**OPTIMALAN BROJ ELEKTRIČNIH AUTOMOBILA U ELEKTRODISTRIBUTIVNOJ KOMPANIJI**

A. Janjić, Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Srbija

**KRATAK SADRŽAJ**

U ovom radu, određen je optimalni sastav voznog parka preduzeća za distribuciju električne energije, sastavljen od električnih i klasičnih automobila. Optimizacija se vrši na osnovu višekriterijumske analize i OWA ​​operatora. Kriterijumi za pravilan izbor vozila obuhvataju kvalitet usluga, emisiju CO2, ukupne troškove voznog parka i mogućnosti za skladištenje električne energije. Metodologija je ilustrovana na utvrđivanju voznog parka distributivne kompanije srednje veličine sa 50 000 potrošača.

**Ključne reči**: Vozni park, električni automobil, OWA, masovno opsluživanje

**SUMMARY**

In this paper, the optimal vehicle fleet mix composed of both electric and gasoline powered cars for the electricity distribution company has been determined. The optimization is performed based on multi-criteria analysis and OWA operators. The criteria for the proper choice of vehicles encompass the service quality, CO2 emission, the overall fleet costs and the possibility to use storage capabilities of electric vehicles. The methodology is illustrated on the vehicle fleet determination for the medium size distribution company with 50 000 consumers

**Key words:** Fleet mix, Electric car, OWA, Queuing theory

1. **UVOD**

Za jedno preduzeće za distribuciju električne energije, određivanje pravog broja i sastava vozila (uz pravilan izbor telekomunikacionog sistema) predstavlja ključni element infrastrukture, koji omogućava efikasno održavanje distributivne mreže, brz odgovor na kvar i ispunjenje ostalih zadataka, kako u tehničkom, tako i u ekonomskom pogledu. S druge strane, sve veća briga u pogledu zaštite životne sredine, kao i troškova proizvodnje fosilnih goriva, usmerila je pažnju na potrebu smanjivanja potrošnje energije i prelazak na čistije izvore energije. Zbog činjenice da se tehnologija vozila vrlo brzo brzo razvija, tržište automobila se u skladu sa tim menja, pa se sve više pažnje posvećuje I različitim klasama električnih vozila (1, 2). Štaviše, upotreba ovih vozila ne samo da povećava energetsku efikasnost i smanjuje emisiju štetnih gasova, već može da vrši I izravnavanje vršnog opterećenja i samim tim poboljšava bezbednost i ekonomičnost elektroenergetskog sistema.

Donosioci odluka su zbog toga suočeni sa složenim kompromisima koji uključuju ekonomske, ekološke i regulatorne zahteve. Distributivne kompanije su primorane da usvoje sveobuhvatne pristupe planiranja koji nastoje da smanje troškove poslovanja, održe nivo usluga prema kupcima, i kad god je to moguće, nastave sa održivom praksom smanjivanja emisije gasova staklene bašte koristeći različite vrste električnih vozila. Iako planiranje optimalnog miksa voznog parka predstavlja važnu komponentu ukupne strategije upravljanja osnovnim sredstvima distribucije, višekriterijumska analiza upotrebe električnih vozila je dosad uglavnom svedena na problem njihovog uticaja na distributivnu mrežu. U (3), predložen je pristup upravljanja opterećenjem koji koordiniše više punjača električnih vozila u distributvnoj mreži, sa ciljem da se izravna vršno opterećenje, poboljšaju naponske prilike I minimizuju gubici električne energije. Višekriterijumska analiza i AHP metoda su korišćeni u (4) za određivanje lokacija stanica za punjenje vozila.

U ovom radu predložena je nova, praktična metodologija višekriterijumskog odlučivanja za određivanje sastava voznog parka sastavljenog od konvencionalnih i električnih vozila, na osnovu dvostepenog algoritma. U prvom stepenu, koristeći teoriju masovnog opsluživanja, predložen je ukupan preporučeni broj vozila. U drugom koraku, upotrebljeni su OWA operatori, koji uvažavaju stepen tolerancije prema riziku donosioca odluke, za određivanje izbor optimalne kombinacije konvencionalnih i električnih vozila. Rad je organizovan na sledeći način. Nakon uvoda, detalji o parametrima modela, zajedno sa višekriterijumskom tehnikom fazi odlučivanja objašnjeni su u drugom delu. Radi ilustracije, model je primenjen na problem određivanja sastava voznog parka za srednje kompanije za distribuciju sa 50 000 potrošača. Konačno , doneti su i zaključci o mogućnostima primena modela i daljim pravcima istraživanja.

