističkih sistema optimizacijom operativnog planiranja nekih klasa pretovarnih procesa", Doktorska disertacija, Saobraćajni fakultet Beograd 1998
5. Cvetić S., Vidović M. "Genetic algorithms method for solving handling facilities scheduling problem", 8th international congress IMAM, Istanbul, Turkey 1997