Analitičke metode za odredjivanja potrebnog broja vozila

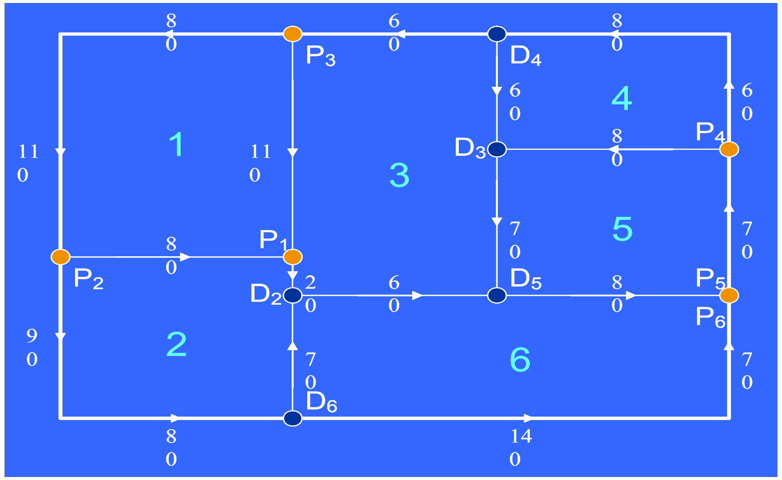
- Jedan od najznačajnijih faktora koji utiču na funkcionisanje sistema rukovanja materijalom je broj sredstava koji se nalaze u sistemu.
- Dimenzionisanje, odnosno utvrdjivanje potrebnog broja sredstava – veličine voznog, ili parka mehanizacije ima poseban značaj i predstavlja centralni problem tehnološkog uobličavanja logističkih i sistema rukovanja materijalom, a rešavanju ovog problema moguće je prići na više načina pa se, otuda, sreću i različite metode i pristupi.
- Jasno da je potreban broj pretovarnih sredstava moguće proceniti na bazi utvrdjivanja transportnog ciklusa sredstava, ukoliko se ima u vidu da je potreban broj sredstva posledica raspoloživog vremena za realizaciju zahteva i vremena potrebnog jednom sredstvu da realizuje zahtev.

$$\text{BROJ VOZILA} = \frac{\text{VREME POTREBNO JEDNOM VOZILU DA IZVRŠI ZADATAK}}{\text{VREME ZA KOJE JE POTREBNO IZVRŠITI ZADATAK}}$$

- Od početka 80-ih godina prošlog veka pa do danas razvijen je i čitav niz analitičkih modela odredjivanja broja pretovarnih sredstava, koji vremena trajanje pojedinih faza pretovarnog procesa tretiraju kao determinističke veličine. Ovi modeli odnose se, po pravilu, na odredjivnje broja automatski vodjenih vozila – AGVS, ali se ti pristupi mogu uspešno primeniti i na bilo koju drugu vrstu transportno manipulativnih vozila.

- Ovi pristupi predstavljaju uopštenje metoda utvrdjivanja transportnog, odnosno pretovarnog ciklusa, jer obuhvataju čekanje sredstava na početak realizacije zahteva, prisustvo praznih vožnji, zastoje, i uopšte, zadržavanje u drugim neproduktivnim fazama tehnološkog procesa (punjenje baterija,...).

- U suštini, ***ideja pomenutih analitičkih modela jeste u definisanju načina na koji se utvrdjuje trajanje "neproduktivnih" faza pretovarnog procesa*** (slobodno, prazna vožnja ukoliko se radi o premeštanju sredstva do mesta realizacije novog pretovarnog zahteva, zastoj i punjenje baterija), pri čemu se za proračun vremena utovara, istovara i vožnje opterećenog sredstva, kao i vremena vožnje u neopterećenom smeru, sprovodi proračun transportnog ciklusa



- Navedeni analitički *modeli analiziraju realizaciju procesa na mreži*, dakle skup pretovarnih zahteva izmedju parova čvorova date transportne mreže G(N,A), gde je N ={1, ..., i, j, ..., n} skup čvorova, a A skup grana (i,j). Svakoj grani (i,j)∈A pridružen je nenegativni skalar d_{ij} koji reprezentuje najkraće rastojanje između čvorova i, j.

