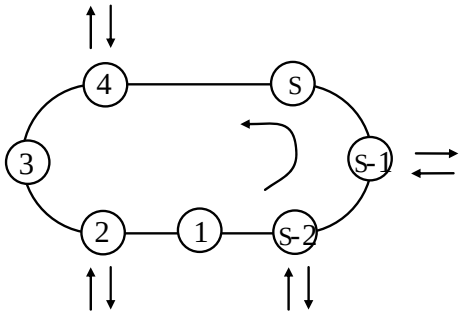
RECIRKULACIONI ILI KONVEJER SA ZATVORENOM KONTUROM STAZE

RECIRKULACIONI I KONVEJER SA ZATVORENOM KONTUROM STAZE

1,2,...,s – nosiljke

↓↑ – utovarno istovarna mesta

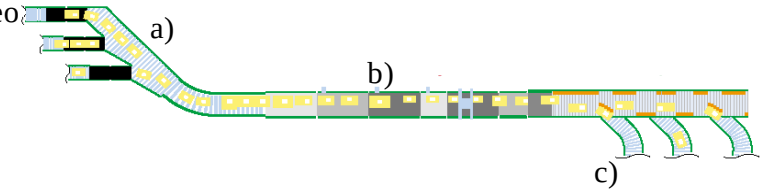


SORTIRNI KONVEJER

a) sabirni deo

b) indukcioni deo

c) sortirni deo



Recirkulacioni i sortirni konvejer

- Recirkulacioni, ili konvejer sa zatvorenom konturom staze, sastoji se, najčešće, od vučnog sistema na kome su na podjednakom rastojanju postavljene nosiljke koje krećući se prolaze pored manjeg ili većeg broja radnih mesta ili utovarno istovarnih punktova.

- Radni proces obično podrazumeva da se jedinica tereta sa nekog od radnih mesta utovara ili istovara na prvu slobodnu nosiljku. Medjutim, fiksno rastojanje tereta, odnosno nosiljki, ne mora uvek biti prisutno.
- Važna osobina recirkulacionih konvejera je ta da omogućuju višestruko kretanje jedinice tereta istom trasom, što omogućuje naknadnu operaciju na jedinici tereta, ukoliko ona nije realizovana pri prvom prolazu. Možda najočigledniji primer ovog sistem su trake za izdavanje prtljaga na aerodrumima.
- Modeliranje ovih sistema, **sa ciljem odredjivanja potrebnog broja nosiljki**, **njihovog kapaciteta**, **dužine transportera** ili **brzine konvejera**, može se realizovati na različite načine, ali se mogu izdvojiti dva osnovna pristupa: deterministički i stohastički.
- U pionirskom radu iz ove oblasti (Kwo 1958) postavlja tzv. "teoriju konvejera", analizirjući transportere sa zatvorenom konturom staze, sa jednom utovarnom i jednom istovarnom stanicom i diskretnim tokom materijala u vremenu. Rezultati do kojih je došao Kwo, iako bazirani na nekoliko intuitivnih pravila uz postojanje veoma restriktivnih ograničenja utrli su put kasnijoj sve detaljnijoj analizi recirkulacionih transportera.

TEORIJA KONVEJERA

- Kwo definiše tri principa:

1. **Princip brzine konvejera**, koji formuliše kao:

$$\mathrm{Max}(r_L, r_U) \le \frac{v}{l} \le \mathrm{Min}\left(\frac{1}{t_L}, \frac{1}{t_U}, \frac{v_{max}}{l}\right)$$

gde su:

- r_L [kom/s] - intenzitet utovara na transporter
- r_U [kom/s] - intenzitet istovara sa transportera
- l [m] - rastojanje nosiljki
- v [m/s] - brzina transportera
- t_L [s] - srednje vreme utovara tereta na transporter
- t_U [s] - srednje vreme istovara tereta sa transportera
- v_{max} [m/s] - maksimalna moguća brzina transportera

2. **Princip dovoljnosti kapaciteta, koji formuliše kao:**

$$\frac{m \cdot q \cdot v}{L} = \frac{m \cdot q}{w} = \frac{q \cdot v}{s} \ge K$$

gde su:

- m [kom] - broj nosiljki na transporteru

- q [kom] - kapacitet nosiljke
- L [m] - ukupna dužina transportera
- w [s] - vreme jednog punog ciklusa (obrta) transportera, w=L/v
- s [m] - rastojanje nosiljki, s=L/m
- K[kom/s] - konstanta koja govori o definisanom broju jedinica koje predstavljaju rezervu i akumuliraju se na sredstvu, taktu utovarno istovarnih operacija i vremenu obrta konvejera

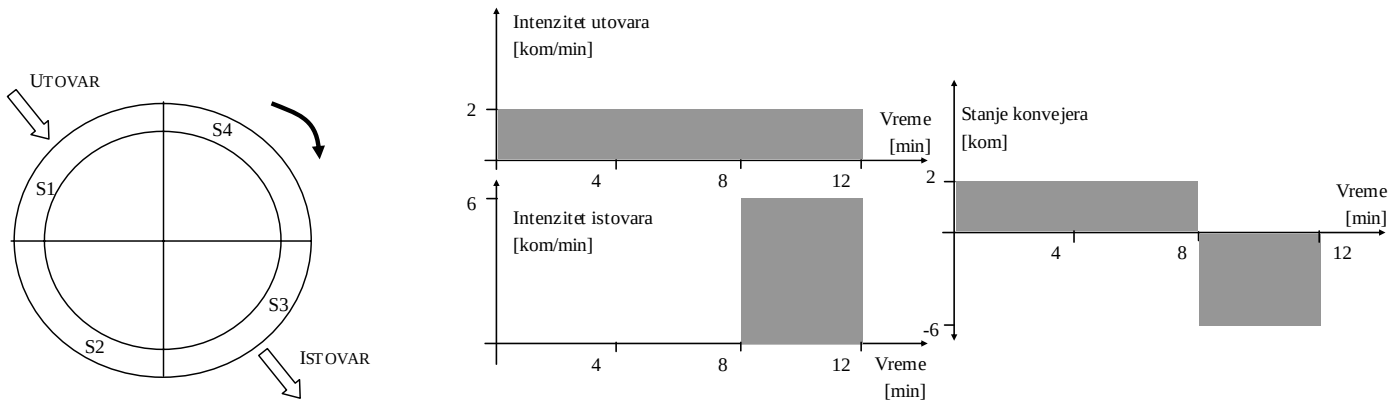
3. Princip uniformnosti, koji se formuliše kao zahtev za uniformnim utovarom odnosno istovarom duž celog transportera.

- Treći princip, mada naizgled jednostavan i uopšten, koji čak nije ni matematički formulisan, jeste zapravo najznačajniji od tri navedena.
- Naime, eksploatacija konvejera za komadne tereta deluje veoma jednostavno, s obzirom na postojanje samo dve upravljačke veličine: ***brzina konvejera i broj nosiljki***. Medjutim, u većini slučajeva to nije tako, čak ni u slučaju determinističkog režima rada, i u praksi se, često dogadja da na istovarno mesto pristižu prazne nosiljke, odnosno da na utovarna mesta često dolaze već opterećene nosiljke, pa je potrebno čekati na pojavu prazne.
- *Imajući ovo u vidu, Kwo princip uniformnosti prevodi u praktično pravilo koje glasi:* ***"uniformnost pri utovaru odnosno istovaru konvejera znači ravnomeran utovar, odnosno istovar svih sekcija transportera, to jest dovodjenje i odvodjenje istog broja jedinica tereta sa svih sekcija transportera".***
- Ukoliko se uniformnost postiže nakon N_T radnih ciklusa dužine T, vreme jednog punog okreta konvejera (w) mora zadovoljavati sledeće uslove:

1. Odnos $N_w=(N_T T/w)$ treba da bude ceo broj različit od N_T, tj. $N_w \neq N_T$, što znači da dužina radnog ciklusa ne treba biti jednaka vremenu punog okreta konvejera. Takodje, treba da je $N_w \neq 1$ jer bi u protivnom konvejer jedan pun okret realizovao tokom N_T radnih ciklusa te bi se stalno ponavljao jedan te isti obrazac utovara, odnosno istovara i to na istim sekcijama konvejera

2. Odnos $N_T T_L / w$, ili odnos $N_T T_U / w$, gde T_L, odnosno T_U označavaju trajanje utovarnih i istovarnih operacija respektivno (pri čemu je $T=T_L+T_U$), takodje mora biti ceo broj, čime se, uz ispunjenje potrebnog uslova (1), stvara i dovoljan uslov uniformnosti pri utovaru, odnosno istovaru konvejera.

