

imperfektosti tržišta radne snage, prvenstveno ograničavanja mogućnosti učlanjenja u zadruga od strane članova, nego što su rezultat rada. Međutim, čak i nečlanovi (sezonski radnici) zarađuju skoro dvostruko više od najniže plaćenih radnika u peruanskoj poljoprivredi. Treba napomenuti da je prosečan dohodak članova zadruga (uključujući tu i poljske radnike) daleko iznad prosečnog dohotka i u industrijskom sektoru.

U zaključku autor vrednuje performanse zadruga, prvo, u odnosu na njihovu kapitalističku alternativu koja je postojala pre 1969, a zatim u odnosu na ciljeve koje je postavila revolucionarna vojna vlada.

U odnosu na svog kapitalističkog »blizanca« kooperative su u posmatranom periodu:

— znatno povećale proizvodnju; no, teško je precizno identifikovati izvore ovog poboljšanja;

— neznatno povećale zaposlenost, što se može pripisati investicionom ponašanju zadruga: vladajući princip samofinansiranja imao je za posledicu supstituciju rada kapitalom;

— ostvarile rekordnu proizvodnju (prouzrokovanu između ostalog i povoljnijim klimatskim uslovima od 1970. do 1972), što je, uz minimalno zapošljavanje, rezultiralo u visokoj produktivnosti rada;

— redistribucijom profita koje je uživalo nekoliko porodica latifundista u korist radnika zaposlenih u zadrugama, ostvarena je pravednija raspodela dohotka.

Međutim, unutar zadruga i između zadruga (što je rezultat zanemarivanja doprinosa dohotku ostalih faktora proizvodnje različitih od dohotka prilikom određivanja ličnih dohodaka) rasponi su se povećali tako da jedan od ciljeva koje je postavila revolucionarna vojna vlada — ujednačenje raspodele dohotka — nije u potpunosti ostvaren. Ni drugi cilj revolucionarne vlade — znatno povećanje zaposlenosti — takođe nije realizovan. Treći cilj — razumna stopa rasta proizvodnje — u posmatranom razdoblju je ostvaren.

Na kraju, autor predlaže određena organizaciona poboljšanja (npr. uključivanje i sezonskih radnika u zadržno članstvo) i mere ekonomske politike (pre svega adekvatnije oporezivanje pojedinih faktora proizvodnje), što treba da otkloni postojeće nedostatke u funkcionisanju zadruga i učini njihov rad efikasnijim, a to bi doprinelo i bržem ostvarenju željenih promena u peruanskoj privredi i društvu.

## EKONOMIJA OBIMA U TERMoeLEKTRANAMA ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA SFRJ\*

Davorin RAPP

### 1. Uvod

U osnovi ovog rada sadržana je namera, odnosno pokušaj da se jednom od egzaktnih metoda utvrde efekti ekonomije obima u oblasti proizvodnje električne energije u termoelektranama. Radi toga ovde je primenjen model proizvodnje koji pokazuje zavisnost troškova proizvodnje (utroška goriva) od veličine i stepena iskorišćenja kapaciteta u termoelektranama.

Treba napomenuti da je nedostatak potrebnih informacija, a takođe i relativno težak pristup postojećim informacijama potrebnim za analizu ovakve vrste, bio osnovni uzrok što i neke druge relevantne zavisnosti nisu ovde analizirane.

Pored toga, da bi se što realnije i egzaktnije izveli zaključci o efektima ekonomije obima (što je primarni zadatak ovog rada) bilo je neophodno isključiti iz analize efekte koje proizvodi tehnološki progres, što je na odgovarajući način i učinjeno. U tom smislu, svi proizvodni kapaciteti termoelektrana klasificirani su po kriterijumu tehnološkog nivoa na taj način što su grupisani u grupe prema približno istim godištim puštanja u eksploataciju, a onda su za svaku takvu grupu analizirani efekti ekonomije obima.

Takođe, analize sprovedene u ovom radu zahvataju samo proces proizvodnje, ali ne i procese distribucije i prenosa i eventualne efekte ekonomije obima u tim procesima.

### 2. Proizvodna funkcija i ekonomija obima preduzeća

Teorija proizvodnje bazira na proizvodnoj funkciji koja predstavlja analitički izraz količine proizvoda kao funkcije proizvodnih uložaka, odnosno faktora proizvodnje. Ona uvek odražava određeni nivo tehnologije pri kojoj se faktori proizvodnje koriste na najefikasniji način pri ostvarenju maksimalno moguće količine proizvoda.

\* Izvod iz magistarskog rada branjenog pod rukovodstvom prof. dr B. Horvata u Poslediplomskoj školi Instituta ekonomskih nauka u Beogradu 12. jula 1974. god.

Funkcionalna zavisnost između količine proizvoda  $Y$  i utrošaka kapitala  $K$  i  $n$  nenegativnih varijabilnih utrošaka  $X_i$ ;  $i = 1, 2, \dots, n$  prikazana je u opštem izrazu (2.1).

$$Y = f(K, X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (2.1)$$

Domen primene proizvodne funkcije (2.1) može biti pogon, preduzeće, grana ili celokupna privreda jedne zemlje. Ovde će proizvodna funkcija biti primenjena na nivou preduzeća.

Jedna željena količina proizvoda  $Y$  može se ostvariti angažovanjem različitog broja mašina (predstavljene jedinicama kapitala u funkciji 2.1) bilo da su one različite po veličini kapaciteta ili su iste po veličini, ali se njihovi kapaciteti različito koriste. To znači, da se jedan specifičan proizvod u određenom periodu vremena može proizvesti na skupu mašina određenog preduzeća koje se međusobno razlikuju po veličini kapaciteta i koje sve zajedno ne moraju raditi punim kapacitetom u posmatranom periodu vremena.