- Ukoliko se uvedu sledeće oznake:
  - t_L [sec] – vreme utovara u čvoru
  - t_U [sec] – vreme istovara u čvoru
  - v [m/sec] – brzina kretanja vozila

- T [sec] – raspoloživi vremenski period
- f_{ij} [-] – broj pretovarnih zahteva izmedju čvorova i,j

tada se za posmatranu transportnu mrežu G(N,A), ukupno vreme realizacije produktivnih faza procesa može utvrditi na osnovu proračuna ukupne dužine pojedinih faza transportnih ciklusa koji se realizuju izmedju parova čvorova, to jest:

- $\sum_i \sum_j f_{ij}$ – ukupan broj operacija utovara, prevoza i istovara
- $t_L \cdot \sum_i \sum_j f_{ij}$ – ukupno vreme u otpremnim mestima na utovaru (T_L)
- $t_U \cdot \sum_i \sum_j f_{ij}$ – ukupno vreme u prijemnim mestima na istovaru (T_U)
- $\sum_i \sum_j (f_{ij} d_{ij}) / v$ – ukupno vreme opterećenih vožnji (T_{LT})

❑ Deo raspoloživog vremenskog perioda T sredstva provode u stanjima

- slobodno,
- prazna vožnja,
- punjenje baterija
- zastoj

- Vreme koje sredstva provode u ovim stanjima, tj. neproduktivnim fazama procesa, funkcija su velikog broja faktora kao što su:
  - način upravljanja procesom,
  - karakteristike sredstava,
  - karakteristike zahteva,
  - konfiguracija sistema, i sl.
- Tako vreme koje sredstvo provodi u stanjima slobodno, prazna vožnja i zastoj (blokada), najviše zavisi od
  - koncepta kontrole,
  - dinamike i pravila dispečiranja i rutiranja koja se primenjuju,
  - vremena koje sredstvo provodi u stanju punjenje baterija (najviše zavisi od vrste baterija koje se nalaze na vozilu, načina punjenja i vrste zadatka na kome je sredstvo angažovano)
- Za procenu trajanja neproduktivnih, faza pretovarnog procesa razvijeno je više metoda, koje Sinreich 2001, klasifikuje u tri grupe:
  - **Proste jednodimenzione metode**, kod kojih se procena neproduktivnih tokova vozila može oceniti kao "naivna". Ove metode su označene kao jednodimenzione zbog činjenice da je pretpostavljena jedinstvena jedinica tereta i da se realizacija tokova na mreži ne optimizuje. U ovu kategoriju svrstani su pristupi koje predlažu Maxwell i Muckstadt 1982 i Egbelu 1987
  - **Kompleksne jednodimenzione metode** podrazumevaju nešto kompleksniji i precizniji pristup koji uključuje i respektovanje primenjenih pravila dispečiranja, a u ovu kategoriju svrstani su pristupi koje predlažu Egbelu 1987 i Malmborg 1991

- **Višedimenzione metode** podrazumevaju integraciju problema odredjivanja potrebnog broja sredstava sa nekom drugom klasom problema koja je sa ovim direktno povezana.

❑ Navedeni pristupi nisu, medjutim, i jedini koji se u literaturi predlažu, jer je reč o veoma razvijenoj oblasti u okviru koje zainteresovani čitalac može pronaći veliki broj publikovnih rezultata istraživanja i otuda različitih pristupa.

- *Sinriech i Tanchoco 1992 predlažu model za utvrdjivanje potrebnog broja AGV, formulišući dvokriterijumsku funkciju minimizacije ukupnih troškova i maksimizacije iskorišćenja kapaciteta sredstava*
- *Rajotia i dr. 1998, formulišu model baziran na miks celobrojnom programiranju, sa ciljem minimizacije praznih vožnji*
- *Hung P.C i Liu F.H. 2001, predlažu analitički pristup za ocenu broja AGV, za slučaj kada sredstva manipulišu više različitih tovarnih jedinica*
- *Johnson 2001, predlaže analitički model za procenu praznih vožnji za dva često korišćenja pravila dispečiranja FCFS (prvi došao prvi opslužen) i NVR (pravilo najbližeg vozila), i to u uslovima stohastičkih transportnih zahteva.*

PROSTE JEDNODIMENZIONE METODE

❑ Egbelu 1987 predlaže dve jednostavne metode određivanja broja vozila, odnosno za procenu vremena koje vozilo provede u "neproduktivnim" stanjima.

