

# ANALIZA TRANSPORTA KOMUNALNOG ČVRSTOG OTPADA

**Prof. dr Slavica Cvetković, dipl. inž.**  
**Fakultet tehničkih nauka, Kosovska Mitrovica**

Osnovne karakteristike efikasnog sistema upravljanja otpadom obuhvataju širok opseg mera za unapređenje i olakšavanje sprečavanja nastanka otpada na izvoru, odvojeno sakupljanje reciklažu ili druge ponovnog dobijanja materijala iz otpada i pouzdanao i ekološki održivo konačno odlaganje otpada. Da bi se postiglo održivo i efektivno upravljanje otpadom, plan upravljanja mora da sadrži tehnička razmatranja radi formulisanja posebnih ciljeva i implementacije odgovarajućih mera u odnosu na institucionalne, socijalne, finansijske, ekonomske i tehničke aspekte upravljanja otpadom. Ukupni troškovi transporta zavise od vrste i kvaliteta vozila koja se koriste za obavljanje transporta, broja vozila, načina održavanja i drugih faktora. U najvećoj meri pomenuti troškovi zavise od organizacije transportnog procesa. Dobra organizacija transporta podrazumeva brzo i efikasno kreiranje plana transporta u cilju što boljeg iskorišćenja transportnih resursa, kao i po potrebi brzo i precizno revidiranje tog plana. Formiranje kvalitetnih planova transporta može se obaviti samo uz odlično poznavanje prevoznih zahteva korisnika, mogućnosti sopstvenih transportnih resursa i uslova u kojima će se transport odvijati. Kompjuterski podržani sistemi rutiranja i raspoređivanja vozila se koriste zato što omogućavaju kompanijama iz raznih grana privrede da unaprede iskorišćenje svojih transportnih resursa. Efikasnim korišćenjem ovih sistema može se omogućiti skraćivanje vremena putovanja i broja pređenih kilometara, smanjenje troškova i unapređenje pouzdanosti.

*Ključne reči: komunalno preduzeće, transport, rutiranje*

## UVOD

Problemi u oblasti upravljanja otpadom odnose se na sakupljanje, transport i odlaganje čvrstog otpada. Organizacije tura i matrica kretanja transportnih sakupljača vozila treba da se zasnivaju na pravim analizama utemeljenim na frekvenciji punjenja kontejnera i kapaciteta vozila, a ne na slobodnoj proceni.

Radi poboljšanja sakupljanja i transporta otpada, neophodno je sprovesti optimizaciju upravljanja i operativne strukture.

Frekvencija sakupljanja otpada iz kontejnera namenjenih stanovništvu (kontejneri u selima i javnim centrima) zavisi od raspoloživosti vozila za sakupljanje otpada i broja kontejnera koji se odjednom mogu postaviti na jednoj lokaciji.

Planiranje ruta kojima će se kretati vozila, kako bi se postiglo optimalno sakupljanje otpada u

odnosu na troškove ekipe, goriva i trošenje vozila, zbog izgradnje regionalnih sanitarnih deponija, takođe je vrlo važno i treba mu posvetiti posebnu pažnju.

## PLANIRANJE I PROJEKTOVANJE TRANSPORTNOG PROCESA

U okviru ovog podprocesa vrši se planiranje i projektovanje usluge: 1/1/2/

- izbor optimalnog sistema kretanja vozila – itinerera (putanja, obrt, tura),
- režima rada vozila i vozača,
- sistema tarifa, i
- plana rada tehničkog opsluživanja.

### Sistemi kretanja vozila u toku rada

Organizacija kretanja vozila u toku rada treba da obezbedi najveći učinak - proizvodnost uz najmanji utrošak resursa (vozila, živog rada, energije).

Pod itinererom (putanja, obrt, tura) se podrazumeva kretanje vozila u toku jednog ciklusa

transportnog procesa od početne tačke puta ( $U_s$ ) do ponovnog povratka u istu tačku puta.

Obrt vozila se sastoji od više vožnji, koje mogu biti sa teretom ili bez njega.

Pod vožnjom se podrazumeva kretanje vozila između svaka dva utovarno - istovarna mesta u toku jednog obrta vozila, a može biti sa teretom ili bez njega.

### **Pokazatelji rada vozila u toku jednog obrta vozila**

Za utvrđivanje ukupnog učinka prevoznika uvek se polazi od učinka u toku svakog obrta vozila koji se onda sumiraju na nivou grupe vozila, podistema i sl. Zbog toga je važno definisati osnovne pokazatelje rada vozila počevši od jednog obrta vozila.