1. **UTICAJ BROJA VOZILA NA KVALITET USLUGA**

U liberalizovanom tržištu električne energije, komercijalni kvalitet je ključno pitanje, direktno povezano sa transakcijama između elektroprivrednog preduzeća (bilo ODS-a ili dobavljača, ili oba) i kupaca, i obuhvata ne samo snabdevanje i prodaju električne energije, već i različite oblike kontakata uspostavljenih između elektroprivrede i kupaca. Postoji nekoliko tipova usluga koje mogu biti zahtevane ili očekivane od strane kupaca, kao što su novi priključci, povećanje kapaciteta, isključenja kupca na zahtev, očitavanje brojila i verifikacije, popravke i otklanjanje problema sa kvalitetom napona itd. Svaka od ovih usluga je transakcija koji uključuje neki komercijalni aspekt kvaliteta. Najčešći komercijalni aspekt ovog kvaliteta je blagovremenost usluga po zahtevu kupaca. Međutim ,definicija termina "blagovremenost” i nivo garantovanih standarda koje nameće regulator može da varira od zemlje do zemlje (5 – 7). Da bi se pojednostavio pristup ovako složenom pitanju komercijalnog kvaliteta, indikatori koji se odnose na komercijalni kvalitet su klasifikovani u 4 osnovne grupe :

• Priključci ( Grupa I ) ;

• Zahtevi potrošača ( grupa II ) ;

• Tehnička služba ( III grupa ) ;

• Merenje i obračun ( Grupa IV ) .

Garantovani Standardi se odnose na nivo kvaliteta usluga koje se moraju ispuniti u svakom pojedinačnom slučaju. Ako kompanija ne obezbedi nivo usluge po standardu, oštećenom kupcu mora da novčano nadoknadi taj gubitak. Prosečne vrednosti garantovanog nivoa usluga u smislu brzine odgovora (npr. 5 radnih dana) i ekonomske kompenzacije za kupca u slučaju neispunjenja uslova su predstavljene u tabeli 1.

Tabela 1. Prosečne vrednosti indikatora kvaliteta usluga

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Kvalitet usluga | Opis | Vreme (dani) | Naknada (€) |
| Vreme odgovora na zahtev za priključak | Vreme potrebno od prijema pisanog zahteva za izdavanje uslova za priključenje i upućivanja odgovora.  . | 8-30 | 27 |
| Vreme potrebno za izdavanje predračuna za radove | Vreme potrebno od prijema pisanog zahteva za izdavanje uslova za priključenje i upućivanja odgovora, uključujući I izradu predračuna | 5-35 | 30 |
| Vreme za priključak | Vreme potrebno od prijema pisanog zahteva za priključenje i priključivanje potrošača. | 2-18 | 40 |
| Isključenje na zahtev kupca | Vreme potrebno od prijema pisanog zahteva za isključenje i deaktivaciju potrošača. | 5-8 | 30 |
| Vreme za odgovor na žalbu za kvalitet napona | Vreme potrebno od prijema pisane žalbe I upućivanja odgovora, uključujući I merenja na licu mesta. | 5-60 | 22 |
| Vreme za odgovor na žalbu za prekide u napajanju | Vreme potrebno od prijema pisane žalbe I upućivanja odgovora, uključujući I analizu događaja. | 7-20 | 30 |
| Vreme za odgovor na žalbu u pogledu tačnosti merenja | Vreme potrebno od prijema pisane žalbe I upućivanja odgovora, uključujući I merenja na licu mesta. | 3-30 | 25 |

Prema teoriji masovnog opsluživanja, verovatnoća da je s vozila raspoloživo može se izračunati iz izraza (1), prema M/M/s modelu:



(1)

(1)

s - broj vozila  
λ - očekivani broj zahteva za intervenciju po jedinici vremena  
μ - očekivani broj rešenih zahteva za intervenciju po jedinici vremena

ρ - factor korišćenja (ρ=λ/sμ)

Prosečno vreme čekanja na intervenciju je dobijeno iz izraza (2)

(2)



(2)

Uvodeći smenu α = λ/µ, raspodela verovatnoća vremena čekanja postaje:



(3)

Ukupni godišnji troškovi mogu se odrediti na sledeći način:

