

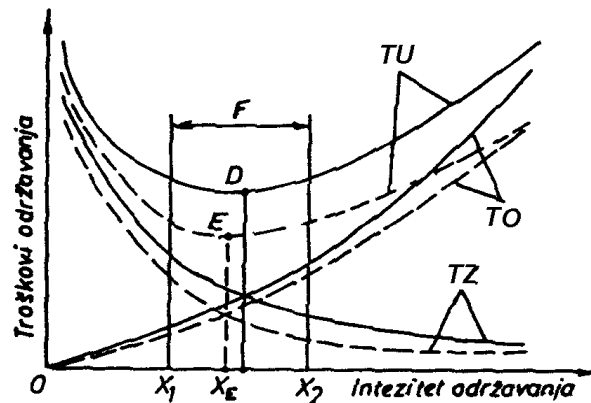
## TROŠKOVI ODRŽAVANJA. REZERVNI DELOVI. OPTIMIZACIJA ZALIHA

### Ukupni troškovi održavanja

Ukupni troškovi koji se javljaju u procesu održavanja mogu se podeliti u dve grupe: (\*1)

1. direktni troškovi održavanja (TO),
2. troškovi zastoja u proizvodnji (TZ).

U zavisnosti od intenziteta održavanja TO i TZ imaju sledeći oblik: (slika 1.)



Slika 1. Ukupni troškovi održavanja. (\*2)

Ako korisnici sredstava za rad ne učestvuju u fazi projektovanja tehničkog sredstva, tada su direktni troškovi održavanja (TO) i zastoja u proizvodnji (TZ) veći (puna linija na dijagramu). U slučaju da se već u fazi projektovanja izvrše dobre pripreme za eksploataciju to će TO i TZ a samim tim i ukupni troškovi održavanja biti manji (isprekidane linije).

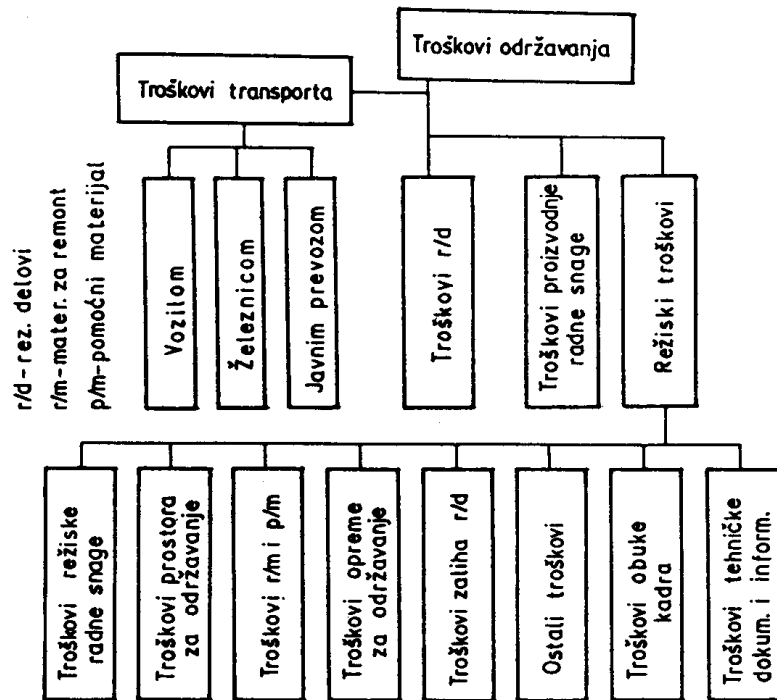
Posmatrajući drugu mogućnost kao bolju, uočava se da tačka E predstavlja optimalne ukupne troškove održavanja, a tačka  $x_E$  optimalni intenzitet održavanja.

U praksi se pokazalo praktičnije da se odredi oblast F kao optimalna oblast troškova, jer ima slučajeva kada su troškovi preventivnih intervencija veći nego popravke nastalog kvara.