- Neka je rad recirkulacionog konvejera šematski prikazanog na slici opisan dijagramima sa intenzitetom utovara od 2 [kom/min], i intenzitetom istovara od 6 [kom/min].



Rad recirkulacionog konvejera u jednom ciklusu

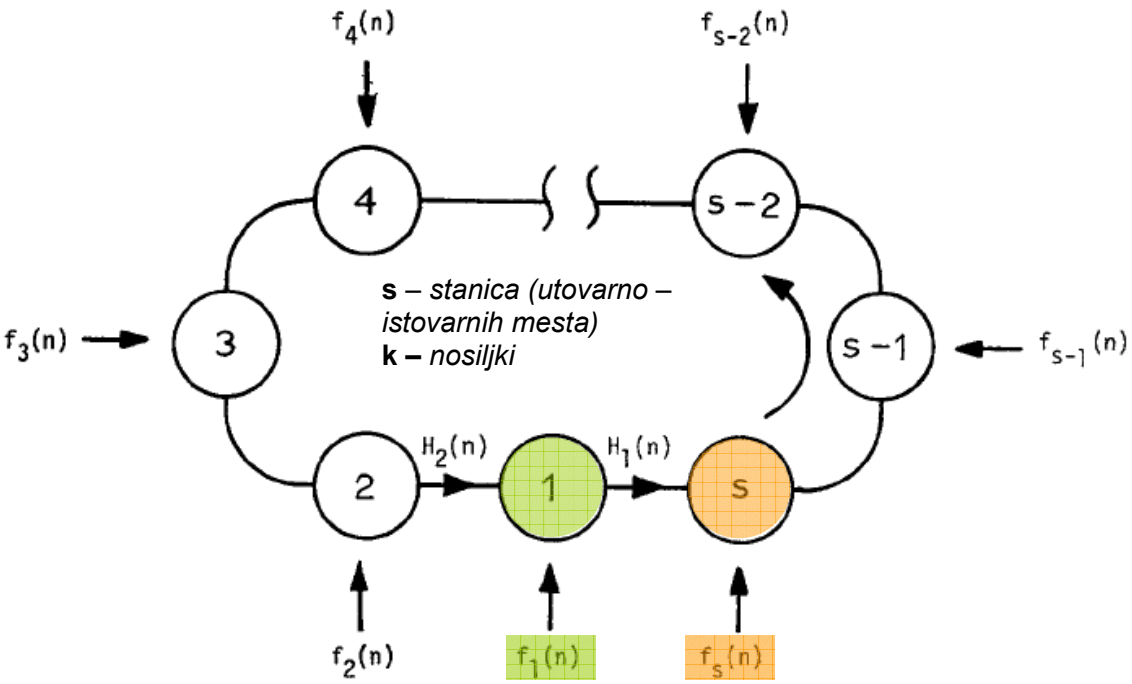
- Stanje konvejera u minutnim intervalima, tokom jednog radnog ciklusa, moguće je predstaviti kao u tabeli.

VREME [min]	STANJE PO SEKCIJAMA [kom] S1	S2	S3	S4
1	2	0	0	0
2	2	2	0	0
3	2	2	2	0
4	2	2	2	2
5	4	2	2	2
6	4	4	2	2
7	4	4	4	2
8	4	4	4	4
9	6	4	-2	4
10	6	6	-2	-2
11	0	6	0	-2
12	0	0	0	0

- Očigledno, **pri ovom režimu rada konvejera, potrebno je da kapacitet nosiljke bude 6 jedinica tereta, a pri radu se dva puta javio i nedostatak od po dve jedinice**.
- Ova tehnika, dakle, može biti korišćena za odredjivanje maksimalnog kapaciteta nosiljki i za ocenu funkcionisnja odredjene konfiguracije sistema, a ukoliko se primene i prethodno definisani principi može dati odredjene odgovore o potrebnim performansama sistema.
- Medjutim, primena ovog koncepta odnosi se na recirkulacione konvejere najjednostavnije konfiguracije, sa po jednim utovarnom i istovarnim mestom.
- Treba, takodje, naglasiti da svaka promena pozicija utovarno istovarnih mesta i promena brzine konvejera, odnosno dužine radnog ciklusa u odnosu na potpun okret transportera bitno utiče na performanse, te je za zahtevane intenzitete utovarno istovarnih operacija od prevashodnog značaja definisanje optimalne konfiguracije sistema koja podrazumeva minimalne nosivosti nosiljki i minimum nerealizovanih zahteva.