Osnovni pokazatelji rada jednog vozila u toku jednog obrta su:

*dužina itinerera* - puta transporta ( $K$ ), koja predstavlja rastojanje koje vozilo pređe u toku jednog ciklusa kretanja. Dužina puta predstavlja zbir dužina pojedinih vožnji sa teretom ( $K_{ts}$ ) ili bez tereta ( $K_{ps}$ ) odnosno:

$$K = \sum_s K_{t,s} + \sum_s K_{p,s}$$

*vreme obrta* ( $T$ ), koje predstavlja vreme trajanja ciklusa u okviru koga se obavje sve operacije u toku jednog itinerera: kretanje vozila između krajnjih tačaka itinerera, i utovarno istovarni procesi. Vreme obrta predstavlja zbir vremena provedenih vožnji ( $t_w$ ) i na utovaru-istovaru ( $t_{ui}$ ) odnosno:

$$T = \sum t_{ui} + \sum t_w$$

*broj obrta u toku rada* ( $n_o$ ), koji predstavlja broj ponovljenih ciklusa u toku rada vozila i dobija se iz odnosa vremena vozila na radu i vremena obrta:

$$n_o = \frac{H_r}{T}$$

*broj vozila na radu* ( $N$ )

*nosivost* - kapacitet jednog vozila ( $C_v$ )

*količina transportovanog smeća* - broja pošiljki u toku jednog obrta vozila ( $P$ )

Količina transportovanog smeća u toku jednog obrta vozila predstavlja zbir količine smeća transportovanog u pojedinim vožnjama ( $U_s$ ) odnosno:

$$P = \sum U_s$$

S druge strane, količina smeća - koju može da preveze jedno vozilo u toku vožnje, jednaka je proizvodu između nosivosti vozila ( $C_v$ ) i iskorišćenja te nosivosti ( $\gamma_s$ ):

$$Z_s = C_v \cdot \gamma_s$$

pa je onda količina transportovanog smeća u toku jednog obrta:

$$P = C_v \cdot \sum_s \gamma_s \text{ (tona)}$$

Iz prethodnih jednakosti se vidi da iskorišćenje korisne nosivosti vozila predstavlja odnos između nosivosti vozila i prevezene količine smeća odnosno:

$$\gamma_s = \frac{Z_s}{C_v} \quad (0 < \gamma_s < 1)$$

- *Obavljeni transportni rad (NTR)*. *Obavljeni transportni rad* predstavlja proizvod između transportovane količine smeća - i rastojanja prevoza i može se izračunati:

– *Za jednu vožnju (NTRs)*:

$$NTR_s = Z_s \cdot l_s \text{ (t·km)}$$

– *Za jedan obrt (NTR)* kao zbir izvršenog transportnog rada u pojedinim vožnjama:

$$NTR = \sum NTR_s = \sum Z_s \cdot l_s \text{ (t·km)}$$

- *Ponuđeni transportni rad (BTR)* predstavlja proizvod između ponuđenog kapaciteta vozila ( $C_v$ ) i dužine transporta i može se izračunati:

– *Za jednu vožnju*:

$$BTR_s = C_{v_s} \cdot l_s \text{ (t·km)}$$

– *Za jedan obrt vozila*:

(t·km).

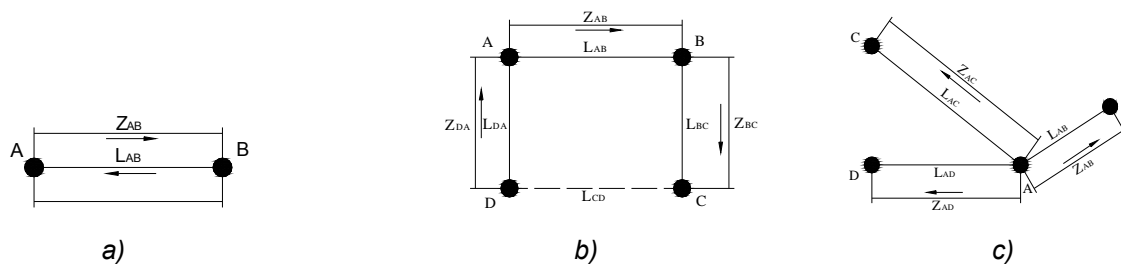
$$BTR = \sum BTR_s = \sum C_{v_s} \cdot l_s$$

### **Tipovi itinerera**

Postoji više tipova itinerera vozila među kojima su najznačajniji:

- ponavljajući itinerer vozila,
- prstenasti itinerer vozila,
- radijalni itinerer vozila.