PRVI METOD KOJI PREDLAŽE EGBELU

- Najjednostavniji pristup baziran je na pretpostavci da je vreme praznih vožnji (ET) poznata funkcija vremena koje vozilo provede u vožnji pod teretom (T_{LT}), to jest ET= $\varphi(T_{LT})$. Pri tome, koriste se i vrednosti sledećih parametara:
  - e [-] – iskorišćenost vozila
  - b [-] – deo vremena u kome je vozilo blokirano
  - c [-] – deo vremena koje vozilo provede neangažovano
  - t_b [-] – vreme koje vozilo provede na punjenju baterija
- U ovom slučaju potreban broj vozila utvrdjuje se korišćenjem sledećeg izraza:

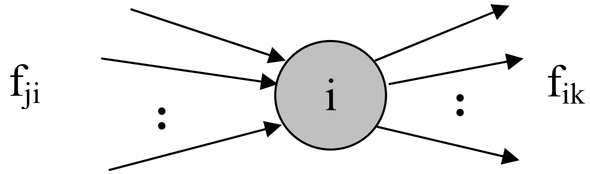
$$N = \frac{\sum_i \sum_j \left(f_{ij} d_{ij}\right) / V + \varphi(T_{LT}) + \sum_i \sum_j f_{ij}\left(t_L + t_U\right)}{e\left(T - t_b\right) / \left(1 + b + c\right)}$$

- Značajno je naglasiti da se u praktičnoj primeni za funkciju ET= $\varphi(T_{LT})$ najčešće koristi oblik ET= $k \cdot T_{LT}$, gde se za vrednost koeficijenta k mogu koristiti iskustvene ili procenjene vrednosti, a za inicijalnu ocenu mogu se koristiti vrednosti koje preporučuje Kulwiec 1982, gde se navodi da je odnos vremena kada vozilo realizuje prazne vožnje, kada je neangažovano i kada je blokirano 20%, 40% i 15%, respektivno, od ukupnog vremena vožnje opterećenog sredstva.

DRUGI METOD KOJI PREDLAŽE EGBELU

- Naredni, takođe veoma jednostavan metod koji se predlaže, (Egbelu 1987), ***za ideju ima analizu transportnih tokova u utovarno istovarnim mestima***. Tok kroz utovarno istovarno mesto **i** definiše se kao:

$$NF_i = \sum_j f_{ji} - \sum_k f_{ik}$$



- Ako u proizvoljno utovarno istovarno mesto **i**, sa mesta **j** dolazi $\mathbf{f_{ji}}$ sredstava, i ako se iz istog čvora **i**, ka čvoru **k** otprema $f_{\mathbf{ik}}$ sredstava, broj sredstava $\mathbf{NF_i}$ koja nakon realizacije istovara u čvoru **i** neće biti utovarena i potom upućena prema jednom od **k** utovarnih mesta može se odrediti na bazi gornjeg izraza

- Promenljiva $\mathbf{NF_i}$, može imati sledeću vrednost:
  - $NF_i > 0$ - u čvor je više vozila ušlo nego što je izašlo, pa se javlja višak praznih sredstava
  - $NF_i < 0$ - u čvor je ušlo manje vozila nego što je izašlo, pa se javlja potreba za praznim sredstvima
  - $NF_i = 0$ – čvor se nalazi u stanju ravnoteže.

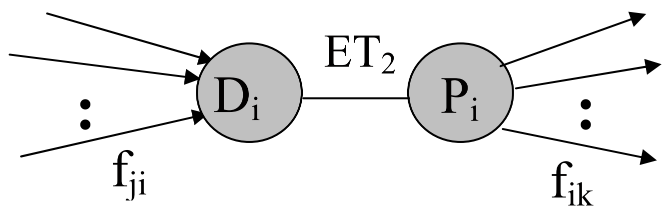
- Imajući ovo u vidu, lako se može proceniti očekivano rastojanje koje će preći sredstva koja neopterećena napuštaju čvor **i**. Dakle, pod pretpostavkom da su prosečna rastojanja praznih i opterećenih vozila jednaka, ukupan put koji predju vozila krećući se izmedju utovarno istovarnog mesta **i**, i ostalih čvorova na mreži je:

$$ET_1 = \left[\left(\sum_i \sum_j f_{ij} d_{ij}\right) \Big/ \left(\sum_i \sum_j f_{ij}\right)\right] \sum_{\forall i | NF_i > 0} NF_i$$

- Medjutim, s obzirom da koncept radnih mesta koja sredstva opslužuju može podrazumevati i fizički dislocirane utovarne, odnosno istovarne pozicije jednog te istog utovarno istovarnog mesta to se u slučaju kada je iz čvora **i**, korišćenjem svih ili dela prispelih sredstava, potrebno otpremiti $\mathbf{f_{ik}}$ sredstava, do **k** odredišnih čvorova, pojavljuje i zahtev za praznom vožnjom izmedju tih dislocirnih delova istovarnog i utovarnog dela čvora **i**.