RECIRKULACIONI KONVEJER SA VIŠE UTOVARNIH I ISTOVARNIH MESTA

- Dalji napredak u definisanju u ovoj oblasti predstavljaju rezultati istraživanja koja se odnose na analizu rada recirkulacionih konvejera sa više utovarnih i istovarnih mesta.



- Sekvenca vremenskih trenutaka u kojima nosiljka prolazi pored utovarno istovarnog mesta 1, koje je uzeto kao referentna tačka za definisanje protoka vremena u sistemu, označena je sa **{t_n}**, a nosiljka koja prolazi pored stanice 1 u trenutku **t_n**, označena je sa n. Ista nosiljka, kada u narednom okretu prolazi pored stanice 1, ima oznaku n+k.
- Pretpostavljeno je da do promene indeksa dolazi izmedju stanica **1** i **s**, pa nosiljka koja prodje stanicu **1** sa indeksom **n**, **prolazi pored stanice s sa indeksom n+k**.

- Količina matrijala koju je potrebno utovariti na nosiljku **n**, u stanici **i** je $\mathbf{f_i(n)}$, **i=1,2,...,s**. Negativne vrednosti $\mathbf{f_i(n)}$ označavaju istovarne zahteve.
- Količina materijala na nosiljci **n**, nakon prolaska pored stanice **i** označena je sa $\mathbf{H_i(n)}$. Skup vrednosti utovarno istovarnih zahteva $\mathbf{f_i(n)}$ **predstavlja projektni zahtev i potrebno je da transporter obezbedi njihovu realizaciju**
- **Period u kome je potrebno analizirati rad konvejera je radni ciklus**, tokom koga **p** nosiljki prolazi pored neke fiksne tačke. S obzirom na periodičnost procesa, važi jednakost:

$$\{f_i(n+p)\} = \{f_i(n)\}, \quad i = 1,2,...,s$$

- Da bi sistem funkcionisao, logično je da *unutar radnog ciklusa postoji balans izmedju ukupno utovarenog i ukupno istovarenog materijala*, to jest:

$$\sum_{n=1}^{p}\sum_{i=1}^{s} f_i(n) = 0$$

- Ukoliko se analizira nosiljka **n-k**, koja nakon prolaska pored stanice **1** nosi količinu materijala $\mathbf{H_1(n-k)}$, može se uočiti da će u sledećem okretu, prošavši stanicu 1 imati na sebi materijal u količini $\mathbf{H_1(n)}$. Razlika $\mathbf{H_1(n)- H_1(n-k)}$ predstavlja ukupnu količinu materijala utovarenog i istovarenog na stanicama **s, s-1, s-2,...,2, 1**.

$$H_1(n) - H_1(n-k) = \sum_{i=1}^{s} f_i(n)$$

- Ukoliko se suma na desnoj strani označi sa **$F_1(n)$**

$$H_1(n) - H_1(n-k) = F_1(n), \quad \text{gde je} \quad F_1(n) = \sum_{i=1}^{s} f_i(n) \quad (1)$$

- Na bazi rezultata istraživanja (Muth 1974), analogno pravilu koje je definisao Kwo, **preporučuje da odnos trajanja okreta konvejera ne treba da bude celobrojni umnožaki radnog ciklusa**, **odakle, takodje, odnos k/p, takodje ne treba da bude ceo broj**. Šta više, uvodi se i **rezidualni broj nosiljki r** prema sledećem izrazu, **koji predstavlja ostatak deljenja k/p**:

$$\frac{k}{p} = l + \frac{r}{p}$$

gde je **l** ceo broj, a **0 < r/p < 1**.