Tipovi itinerera prikazani su na slici 1.



Slika 1. Osnovni tipovi itinerera: a) ponavljajući, b) prstenasti c) radialni

## ODREĐIVANJE MARŠUTA I RASPOREDA ISPORUKA

Dobra organizacija transporta podrazumeva brzo i efikasno kreiranje plana transporta u cilju što boljeg iskorišćenja transportnih resursa, kao i po potrebi brzo i precizno revidiranje tog plana. Formiranje kvalitetnih planova transporta može se obaviti samo uz odlično poznavanje prevoznih zahteva korisnika, mogućnosti sopstvenih transportnih resursa i uslova u kojima će se transport odvijati.

Manuelna obrada podataka vezanih za proces transporta je vremenski veoma zahtevna, skupa (razvojem poslovanja mora se povećati i broj zaposlenih na tim poslovima) i uticaj ljudskog faktora je veoma visok. Mogućnost grešaka pri obradi podataka je samim tim velika, što naravno dosta utiče i na celokupnu organizaciju transportnog procesa. Kao i mnogi drugi zadaci optimizacije na mrežama, VRP (*Vehicle Routing Problem*) može se formulirati kao zadatak linearnog celobrojnog programiranja. Postoje nekoliko takvih formulacija u literaturi, svaka od njih je pogodna za neku od optimizacionih metoda LP (*Linear Programming*) [4].

Sistemi za optimizaciju rada vozila predstavljaju sisteme koji na najefikasniji način zadovoljavaju potrebe savremenog transporta. Početak korišćenja ovih sistema vezuje se za period naglog razvoja računarske tehnike. Pod pojmom rutiranje podrazumeva se proces određivanja putanje (ili putanja) kretanja na osnovu definisanih zahteva korisnika, a u cilju pronalaženja optimalnog rešenja (npr. za minimalne troškove transporta, minimalno utrošeno vreme, najkraće rastojanje).

Računarski podržani sistemi rutiranja i raspoređivanja vozila se koriste zato što omogućavaju iskorišćenje svojih transportnih resursa. Efikasnim korišćenjem ovih sistema može se omogućiti skraćivanje vremena puto-

vanja i broja pređenih kilometara, smanjenje troškova i unapređenje pouzdanosti pri dostavi roba korisnicima. Ovo je postignuto i ostvareno veoma brzim procesiranjem informacija koje se tiču lokacije korisnika usluga transporta, količine i vrste roba koje trebaju da se transportuju kao i raspoređivanje tih roba u odgovarajuće transportne kapacitete, a sve u cilju najefikasnijeg iskorišćenja raspoloživih resursa. Ovi sistemi još nisu u širokoj upotrebi u praksi, pogotovo u manjim preduzećima. Pa ipak, preduzeća koja koriste ove sisteme imaju pozitivna iskustva kao što su: unapređenje efikasnosti rada, smanjenje potrošnje goriva i administrativnih troškova, kao i unapređenje kvaliteta korisničke usluge.

Računarski podržani sistemi rutiranja i raspoređivanja vozila, pomoću velikog broja softverskih opcija koje poseduju, lako mogu da se prilagode potrebama preduzeća, kako onih koje se bave dostavom robe „od vrata do vrata“ tako i onih koje imaju ustaljene režime dostave roba (sakupljanje smeća).

Sistemi rutiranja i raspoređivanja vozila, pomoću kvalitetnih digitalnih mapa imaju mogućnost kreiranja preciznih pravaca uzimajući u obzir vozila, vozače, odgovarajuće terete, kao i ograničenja koja pri postavljanju zahteva za transportom zahtevaju korisnici usluga transporta. Ipak, čak i najmoćniji alati koji omogućavaju donošenje odluka zahtevaju profesionalca koji poseduje iskustvo u poslovima distribucije da bi taj alat bio od koristi.

Pored smanjenja troškova i ušteda u potrošnji raspoloživih resursa, korisnici ovih sistema takođe ostvaruju značajne koristi kod korisnika svojih usluga, kroz povećanu pouzdanost dostave robe koju im omogućavaju ovi sistemi i koristi za životnu okolinu koje se ostvaruju kroz manju ukupno pređenu kilometražu tj. manju potrošnju goriva.