Pored prikazane dve osnovne grupe troškova kao **pokazatelji ekonomičnosti** aktivnosti održavanja mogu se koristiti i druga merila kao što su: (\*3)

- troškovi po radnom satu održavanja,
- troškovi po korektivnim akcijama održavanja,
- troškovi po preventivnim akcijama održavanja,
- troškovi izgubljenog vremena čekanja tehničkog sredstva u redu,
- troškovi neiskorišćenosti kapaciteta kanala za opsluživanje.

Direktne troškove održavanja (TO) čini grupa od četiri vrste troškova i to: (slika 2.) (\*4)



Slika 2. Troškovi održavanja.

Kvalitet i nivo aktivnosti održavanja meri se finansijski. Od posebnog interesa unutar troškova održavanja su troškovi rezervnih delova, jer su ostali troškovi manje više konstantni i unapred definisani.

#### Primer: Saobraćajno preduzeće

Ako saobraćajno preduzeće ima veliki broj različitih autobusa od različitih proizvođača, da bi održalo raspoloživost voznog parka na određenom nivou, za svaki tip autobusa na skladištu treba da ima npr. po jedan motor. Tako za 1000 autobusa treba da ima npr. 30 motora, čija je cena skoro dvostruko veća nego kada se kupuju u okviru vozila. Sa druge strane ako preduzeće ima samo jedan tip autobusa za isti stepen raspoloživosti trebaće samo nekoliko motora, što zavisi od intenziteta potreba za remontom motora kao i od vremenskog razmaka između remonta dva motora (vreme trajanja remonta).

Za održavanje gde se radi o skupim i unificiranim delovima, gde se održavanje sastoji u tome da se oštećeni, istrošeni ili havarisani delovi zamene novim, ili remontovanim, stoje na raspolaganju sledeće mogućnosti smanjenja troškova rezervnih delova: (\*5)

- pojedinačna nabavka ili izrada rezervnih delova,
- nabavka rezervnih delova u okviru kompletnih sklopova,
- upotreba delova sa starih, otpisanih ili prekobrojnih mašina - “kanibalizacija”.

### Pojedinačna nabavka ili izrada rezervnih delova

Pojedinačna nabavka ili izrada rezervnih delova je najskuplji način obezbeđivanja rezervnih delova.

Zbog prirode rezervnih delova i njihovog tržišta, jer se proizvode i posle prestanka proizvodnje date serije, proizvod sklopljen od rezervnih delova je daleko skuplji od tržišne cene proizvoda.

### Smanjenje troškova rezervnih delova nabavkom celih sklopova

Povrh svega proizvođač ima i dodatnu politiku niske cene proizvoda što još više pravi razliku između cene proizvoda kupljenog direktno od proizvođača i cene proizvoda sklopljenog od rezervnih delova. To dovodi do toga da mnoga preduzeća umesto rezervnih delova (čak i u fazi nabavke nove opreme) kupuju cele proizvode (sklopove) koji se kasnije distribuiraju prema potrebama.

### Smanjenje troškova rezervnih delova “kanibalizacijom”

Preveliki kapaciteti nastaju kao posledica:

- a) brže nabavke nove opreme od potreba,
- b) smanjenja potrebnih kapaciteta (uslovi tržišta),
- c) zamene stare opreme novom, produktivnijom.

Iz gore navedenih razloga jasno je da upotreba očuvanih delova mašina koje se povlače iz procesa proizvodnje, ako se ne mogu povoljnije prodati, dovodi do ušteda. U procesu “kanibalizacije” javljaju se troškovi demontaže i remonta delova.

## **KLASIFIKACIJA REZERVNIH DELOVA**

Da bi se u procesu investicionog održavanja (plansko-preventivno održavanje) i procesu opravke kvarova održala radna sposobnost sredstava za rad (mašina) na potrebnom nivou, treba da postoji određena zaliha rezervnih delova i materijala.