- Put koji se u tom slučaju prelazi, ukoliko je prosečno rastojanje istovarne i utovarne pozicije čvora i d_{INT}, može se predstaviti izrazom:

$$ET_2 = \sum_i \left[\min\left(\sum_j f_{ji}, \sum_k f_{ik} \right) d_{INT} \right]$$



- Imajući u vidu prethodne izraze potreban broj vozila moguće je odrediti korišćenjem izraza

$$N = \frac{\sum_i \sum_j \left[\left(f_{ij} d_{ij}\right) + ET_1 + ET_2\right] / V + \sum_i \sum_j f_{ij}\left(t_L + t_U\right)}{e\left(T - t_b\right) / \left(1 + b + c\right)}$$

METOD KOJI PREDLAŽU MAXWELL I MUCKSTADT

- Metod koji predlažu Maxwell i Muckstadt 1982, za procenu praznih vožnji koristi model transportnog zadatka linearnog programiranja.
- Ako se prijemna stanica **i** kod koje je $\mathbf{NF_i > 0}$ shvati kao izvorište čiji kapacitet je **NFi**, s obzirom da se nakon prijema robe u čvoru pojavljuje navedeni broj praznih vozila, a otpremna stanica **i**, kod koje je $\mathbf{NF_i < 0}$, shvati kao odredište koja zahteva $\mathbf{NF_i}$ praznih vozila, očigledno je da se problem optimalnog rasporedjivanja vozila koja se nalaze u izvorištima, po odredištima, može formulisati kao transportni zadatak linearnog programiranja, sa funkcijom cilja koja treba da minimizira ukupni predjeni put praznih vozila pri transferu izmedju prijemnih i otpremnih stanica.
- Shodno tome, ako promenljiva odlučivanja $\mathbf{x_{ij}}$ predstavlja broj vozila koji se premešta izmedju prijemne stanice **i** otpremne stanice **j**, za poznata rastojanja izmedju stanica $\mathbf{d_{ij}}$, minimizacija ukupne dužine praznih vožnji **ET** može se formulisati kao

$$\text{Min} \quad ET = \sum_i \sum_j x_{ij} d_{ij}$$

$$\sum_j x_{ij} = NF_i \qquad \forall i \mid NF_i > 0 \;(1)$$

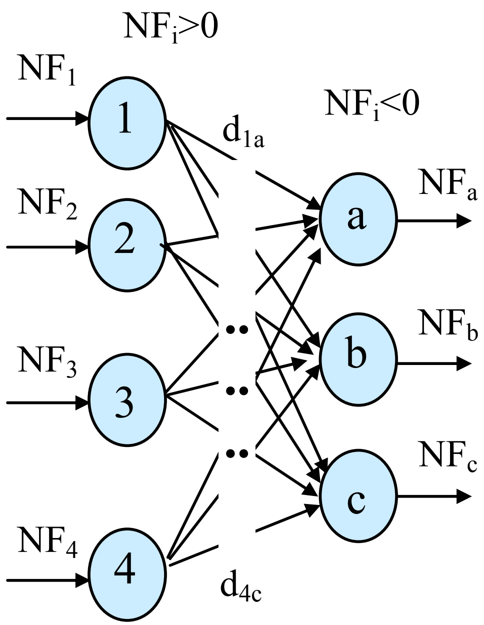
$$\sum_k x_{ki} = -NF_i \qquad \forall i \mid NF_i < 0 \;(2)$$

$$x_{ij} \geq 0 \qquad \forall i, \forall j \;(3)$$

- Ograničenje (1) garantuje da broj vozila koji se premešta iz čvora i odgovara raspoloživom broju vozila u tom čvoru, a ograničenje (2), analogno, obezbedjuje da raspoloživi broj praznih vozila u čvoru i odgovara broju vozila koja su u taj čvor prispela. Takodje, u mrežnim formulacijama, ova ograničenja se često označavaju kao “ograničenja konzervacije tokova” ili “ograničenja balansa tokova”.

- U tabelarnoj formi, na jednostavnom primeru, problem se može predstaviti kao na slici a rešenje je moguće utvrditi bilo u tabelarnoj formi kako je to uobičajeno za Transportni zadatak, ili pak korišćenjem date formulacije i primenom nekog od solvera (Logware, Excel, CPLEX, LINDO, LP_Solve koji radi i pod Linux-om,...).