- ***Rešenje jednačine (1), za sve sekvence {$F_1(n)$} postoji, ako i samo ako r i p nemaju zajednički delitelj, a ukoliko to nije ispunjeno, rešenja postoje samo za pojedine sekvence {$F_1(n)$}.***
- ***Zato je sa praktičnog aspekta pogodno da dužina radnog ciklusa p, izražena kao broj nosiljki koje u radnom ciklusu prodju pored odredjene fiksirane tačke, bude prost broj, u kom slučaju rešenje postoji za bilo koji prihvatljiv broj nosiljki k.***
- **$H_i(n)$**, za **i=s,s-1,s-2,...,2**, koja po definiciji označava količinu materijala na nosiljci **n**, nakon prolaska pored stanice **i**, je istovremeno i količina materijala na nosiljci pre prolaska pored stanice **i-1**. Shodno tome, ***zbog balansa ulazno izlaznih tokova vrednosti $H_i(n)$ mogu se, počev od stanice 1, rekurzivno odrediti na bazi***:

$$\{H_{i+1}(n)\} = \{H_i(n) - f_i(n)\}, \text{ za} \quad i = 1,2,\ldots,s-1 \quad (2)$$

- Rešenje jednačine **(1)** biće onda partikularno rešenje **{H_i*(n)}** koje se u opštem slučaju razlikuje od **{H_i(n)}**. Otuda, saglasno **(2)** potrebno je odrediti sekvence **{H_i*(n)}**, to jest:

$$\{H^*_{i+1}(n)\} = \{H^*_i(n) - f_i(n)\}, \text{ za } \quad i = 1,2,\ldots,s-1 \quad (3)$$

- Potrebno je uvesti i ograničenja koja se odnose na količinu materijala na nosiljci, koja u bilo kom trenutku, i na bilo kom delu konvejera, mora biti nenegativna. Stoga je definisana konstanta **c**, takva da :

$$c = \min_{i,n}\{H^*_i(n)\}$$

- Otuda je željeno rešenje:

$$H_i(n) = \{H^*_i(n) - c\}$$

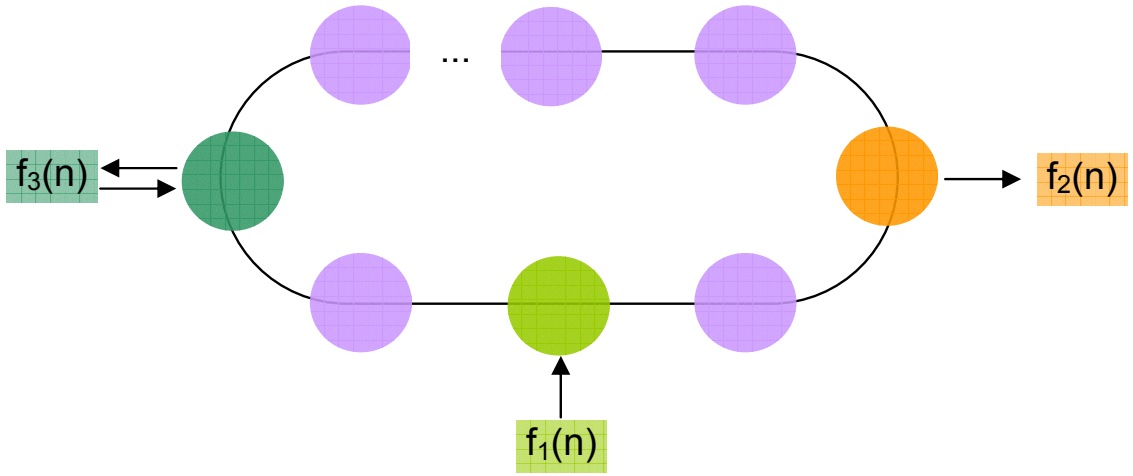
- Zahtevani minimalni kapacitet nosiljke:

$$B = \max_{i,n}\{H_i(n)\} \quad (4)$$

- ***Proces razvoja optimalnog rešenja konvejera podrazumeva odredjivanje broja nosiljki k i dužine radnog ciklusa p, tako da kapacitet nosiljke B bude minimalan.***