Sastavni delovi mašina se dele na:

- 1. delove koji se ne troše, ne stare i teško ih je onеспособiti za funkciju (npr. kućišta, stalci, postolja itd.),
- 2. rezervne delove, koji se troše u kraćem vremenu od veka trajanja mašina, ili se lome, stare i sl. (remenovi, ležajevi, osigurači, sijalice, osovinice, otpornici itd.).

Delove koji se ne troše ne treba unapred obezbeđivati, jer je njihovo držanje na zalihama skupo, a verovatnoća da će se za njima pojaviti potreba mala.

Rezervni delovi zaslužuju posebnu pažnju, jer su najčešće komplikovani za izradu i ako ih nema na skladištu, može da prođe duže vremena dok se nabave.

Rezervni delovi se dele na: (\*6)

- **namenske**, koji su posebno oblikovani i izrađeni za određenu namenu na sredstvima za rad (mašinama), i
- **standardne**, koji se proizvode za širu promenu, a ugrađeni su u mašinu koja se konkretno održava.

Delatnost obezbeđivanja rezervnih delova se deli na: (\*7)

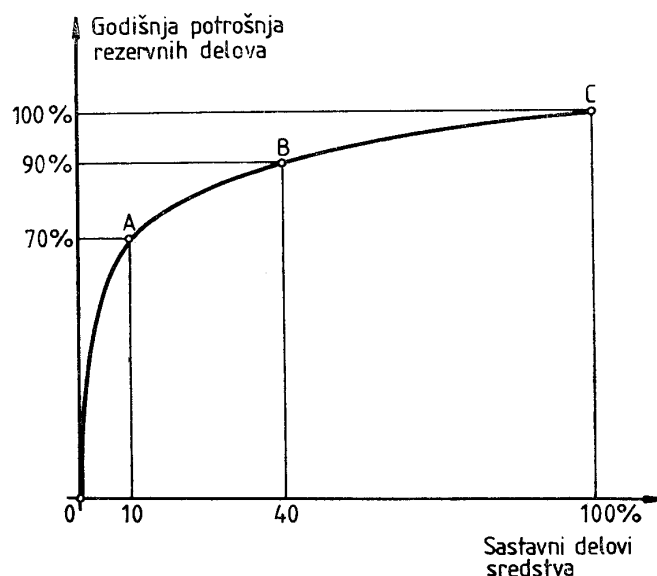
- planiranje,
- nabavku, i
- skladištenje.

Rezervni delovi se drže na zalihama jer se delovi mašina troše, kvare i onesposobljavaju, tako da mnogi sastavni delovi mašina imaju kratak radni vek i potrebno ih je zamenjivati. Da bi zastoji zbog potrebe za zamenom rezervnih delova bili što manji ili se čak izbegli potrebno je imati na zalihama određenu količinu rezervnih delova.

Opskrbljivanje rezervnim delovima smanjuje zastoje u proizvodnji sa jedne strane dok sa druge strane ekonomičnost troškova zaliha je vrlo važna, jer troškovi zaliha rezervnih delova i materijala iznose čak i do 25% od vrednosti zaliha i to:

- zastarevanje rezervnih delova i materijala – 10%,
- kamate na vezana sredstva – 8%,
- oštećenja, starenja i sl. – 5%, i
- troškovi skladištenja do 4%.

Intenzitet zahteva za rezervnim delovima zavisi od godišnje potrošnje rezervnih delova. Godišnja potrošnja rezervnih delova za razne mašine najbolje se određuje pomoću ABC dijagrama tj. po Pareto zakonu (slika 3.).