Za formulaciju problema rutiranja vozila koriste se sledeće oznake:

$i=1$ , oznaka za glavni čvor u mreži (depo, baza)

$i=2, \dots, n$  oznake čvorova (domaćinstva) koji ispostavljaju zahtev za opsluživanjem (isporuku)

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{vozilo ide granom } i-j \\ 0, & \text{vozilo ne ide granom } i-j \end{cases}$$

$q_i$  - oznaka za potražnju u  $i$ -tom čvoru

$Q$  - kapacitet vozila

Analizira se mreža koja se može predstaviti grafom  $G=(V,A)$  i matricom  $C=(c_{ij})$ , gde je  $V=(1,2,\dots,n)$  skup čvorova:  $A \subseteq \{(i,j) \mid i \in V, j \in V\}$  skup grana (slika). Potrebno je minimizirati ukupnu dužinu svih ruta pod sledećim uslovima:

1. svaki čvor treba posetiti jedanput i to samo jednim vozilom
  2. sve rute započinju i završavaju se u depou
  3. zadovoljiti dodatna ograničenja
- ograničenja zasnovana na kapacitetu vozila
  - ograničenja u smislu broja čvorova koji se mogu opslužiti u okviru jedne rute
  - ograničenja zasnovana na ukupnoj dužini rute tj. vremenu putovanja
  - ograničenja zasnovana na vremenskim intervalima u kojima treba da bude posećen čvor
  - ograničenja zasnovana na redosledu posećivanja čvorova (čvor  $i$  ne može biti posećen pre čvora  $j$ ).

Egzaktan pristup ovom problemu daje optimalna rešenja samo za probleme manjih dimenzija zbog čega se u praksi više koristi heuristički pristup /3, 4, 5/.

### DIFUZIJA SMEĆA KAO RUTING PROBLEM

Problem koji se analizira u ovom radu može se definisati putem sledećih karakteristika:

Zahtevi za opsluživanjem se uvek javljaju u čvorovima tj. domaćinstvima ili RO. U fazi difuzije neophodno je da u što kraćem roku

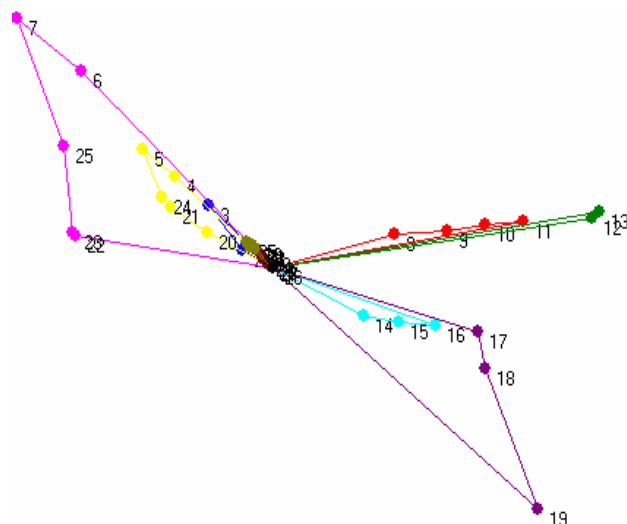
pokupe smeće iz određenih posuda (kanti za smeće ili kontejnera).

Posmatrana putna mreža u smislu orijentisanosti pripada grupi mešovitih mreža. Za većinu čvorova može se reći da postoje direktne veze u oba smera, ali zbog saobraćajnih ograničenja (zabranjena skretanja, jednosmerne ulice) potrebno je orijentisati pojedine relacije između čvorova.

Kod transportnih problema mogu se javiti ograničenja u pogledu maksimalno dozvoljene dužine rute vozila. Takav zahtev ne postoji u organizaciji difuzije, već je prisutno vremensko ograničenje do kada vozilo treba najkasnije da se vrati u bazu. Iz tog razloga pojedina vozila imaju više hodova u toku dana.

Uz pomoć algoritma VRP definišemo putanju kretanja kamiona do deponije i definišemo količinu odnetog smeća. Sam algoritam nam definiše putanju koja je predstavljena na slici 2.