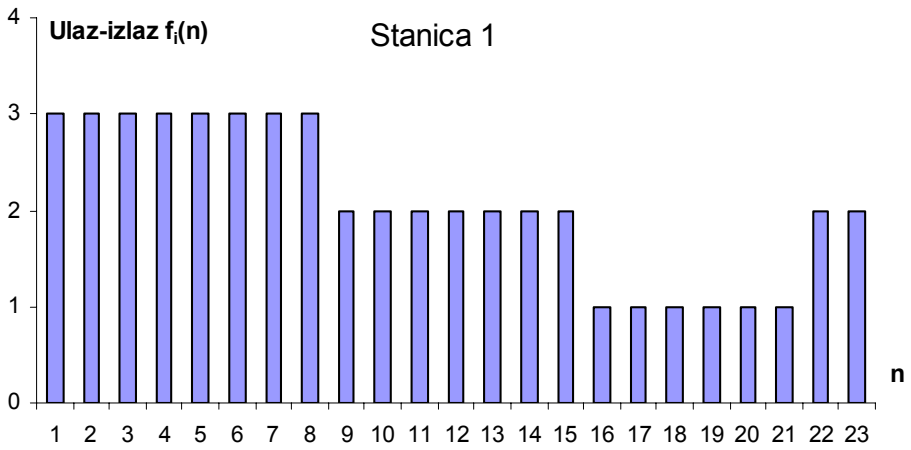
❑ Kako je to pokazano u radu (Muth 1974), **kapacitet nosiljke B u značajnoj meri zavisi od odnosa r/p**, a generalno, **pokazalo se da navedeni odnos treba da bude u opsegu {¼, ¾}**.

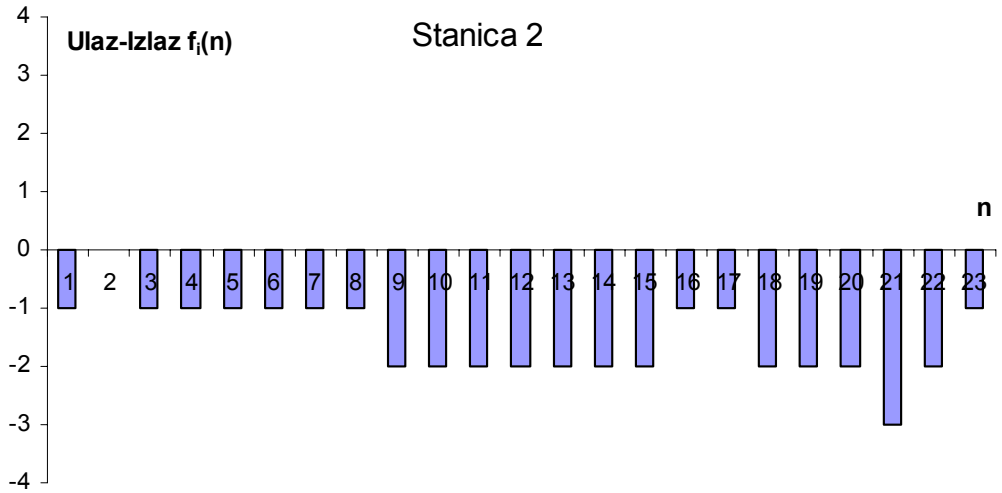
- Neka je predmet analize konvejer sa tri utovarno istovarne stanice, sa radnim ciklusom čiji je period p=23, izabran da bude prost broj, u kom slučaju rešenje izraza (1) postoji za sve vrednosti rezidualnog broja nosiljki r, i za sve sekvence $\{f_i(n)\}$.