Tabelarni oblik formulacije problema



OD \ DO	a	b	c	Slobodna vozila
1	d_{1a}	d_{1b}	d_{1c}	NF_1
2	d_{2a}	d_{2b}	d_{2c}	NF_2
3	d_{3a}	d_{3b}	d_{3c}	NF_3
4	d_{4a}	d_{4b}	d_{4c}	NF_4
Zahtev za vozilima	NF_a	NF_b	NF_c	

- Nakon što se na bazi prezentiranog modela utvrdi vreme praznih vožnji, pri čemu ovaj pristup daje rešenje koje predstavlja donju granicu vremena praznih vožnji, potreban broj vozila može se sračunati korišćenjem izraza

$$N = \frac{\sum_i \sum_j \left[\left(f_{ij} d_{ij} \right) + ET \right] / V + \sum_i \sum_j f_{ij} \left(t_L + t_U \right)}{e\left(T - t_b\right) / \left(1 + b + c\right)}$$

KOMPLEKSNE JEDNODIMENZIONE METODE

- Metode koje se mogu svrstati u ovu kategoriju podrazumevaju nešto kompleksniji i precizniji pristup koji uključuje i respektovanje primenjenih pravila dispečiranja. Tako se u jednom od prvih radova iz ove oblasti (Egbelu 1987), proračun vremena praznih vožnji bazira na primeni FCFS (***first come first serve***, tj. prvi došao prvi opslužen) pravila dispečiranja i na pretpostavci slučajne pojave zahteva za vozilima u utovarnim stanicama.

- Za slučaj primene ovog pravila dispečiranja prvo slobodno vozilo, koje se pojavi u nekoj od prijemnih stanica – istovarnih čvorova, biće upućeno do prve od otpremnih stanica – utovarnih čvorova gde se pojavio zahtev.

- Ukoliko se uoči matrica broja pretovarnih zahteva (tokova) izmedju parova čvorova ***i,j*** tada je, uz pretpostavku da su pojava zahteva za praznim vozilima i oslobadjanje praznih vozila slučajnog karaktera, moguće definisati sledeće verovatnoće.

Matrica broja pretovarnih zahteva izmedju parova čvorova i,j

	1	2	3	...	j
1	-	f_{12}	f_{13}	...	f_{1j}
2	f_{21}	-	f_{23}	...	f_{2j}
3	f_{31}	f_{32}	-	...	f_{3j}
...	...	...	...	-	...
i	f_{i1}	f_{i2}	f_{i3}	...	-

TOKOVI U ČVOR j OD SVIH OSTALIH ČVOROVA

TOKOVI IZ ČVORA I DO SVIH OSTALIH ČVOROVA

- Verovatnoća $\mathbf{p_i}$, da će naredno slobodno vozilo biti potrebno u čvoru **i**, da bi iz tog čvora transportovalo teret do nekog drugog odredišnog čvora, odnosno verovatnoća $\mathbf{p_j}$, da će naredno slobodno vozilo postati raspoloživo nakon istovara u čvoru **j** odredjuje se prema

$$p_i = \frac{\sum_k f_{ik}}{\sum_i \sum_j f_{ij}}, \quad p_j = \frac{\sum_k f_{kj}}{\sum_i \sum_j f_{ij}}$$

- Jasno je da poznavanje ovih verovatnoća, medjusobno nezavisnih, omogućuje da se utvrdi verovatnoća $\mathbf{p_{ij}}$, da proizvoljno vozilo upućeno u otpremnu stanicu – utovarni čvor **i**, dolazi iz prijemne stanice – istovarnog čvora **j**

$$p_{ij} = p_i \cdot p_j$$

- Otuda, očekivani broj praznih vožnji izmedju prijemnih stanica **j** i otpremnih stanica **i** - $\mathbf{g_{ij}}$ iznosi:

$$g_{ij} = p_i \cdot p_j \sum_i \sum_j f_{ij}$$

- Za poznatu matricu rastojanja izmedju čvorova $\left\| d_{ij} \right\|$, ukupna dužina praznih vožnji, ET može se proceniti na bazi:

$$ET = \sum_i \sum_j g_{ij} \cdot d_{ji}$$

- Shodno tome, potreban broj vozila moguće je odrediti korišćenjem izraza

$$N = \frac{\sum_i \sum_j \left[\left(f_{ij} d_{ij} \right) + ET \right] / V + \sum_i \sum_j f_{ij} \left(t_L + t_U \right)}{e\left(T - t_b \right) / \left(1 + b + c \right)}$$