Na slici 2 definisana je transportna putanja centralne deponije koja se nalazi na teritoriji opštine Piroć, a smeće se dovozi iz Bele palanke, Babušnice, Dimitrovgrada i samog grada Piroća.



Slika 2. Putanje odvoženja smeća

### ZAKLJUČAK

Na osnovu izvršene analize i odabrane literature može se zaključiti da stepen korišćenja sistema rutiranja i raspoređivanja vozila nije na visokom nivou. Istraživanja na temu korišćenja računarski podržanih sistema rutiranja i raspoređivanja vozila do sada nisu sprovedena u Srbiji i uopšte o ovoj temi se kod nas može pronaći veoma malo podataka. Uzimajući u obzir da je tržišna ekonomija (u pravom smislu tih reči) u našoj zemlji počela da

funkcionije tek odnedavno, naše tržište je „mlado” i u formiranju, kao i većina preduzeća koje na njemu nastupaju. Potencijal za korišćenje sistema rutiranja i raspoređivanja vozila postoji. Najveći broj preduzeća u našoj zemlji koji ima potrebu za sistemima rutiranja i raspoređivanja vozila sada je na nivou razvoja koji zahteva korišćenje autorutera (jednostavniji sistemi rutiranja i raspoređivanja), a veoma mali broj preduzeća može se pohvaliti stvarnim poslovnim potrebama za sistemima raspoređivanja vozila (složeniji sistemi rutiranja i raspoređivanja). Takođe jedan od razloga niskog nivoa korišćenja ovih sistema kod nas je i slaba informisanost preduzeća. Moguće je da postoji određen broj preduzeća koji je zainteresovan za uvođenje nekog od ovih sistema.

Stalni razvoj sistema rutiranja i raspoređivanja vozila kao i pojavljivanje sve većeg broja kompanija koje se bave kreiranjem i osmišljavanjem ovih softverskih paketa, dovešće do pojednostavljenja procesa uvođenja ovih sistema i do neminovnog pada cena, a tada će oni biti pristupačniji mnogo većem broju kompanija. U bliskoj budućnosti treba očekivati porast nivoa korišćenja ovih softverskih sistema, kako u svetu, tako i kod nas.

## LITERATURA

- /1/ Prof. dr Milorad Miloradov, Integralno upravljanje otpadom, sanitarne deponije i zaštita voda, Seminar ISWA, 29.11-01.2006, Novi Sad
- /2/ Filipović, Snežana: Osnovi tehnologije transporta, Saobraćajni fakultet Beograd, 2005,
- /3/ Špagnut, D: Tehnološke osobine transportne robe u prevozu, Saobraćajni fakultet Beograd, 1989
- /4/ Cvetković Slavica, Barac, Nada; Milovanović, Goran: Poslovna logistika (zbirka rešenih zadataka), Niš 2004,
- /5/ Internet: Computerised Vehicle Routing and Scheduling (CVRS) for Efficient Logistics Freight Best Practice, DfT (Department for Transport), 2005, UK, [www.freightbestpractice.org.uk](http://www.freightbestpractice.org.uk)
- /6/ FTA, 2000, (Freight Transport Association), Udruženje prevoznika iz Velike Britanije

## SYSTEM ANALYSIS OF THE TRANSPORT OF STATIONARY COMMUNAL WASTE

Basic characteristics of the efficient waste management system comprise wide scale of measures for the improvement and facilitate the prevention of the waste generation at the source, separate collection, recycling and other methods of recovering material from waste and reliable and environmentally sound and sustainable final waste deposition. To achieve sustainable and efficient waste management, management plan should consist' technical consideration for the formulating of special objectives and the implementation of corresponding measures relating to the institutional, social, financial, economic and technical aspects of the waste management. The overall cost of the transport depends on the class and quality of the vehicles used for it, on the number of vehicles, way of maintenance and some other factors. In most cases these costs depend on the organization of the process of the transport. A good organization of the process implies fast and effectual creation of the plan of transport in order to use the transport resources better, as well as fast and precise revision of the plan if needed. The formation of the high quality plans of transport can be gained only if one has a good knowledge of the users' demands, the capability of one's own transport resources and the conditions under which the transport would be carried out. The computerised vehicle routing systems of the dispensation are used because they enable the companies from different areas of economy to improve the use of their own transport resources. The effective use of these systems can shorten the travel and the number of passed kilometers, cut down the expenses and improve the reliability.

*Key words: municipal enterprise, transport, computerised vehicle routing*