Slika 3. ABC dijagram potrošnje rezervnih delova. (\*8)

Prema ABC metodi, prihvata se princip da oko 10% sastavnih delova mašine čini godišnju potrebu za rezervnim delovima u iznosu od 70% od ukupnih potreba za rezervnim delovima (tačka A). Sledećih 30% sastavnih delova mašine čini godišnju potrebu za rezervnim delovima u iznosu od 20% (tačka B), dok poslednjih 60% sastavnih delova mašine čini svega 10% od godišnjih potreba za rezervnim delovima (tačka C). Iz ovoga proizilazi da veliki broj sastavnih delova mašina ima vrlo malu godišnju potrošnju, dok jedan mali broj sastavnih delova apsorbuje najveći deo ukupne godišnje potrošnje rezervnih delova.

Potrebe za rezervnim delovima utvrđuju se pomoću minimalnih i maksimalnih zaliha (slika 4.).

Minimalna zaliha rezervnih delova određena je sledećim izrazom: (\*9)

$$Q_{\min} = 0.4 \cdot \frac{t_i \cdot Z \cdot q}{t_t} \text{ [kom]}$$

gde je:

$Q_{\min}$  [kom] – minimalna zaliha jednog rezervnog dela,

$Z$  [kom] – broj sredstava gde je ugrađen dati (rezervni) deo,

$q$  [kom] – broj datih (rezervnih) delova u mašini,

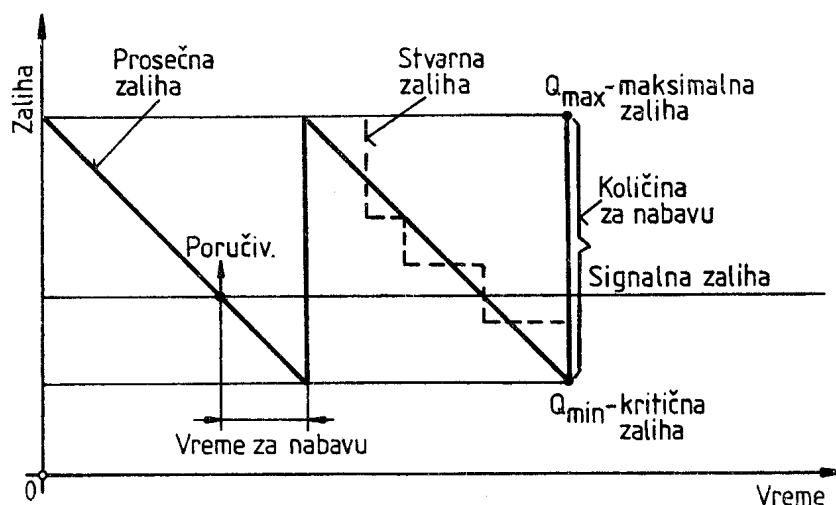
$t_i$  [h] – vreme potrebno za obezbeđenje rezervnog dela (izrada ili kupovina),

$t_t$  [h] – radni vek mašine.

Maksimalna količina zaliha rezervnih delova  $Q_{\max}$  se dobija kada se minimalnoj zalihi doda optimalna količina nabavke rezervnih delova  $Q_n$  (videti modele upravljanja zalihama): (\*10)

$$Q_{\max} = Q_{\min} + Q_n \text{ [kom]}$$

Zaliha rezervnih delova pri kojoj se vrši naručivanje rezervnih delova zove se signalna zaliha. Signalna zaliha je određena vremenom potrebnim za nabavku i intenzitetom potrošnje rezervnih delova. (\*11)



Slika 4. Dijagram zaliha rezervnih delova. (\*\*12)

Planiranje a u sklopu njega i upravljanje zalihama rezervnih delova predstavlja značajnu oblast, s obzirom da držanje rezervnih delova na zalihama blokira velika finansijska sredstva. Koje delove i u kojim količinama i kada držati kao rezervne na skladištima, složeno je pitanje i vezano je za politiku godišnje nabavke rezervnih delova. Određivanje ove količine je složeno jer u sebi uključuje i problem optimizacije zaliha.