 (4)

pk(m) - ukupni godišnja stopa diskontovanja, uključujući I amortizaciju, troškove goriva I održavanja

za vozilo tipa k.

m - broj vozila tipa k

Ck - troškovi nabavke vozila tipa k

W - očekivano vreme izvršenja usluge

cj - trošak neispunjavanja zahteva tipa j  
λj - broj zahteva za uslugu tipa j u toku dana

d - broj dana u posmatranom periodu

Međutim, iako ukupni broj vozila može da bude određen primenom teorije masovnog opsluživanja, korišćenjem izraza (1 – 4), process planiranja sastava voznog parka nije tako jednostavan u realnom životu, zbog sledećih razloga:

* Intenzitet zahteva za uslugama može da varira od godine do godine
* Raspodela između usluga je takođe varijabilna
* Troškovi ne mogu da budu određeni samo na osnovu jednog kriterijuma
* Postoje i određena ograničenja, kao što je postojanje stanica za punjenje električnih vozila

Zbog svega navedenog, proces određivanja optimalnog sastava voznog parka biće tretiran kao višekriterijumski problem, sa sledećim kriterijumima:

* Ukupni troškovi nabavke, goriva i održavanja
* Emisija CO2
* Mogućnost za korišćenje skladištene energije

1. **VIŠEKRITERIJUMSKA OPTIMIZACIJA**

Metodologija višekriterijumske analize biće ilustrovana na primeru elektrodistributivne kompanije srednje veličine sa oko 50 000 potrošača. Za ovu kompaniju, dve vrste vozila uzimaju se u razmatranje:

(a) Automobili na benzin, sa emisijom od 260 g / km CO2 . Troškovi ovog vozila su 8000 € , a prosečna potrošnja od 7 l/100 km ( 10 € / 100km )

b ) Lako električno vozilo sa litijum baterijama, sa 70 g / km CO2 , nabavna cena od 13 600 € . Operativni troškovi su 22 kWh/100 km ( 1 € / 100km sa prosečnom cenom električne energije od 0,05 € / kWh )

Ulazni podaci uzeti iz godišnjeg izveštaja ove kompanije su sledeći:

λj = 9 zahteva / dan ,

μ = 2 usluge / dan .

Pretpostavljena cena naknade je c = 25 € po svakom danu preko 2 dana čekanja na uslugu.

Prosečna kilometraža po vozilu je 20 000km godišnje .

Primenom jednačine (4), ukupan dobijeni broj vozila je 9, a u tabeli 2, različite kombinacije električnih i konvencionalnih vozila su predstavljene sa sledećim OWA vrednostima [ 0,5 0,3 0,2 ] .

Broj električnih ( EK ) i konvencionalnih vozila (GP) je prikazan u prve dve kolone, respektivno. U trećoj koloni, izračunata je ukupna emisija u kilotonama, sa njihovim relativnim vrednostima ( μ1 ) u četvrtoj koloni. U petoj koloni , ukupni godišnji troškovi automobila na lizing, goriva i električne energije ( Ctot ) se računaju , sa relativnim vrednostima ( μ2 ). Konačno, relativne vrednosti mogućnosti podrške mreže su prikazane u poslednjoj koloni ( μ3 ). Obračun egzaktnih prihoda je van opsega ovog rada, ali vredi pomenuti da se mogućnost da se poveže više vozila na mrežu postepeno smanjuje zbog tehničkih ograničenja

Tabela 2. Vrednosti parametera za različite kombinacije sastava vozila

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| EC | GP | CO2  (kt) | μ 1 | Ctot  (€) | μ 2 | μ 3 |
| 1 | 8 | 30,2 | 0,00 | 29940 | 1,00 | 0,2 |
| 2 | 7 | 28 | 0,14 | 30360 | 0,86 | 0,4 |
| 3 | 6 | 25,8 | 0,29 | 30780 | 0,71 | 0,6 |
| 4 | 5 | 23,6 | 0,43 | 31200 | 0,57 | 1,0 |
| 5 | 4 | 21,4 | 0,57 | 31620 | 0,43 | 0,6 |
| 6 | 3 | 19,2 | 0,71 | 32040 | 0,29 | 0,3 |
| 7 | 2 | 17 | 0,86 | 32460 | 0,14 | 0,3 |
| 8 | 1 | 14,8 | 1,00 | 32880 | 0,00 | 0,1 |

Polazeći od ovih vrednosti, za svaku alterantivu se računaju i OWA operatori. Na primer, za prvu alternative, OWA vrednost se računa kao:

OWA(1) = 0,5 x 0 + 0,3 x 0,2 + 0,2 x 1 = 0,26

Tabela 3. Rangiranje varijanti

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Broj električnih vozila | Broj vozila na benzin | OWA |
| 1 | 8 | 0,26 |
| 2 | 7 | 0,36 |
| 3 | 6 | 0,46 |
| 4 | 5 | 0,58 |
| 5 | 4 | 0,50 |
| 6 | 3 | 0,37 |
| 7 | 2 | 0,30 |
| 8 | 1 | 0,23 |

Najbolja varijanta iz prethodne tabele je kombinacija 4 električna I 5 konvencionalnih vozila.

1. **ZAKLJUČAK**

U jednoj kompaniji za distribuciju električne energije koriste se različite vrste vozila, u zavisnosti od njihove namene, osobina terena, usvojene tipične šemu organizacije i od trenutnog kolebanja na tržištu vozila. Planiranje optimalne kombinacije ovih tipova podrazumeva utvrđivanje kombinacije vozila od koje se očekuje da maksimalno ispuni ciljeve, uz zadovoljavanje ograničenja koja se tiču nabavke I rada ovih vozila. Određivanje optimalne kombinacije je težak zadatak imajući u vidu nekoliko kriterijuma koji se moraju zadovoljiti istovremeno (kvalitet usluga, emisija CO2, ukupni troškovi parka i mogućnosti skladištenja energije kod električnih vozila). Iz tog razloga, u ovom radu je predložena višekriterijumska tehnika odlučivanja sa OWA operatorima za određivanje optimalnog broja dva tipa vozila. Metodologija je ilustrovana na utvrđivanju voznog parka srednje veličine za distributivne kompanije sa 50 000 potrošača, a zaključak je da električna vozila moraju biti deo jednog preduzeća zbog svojih performansi, manji troškova i jeftinog načina za skladištenje energije, pogotovu iz vremenski vrlo promenljivih - obnovljivih izvora električne energije.

**LITERATURA**

1. C. Gerkensmeyer et al. “Technical Challenges of Plug-In Hybrid Electric Vehicles and Impacts to the US Power System: Distribution System Analysis”, report to the US Department of Energy, January 2010.
2. A. H. Hajimiragha, C. A. Canizares, M. W. Fowler, S. Moazeni, and A.Elkamel, “A robust optimization approach for planning the transition to plug-in hybrid electric vehicles,” IEEE Transactions on Power Systems, vol.26, no.4, pp.2264-2274, Nov. 2011
3. A. S. Masoum, S.Deilami, P. S. Moses, M. A. S. Masoum, and A. Abu-Siada, “Smart load management of plug-in electric vehicles in distribution and residential networks with charging stations for peak shaving and loss minimisation considering voltage regulation,” IETGeneration, Transmission & Distribution, vol. 5, no. 8, pp. 877-888, Aug. 2011.
4. L. F. Kou, Z. F. Liu, and H. Zhou, “Modeling algorithm of charging station planning for regional electric vehicle,” Modern Electric Power, vol. 27, no. 4, pp. 44-48, Aug. 2010.
5. Council of European Energy Regulators, 5th CEER Benchmarking Report on the Quality of Electricity Supply 2011
6. K. Brekke, R. Vailati, D. Torstensson, M. Steiner, A. Falcão, “CEER Recommendations onEstimation of Costs due to Electricity Interruptions and Voltage Disturbances”, CIRED International Conference on Electricity Distribution, Frankfurt, June 2011.
7. SINTEF Energy Research, “Study on estimation of costs due to electricity interruptions and voltage disturbances” TR F6978, December 2010.
8. Hillier F, Lieberman G, “Introduction to operations research”, Mc Graw Hill International edition, 2001
9. C. Samaras, K. Meisterling, Life cycle assessment of greenhouse gas emission from plug-in hybrid vehicles, Environ.Sci.Technol. 2008, 42, 3170-3176
10. W. Kempton, J. Tomic, Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue, Journal of Power Sources, Vol. 144, No. 1, 268-279, June 2005.
11. R.R. Yager, On ordered weighted averaging aggregation operators in multi-criteria decision making, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics 18(1988) 183-190.
12. R.R.Yager, Fuzzy Screaning Systems, in: R.Lowen and M.Roubens eds., Fuzzy Logic: State of the Art, Kluwer, Dordrecht, 1993 251-261.