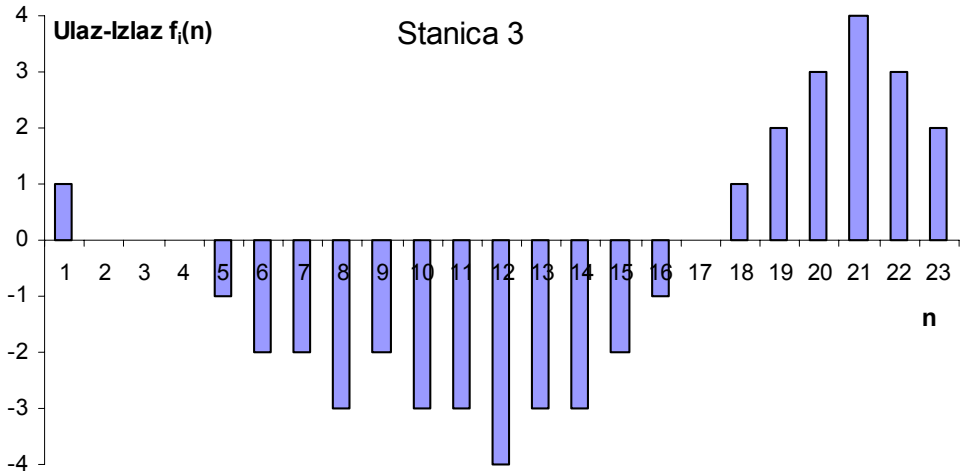


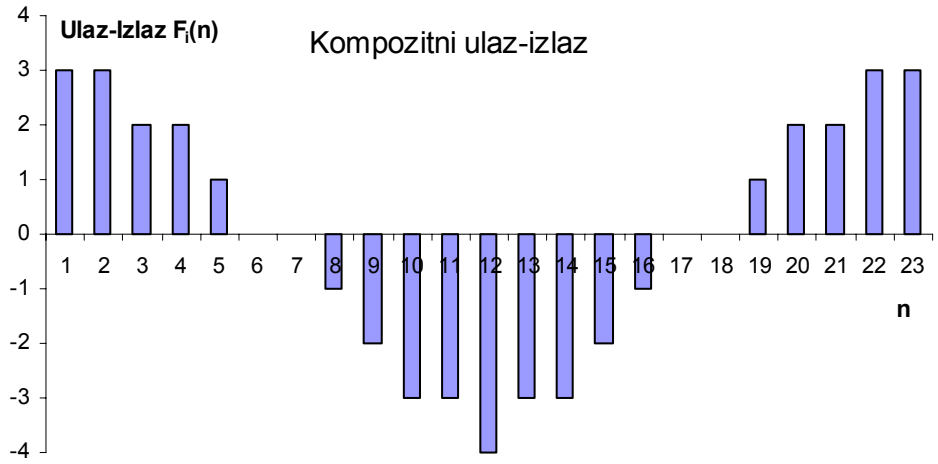
- Neka se, takodje, na prvoj od tri navedene utovarno istovarne stanice materijal samo utovara na nosiljke, na drugoj samo istovara, a na trećoj i utovara i istovara.
- Pretpostavljene vrednosti utovarno istovarnih sekvenci za period p=23 i njihov zbir prikazani su u tabeli.

BROJ NOSILJKE	n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
ULAZ-IZLAZ NA STANICI 1	$f_1(n)$	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2
ULAZ-IZLAZ NA STANICI 2	$f_2(n)$	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-2	-2	-2	-3	-2	-1
ULAZ-IZLAZ NA STANICI 3	$f_3(n)$	1	0	0	0	-1	-2	-2	-3	-2	-3	-3	-4	-3	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	3	2
KOMPOZITNI ULAZ-IZLAZ	$F_1(n)$	3	3	2	2	1	0	0	-1	-2	-3	-3	-4	-3	-3	-2	-1	0	0	1	2	2	3	3


Ulaz-izlaz $f_i(n)$
Stanica 1
n


Ulaz-Izlaz $f_i(n)$
Stanica 2
n


Ulaz-Izlaz $f_i(n)$
Stanica 3
n


Ulaz-Izlaz $F_i(n)$
Kompozitni ulaz-izlaz
n

- Da bi se došlo do partikularnog rešenja $\{H_i^*(n)\}$, polazi se od proizvoljne vrednosti, na primer **$H_1^*(1)=0$**. Imajući u vidu izraz (1)

$$H_1^*(n) - H_1^*(n-r) = F_1(n), \quad n = 1,2,...23$$

- Isto tako, s obzirom da je rešenje periodična funkcija sa periodom **p**, važi i relacija:

$$\{H_i^*(n+p)\} = \{H_i^*(n)\}$$

- ***Sistem jednačina dat prethodnim izrazima vrlo lako se rešava, povećavanjem indeksa n za korak r.***

Neka je r=9.