Planiranje tj. optimizacija zaliha rezervnih delova zavisi od više faktora i to: (\*13)

- Broj mašina i njihova tipizacija. Ako je više raznovrsnih mašina, a ima ih dosta po broju, onda na skladištu mora biti više pozicija.
- Broj pozicija u mašinama i intenzitet trošenja.
- Važnost opreme u tehnološkom procesu, kao i važnost pojedinih sastavnih delova za mašinu i njenu tehničko-tehnološku funkcionalnost.
- Gubici u proizvodnji zbog zastoja koji je nastao usled nedostatka rezervnih delova.
- Vreme potrebno za nabavku ili izradu rezervnog dela.
- Da li je to deo koji se može nabaviti u trgovačkoj mreži ili se mora posebno naručiti kod specijalizovanih proizvođača.

## **UPRAVLJANJE ZALIHAMA**

### **Pojam zaliha**

Praćenje zaliha je problem sa kojim se sreće svako preduzeće u bilo kom sektoru privrede. Velika materijalna obrtna sredstva se nalaze zarobljena u zalihama. Jedan od glavnih razloga za držanje zaliha je isporuka robe upravo u trenutku kada se ukaže potreba za njom.

Postoje dve vrste zaliha: tržišne i proizvodne. Tržišne zalihe treba da zadovolje tražnju kupaca a proizvodne zalihe treba da obezbede nesmetanu proizvodnju (sirovine, repromaterijal, delovi iz kooperacije, polufabrikati, itd.). Zalihe se čuvaju u skladištima.

Nemoguće je dati jedinstvenu interpretaciju svih kategorija zaliha, jer se pojedine od njih toliko razlikuju da bi bilo iluzorno tražiti opšte važeća rešenja.

Proizvodi koji se skladište razlikuju se međusobom po: vrednosti, fizičkim svojstvima, po kvarljivosti robe, uslovima potrebnim za njihovo skladištenje itd. Pored toga što vezuje kapital i prostor, roba na zalihama u skladištu može da zastari, da se smanji (ispari) i da joj opadne kvalitet.

Osnovno pitanje koje se postavlja u sistemima zaliha fizičke robe je: kada obnoviti zalihe i koliko pri tom naručiti robe.

Usled stohastičke prirode tražnje može doći do situacije da u sistemu nedostaje zaliha, ili da su zalihe nekog proizvoda veoma velike.

- velike zalihe mogu nastati iz razloga da se ekonomično mogu nabaviti samo velike količine proizvoda koji se troši (prodaje) u malim količinama ili usled pada tražnje za datim proizvodom.
- u slučaju nedostatka zaliha postoje dve mogućnosti:
  1. potencijalni kupac robu može da nabavi na drugoj strani.
  2. tražnja se naknadno podmiruje kad se u sistemu stvore dovoljne zalihe.

Bitan faktor koji utiče na upravljanje zalihama je to da buduće potrebe pojedinih proizvoda nisu tačno poznate. Potrebne zalihe treba prognozirati. Prognoze se mogu zasnivati na podacima iz prošlosti, narudžbinama, analizi tržišta itd. Potrebno je razmatrati svaki pojedinačni slučaj zaliha posebno.

Ako su stvarne potrebe manje od prognoziranih postoji rizik od zastarevanja proizvoda, što dovodi do velikih gubitaka, a ako su potrebe veće od prognoziranih smanjuje se stepen snabdevenosti. Veća količina zaliha dovodi do povećanja stepena snabdevenosti ali i do povećanja troškova (angažovana sredstva, kamate, troškovi skladišnog prostora, magacioneri, osiguranje itd.).

### **Troškovi upravljanja zalihama**

Upravljanje zalihama se sastoji u usklađivanju međusobno suprotnih težnji za većom snabdevenošću i nižim troškovima.

Da bi mogla da se izvrši matematička analiza sistema upravljanja zalihama neophodno je definisati matematički model tog sistema. Pošto je nemoguće matematički predstaviti realni sistema sa potpunom tačnošću uvode se izvesne aproksimacije koje omogućuju lakšu matematičku formulaciju modela uz tačnost koja zadovoljava praktičnu primenu.

Matematički model sistema upravljanja zalihama karakteriše se funkcijom cilja i skupom ograničenja. Najčešće je funkcija cilja minimizacija troškova uz poštovanje ograničenja: potražnje, mogućnosti popune zaliha, strategije upravljanja zalihama itd.

**Optimalno upravljanje zalihama pomoću uprošćenih matematičkih modela sastoji se u rešavanju sledeća dva zadatka:**

1. Odrediti ukupnu potražnju u određenom vremenskom periodu, ako su fiksna vremena u kojima se dostavljaju zahtevi (potražnja),
2. Odrediti ukupnu potražnju kao i vremena kada se postavljaju zahtevi za potražnjom.

Optimalno rešenje podrazumeva rešenje za koje su ukupni troškovi upravljanja zalihama minimalni. Priroda ovih troškova je sledeća: (\*14)

- Troškovi koji se odnose na organizaciju upravljanja zalihama (određivanje broja i količine za popunjavanje zaliha),
- Troškovi skladištenja po jedinici proizvoda koji se čuva na zalihama – ukupni troškovi skladištenja zaliha,
- Troškovi usled trošenja zaliha (manipulativni troškovi, itd.).

Klasifikacija modela upravljanja zalihama po osnovu određenosti potražnje data je u tabeli 1.

tabela 1. Klasifikacija modela upravljanja zalihama. (\*15)

Zalihe	Konstantna potražnja (deterministički modeli)	Nedostatak artikala (rezervnih delova) nije dopustiv – potražnja jednaka zalihama
		Nedostatak artikala (rezervnih delova) je dopustiv – potražnja veća od zaliha
	Stohastička potražnja (stohastički modeli)	Potražnja definisana diskretnom raspodelom verovatnoća
		Potražnja definisana kontinualnom raspodelom verovatnoća
	Nepoznata potražnja	

## DETERMINISTIČKI MODELI UPRAVLJANJA ZALIHAMA

**Model upravljanja zalihama sa konstantnom potražnjom – potražnja je jednaka zalihama (\*\*19)**

Model upravljanja zalihama sa konstantnom potražnjom artikala, kada je potražnja jednaka zalihama, karakteriše sledeće: (slika 5.) (\*16)

- Potražnja je konstantna i poznata tokom vremenskog perioda  $T$ ,
- Nedostatak artikala nije dopustiv (nema hitnih, naknadnih ili interventnih nabavki),
- Celokupna količina artikala  $A$ , potrebna za ceo vremenski period  $T$ , naručuje se odjedanput,
- Ne postoji početni odnosno završni nivo zaliha za vremenski period  $T$ ,
- Troškovi skladištenja po jedinici artikala i jedinici vremena su poznati ( $C_1$ ),
- Troškovi jedne pošiljke (isporuke) tj. vrednost artikala + troškovi nabavke ( $C$ ).

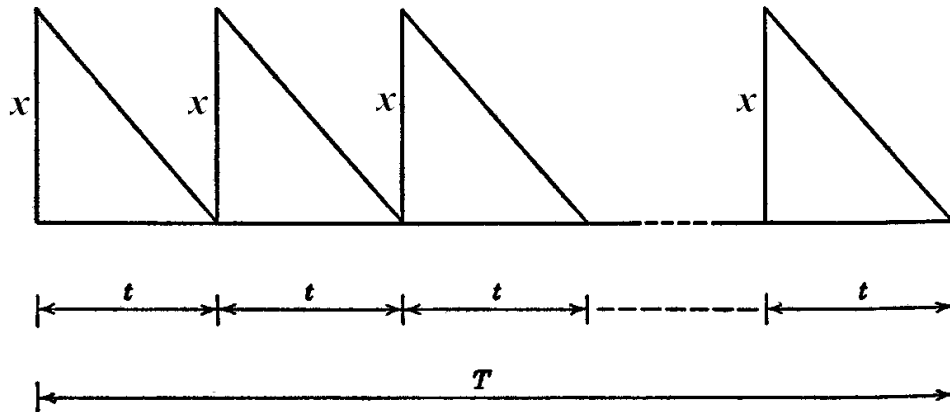
Ukupan broj intervala dužine  $t$  (broj isporuka) u vremenskom periodu  $T$  je  $n$ . Odakle sledi:

$$T = n \cdot t,$$



Nepoznata količina artikala na početku svakog novog intervala vremena  $t$  označava se sa  $x$ . Sa druge strane  $n$  se može odrediti na osnovu sledećeg izraza:

$$n = \frac{A}{x}.$$



Slika 5. Model zaliha sa konstantnom potražnjom – potražnja jednaka zaliham. (\*17)

Kombinacijom prethodna dva izraza dobija se:

$$t = \frac{T}{n} = \frac{T}{A} \cdot x.$$

Svaki interval dužine  $t$  počinje kada je na skladištu količina od  $x$  – artikala a završava se kada je  $x=0$ , to je srednja količina zaliha u toku vremenskog intervala  $t$  jednaka  $\frac{x}{2}$ .

Uzimajući u obzir predhodno izneto, troškovi čuvanja zaliha za jedan vremenski interval dužine  $t$  su:

$$\frac{x}{2} \cdot C_1 \cdot t,$$

dok su ukupni troškovi čuvanja zaliha za vremenski interval dužine  $t$ :

$$\frac{C_1 \cdot t}{2} \cdot x + C,$$

gde su:  $C_1$  - cena skladištenja jedinice artikla u jedinici vremena i  $C$  – troškovi jedne pošiljke (isporuke) tj. vrednost artikala + troškovi nabavke.

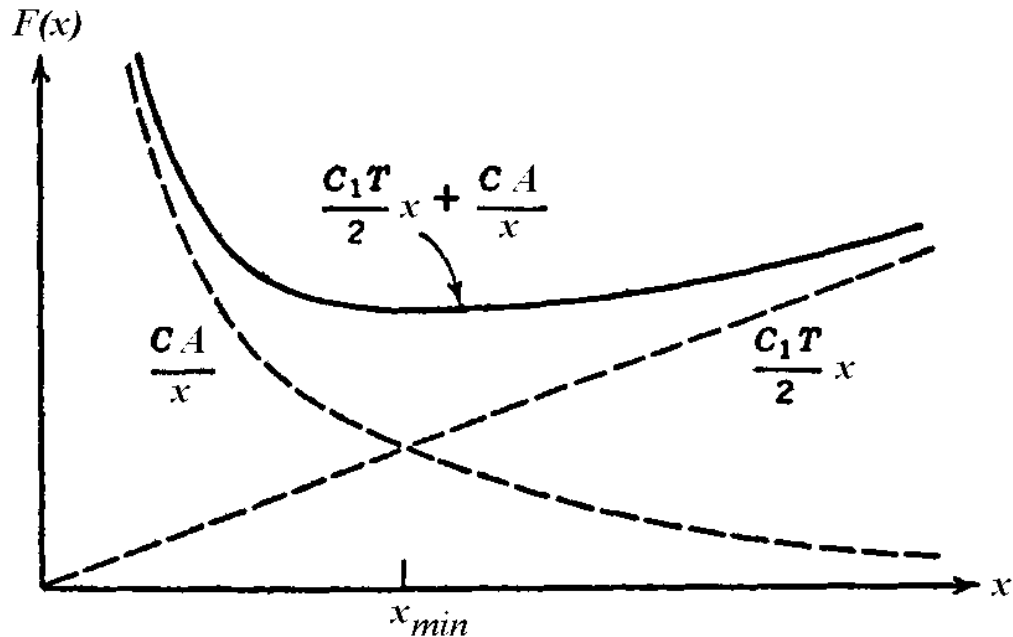
Ukupni troškovi čuvanja zaliha (svih porudžbina) za ceo vremenski period  $T$  iznose: (funkcija ukupnih troškova) (\*18)