- Obzirom da je pretpostavljeno **$H_1^*(1)=0$**, naredna jednačina ima oblik:

$H_1^*(10) = H_1^*(1) + F_1(10)$, odakle je, s obzirom da je $F_1(10)$ dato u tabeli $\rightarrow$ $H_1^*(10)=-3$

- Nadalje, povećavajući n za r=9 sledi

$$H_1^*(19) = H_1^*(10) + F_1(19) = -3 + 1 = -2$$

$H_1^*(28) = H_1^*(19) + F_1(28)$, no, kada indeks n postane veći od perioda p, kao u ovom slučaju, saglasno prethodno datom izrazu, ova jednakost, zbog činjenice da je period p=23, postaje

$$H_1^*(5) = H_1^*(19) + F_1(5) = -2 + 1 = -1$$

$$H_1^*(14) = H_1^*(5) + F_1(14) = -1 - 3 = -4$$

$$H_1^*(23) = H_1^*(14) + F_1(23) = -4 + 3 = -1$$

$$H_1^*(32) = H_1^*(23) + F_1(32) \Leftrightarrow H_1^*(9) = H_1^*(23) + F_1(9) = -1 - 2 = -3$$

$$H_1^*(18) = H_1^*(9) + F_1(18) = -3 + 0 = -3$$

$$H_1^*(27) = H_1^*(18) + F_1(27) \Leftrightarrow H_1^*(4) = H_1^*(18) + F_1(4) = -3 + 2 = -1$$

$$H_1^*(13) = H_1^*(4) + F_1(13) = -1 - 3 = -4$$

- itd., dok se ne utvrde sve vrednosti $H_1^*(n)$, za n=1,2,...,23
- Rešenja, tj. količine materijala na nosiljkama nakon prolaska pored dve preostale stanice, $H_2^*(n)$ i $H_3^*(n)$, mogu se dobiti primenom izraza (3), odakle sledi da je:

$H_2^*(n) = H_1^*(n) - f_1(n)$, odnosno $H_3^*(n) = H_2^*(n) - f_2(n)$

- Na bazi prethodno sračunatih vrednosti za $H_1^*(n)$ i podataka iz tabele ove veličine se lako utvrdjuju, a rezultati proračuna prikazani su u tabeli

Količine materijala na nosiljkama nakon prolaska pored stanica, za r = 9

BROJ NOSILJKE	n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
NAKON STANICE 1	$H_1^*(n)$	0	0	0	-1	-1	-1	-2	-2	-3	-3	-3	-4	-4	-4	-3	-3	-2	-3	-2	-1	-2	-1	-1
NAKON STANICE 2	$H_2^*(n)$	-3	-3	-3	-4	-4	-4	-5	-5	-5	-5	-5	-6	-6	-6	-5	-4	-3	-4	-3	-2	-3	-3	-3
NAKON STANICE 3	$H_3^*(n)$	-2	-3	-2	-3	-3	-3	-4	-4	-3	-3	-3	-4	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	0	0	-1	-2

- Analiza sračunatih vrednosti, pokazuje da je najveći nedostatak materijala, od šest jedinica, prisutan kod nosiljki 12, 13 i 14, nakon prolaska stanice 2. No, taj nedostatak se jednostavno eliminiše prethodnim popunjavanjem nosiljki sa šest jedinica tereta, što se svodi na dodavanje po šest jedinica u svako od polja prethodne tabele.
- Što se pak tiče zahtevanog kapaciteta nosiljki, očigledno je da će nakon dodavanja po šest jedinica u svako od polja prethodne tabele maksimalna vrednost iznositi 6 jedinica, a pojaviće se u nosiljkama 1,2 i 3 nakon napuštanja prve stanice i u nosiljkama 20 i 21 nakon napuštanja treće stanice.
- ***Napominje se da je slučajnost što su apsolutne vrednosti nedostatka i maksimalnog broja jedinica iste***
- Da bi se pokazala zavisnost maksimalnog kapaciteta nosiljke B, od rezidualnog broja nosiljki r, vrednosti za B sračunate su za r=1,2...22, a rezultati su prikazani u tabeli.

r	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
B	23	15	10	8	8	6	7	8	6	7	6
r	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
B	8	7	8	9	8	9	9	10	13	16	26