$$F(x) = \left( \frac{C_1 \cdot t}{2} \cdot x + C \right) \cdot n = \left( \frac{C_1}{2} \cdot \frac{T}{A} \cdot x^2 + C \right) \cdot \frac{A}{x} = \frac{C_1 \cdot T}{2} \cdot x + \frac{C \cdot A}{x}.$$

Zavisnost troškova od  $x$  (nepoznata količina artikala na početku svakog novog intervala vremena  $t$ ), prikazana je na dijagramu na slici 6.

Optimalna veličina jedne porudžbine (isporuke, količina artikala na početku svakog novog intervala vremena  $t$ ) dobija se nalaženjem i izjednačavanjem sa nulom prvog izvoda prethodnog izraza:

$$F'(x) = \frac{C_1 \cdot T}{2} - \frac{C \cdot A}{x^2} = 0 \rightarrow x = x^* = \sqrt{2 \cdot \frac{A \cdot C}{T \cdot C_1}}.$$



Slika 6. Funkcija ukupnih troškova. (\*18)

Da za vrednost  $x^*$  funkcija ukupnih troškova  $F(x)$  postiže minimum, pokazuje drugi izvod funkcije ukupnih troškova koji je za svaku fizički realnu vrednost  $x$  veće od nula:

$$F''(x) = \frac{2 \cdot C \cdot A}{x^3} > 0.$$

Ostale optimalne vrednosti dobijaju se zamenom izraza za  $x^*$  u odgovarajuće izraze kao:

$$n = n^* = \frac{A}{x^*} = \sqrt{\frac{A \cdot T \cdot C_1}{2 \cdot C}} - \text{optimalni broj isporuka,}$$

$$t = t^* = \frac{T}{A} \cdot x^* = \sqrt{2 \cdot \frac{T \cdot C}{A \cdot C_1}} - \text{optimalni vremenski interval između isporuka,}$$

$$F(x) = F(x^*) = \frac{C_1 \cdot T}{2} \cdot x^* + \frac{C \cdot A}{x^*} = \sqrt{2 \cdot A \cdot T \cdot C_1 \cdot C} - \text{optimalna (minimalna) vrednost ukupnih troškova.}$$

**PITANJA:**

1. Ukupni troškovi održavanja.
2. Zavisnost ukupnih troškova održavanja od intenziteta održavanja.
3. Pokazatelji ekonomičnosti aktivnosti održavanja.
4. Struktura troškova održavanja (min. 3).
5. Mogućnosti smanjenja troškova rezervnih delova.
6. Podela rezervnih delova.
7. Delatnost obezbeđivanja rezervnih delova.
8. Godišnja potrošnja rezervnih delova – ABC dijagram.
9. Određivanje minimalne zalihe rezervnih delova.
10. Određivanje maksimalne količine zaliha rezervnih delova.
11. Signalna zaliha rezervnih delova.
12. **Dijagram zaliha rezervnih delova.**
13. Faktori koji utiču na optimizaciju zaliha (min. 4).
14. Troškovi upravljanja zalihama.
15. Klasifikacija modela upravljanja zalihama.
16. Karakteristike Modela upravljanja zalihama sa konstantnom potražnjom artikala kada je potražnja jednaka zalihama.
17. Dijagram Modela zaliha sa konstantnom potražnjom – potražnja jednaka zalihama.
18. Funkcija ukupnih troškova (izraz+dijagram) Modela zaliha sa konstantnom potražnjom – potražnja jednaka zalihama.
19. **Model upravljanja zalihama sa konstantnom potražnjom – potražnja jednaka zalihama.**