Osim po veličini kapaciteta, mašine razlikujemo i po godini kada su proizvedene ili godini kada su ušle u pogon (proizvodnju), tj. prema tehnološkom progresu opredmećenom u toj mašini. Te tri dimenzije kapitala: veličina, stepen iskorišćenja kapaciteta i godina proizvodnje mašine u ovom radu će biti uvek prisutne pri definisanju kapitala u proizvodnoj funkciji oblika (2.1).

Da se izbegne merenje heterogenog kapitala razmatraju se preduzeća koja proizvode homogen proizvod na identičnim jedinicama kapitala koje su uslovno nazvane »mašine«. Da bi se na mašini proizveo gotov proizvod, ona koristi utrošak rada i druge varijabilne utroške. Svaka mašina se karakteriše merom kapaciteta, tj. maksimalno mogućom proizvodnjom koja se može dobiti pomoću mašine u jedinici vremena i nazvana je »veličina mašine«.

Kada je mašina jednom instalirana, onda su supstitucione mogućnosti između faktora proizvodnje date sa proizvodnom funkcijom koja za  $i$ -tu mašinu glasi:

$$Y_i = f_i(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (2.2)$$

gde je  $Y_i$  maksimalno moguć proizvod koji je proistekao iz  $n$  varijabilnih utrošaka  $X_i$ ;  $i = 1, 2, \dots, n$  na  $i$ -toj mašini u određenom periodu (sat, dan, godina).

Proizvodna funkcija (2.2) ima slične osobine kao funkcija (2.1) koja je uključivala kapital kao varijabilni utrošak s tim što se eksplicitno mora uvesti ograničenje kapaciteta.

Ekonomija obima se javlja kada pri porastu ukupne proizvodnje dolazi do smanjivanja prosečnih troškova faktora proizvodnje. Ako se utvrdi, kao što se često smatra, da su efikasnija, sa ekonomskog stanovišta, velika preduzeća, odnosno da je rentabilnija proizvodnja u velikim količinama, tada bi proporcionalnom povećanju utrošaka odgovarao više nego proporcionalni porast proizvodnje. Ta pojava je u eko-

nomskoj teoriji nazvana ekonomija obima, nasuprot disekonomiji obima, gde povećanje utrošaka faktora proizvodnje rezultira u manje nego proporcionalnom povećanju proizvodnje.

Za proučavanje ekonomije i disekonomije obima, kao veoma pogodno analitičko sredstvo, služe homogene proizvodne funkcije koje pokazuju za koliko se puta povećao proizvod na osnovu određenog povećanja količine utrošaka. Za proizvodnu funkciju se kaže da je stepena homogeniteta  $k$  ako zadovoljava sledeću relaciju:

$$f(\mu X_1, \mu X_2, \dots, \mu X_n) = \mu^k f(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (2.3)$$

gde će stepen homogenosti  $k$  biti pokazatelj ekonomije, odnosno disekonomije obima. Ovaj pristup utvrđivanju ekonomije obima govori da postoji ekonomija obima, odnosno rastući prinosi od obima kada, na primer, udvostručenju količine utrošaka odgovara više nego dvostruko povećanje proizvodnje, tj. kada je stepen homogenosti veći od jedinice,  $k > 1$ . Ako je  $k = 1$  proporcionalni porast ili smanjenje količine utrošaka rezultira u menjanju proizvodnje u istom pravcu i za isti procenat. Za takav slučaj se kaže da postoje konstantni prinosi od obima. I konačno, u slučaju disekonomije, odnosno opadajućih prinosa od obima, koeficijent homogenosti je manji od jedinice,  $k < 1$ .

»Ekonomija obima može biti interna, ograničena na izolirani proizvodni proces, ili eksterna uključivanjem svih indirektnih efekata na privredu u celini. Eksterne ekonomije (ili disekonomije) dosta je teško formalno analizirati ...«<sup>1)</sup> Domen ove analize je merenje interne ekonomije obima.

Ako analogni analitički aparat bude upotrebljen na razmatranje ekonomije obima na nivou preduzeća, odnosno skupu mašina, onda ta ekonomija obima može biti nazvana i ekonomija kapaciteta. Može se govoriti o rastućim, konstantnim ili opadajućim prinosima od obima, u odnosu na iskorišćenje kapaciteta  $i$ -te mašine, kada je stepen homogenosti  $k$  u relaciji.

$$f_i(\mu X_1, \mu X_2, \dots, \mu X_n) = \mu^k f_i(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (2.4)$$

veći, jednak ili manji od jedinice.

Proizvodna funkcija na desnoj strani izraza (2.4) je funkcija iz izraza (2.2). Faktor proporcionalnosti  $\mu$  na levoj strani izraza (2.4) ograničen je tehničkim osobinama mašine.

### 3. Formiranje modela za ocenu funkcije termoelektrana

Pogon termoelektrana može biti sastavljen od mašina raznih veličina i godina puštanja u rad, mada su u nekim slučajevima ujednačene veličine i godine puštanja u rad za sve mašine u pogonu. Za posmatranje su izabrane termoelektrane elektroenergetskog sistema Jugoslavije i na njima će biti izvršena empirička primena ideja iz-

<sup>1)</sup> B. Horvat, *Ekonomska analiza I — Proizvodnja i tehnološki progres*, Institut ekonomskih nauka — Oeconomika, Beograd, 1970, 28.

raženih u prvoj glavi. Termoelektrana se posmatra kao pogon u kojem se proizvodi homogen proizvod koji se odmah isporučuje potrošačima električne energije na raznovrsnim mašinama (blokovima) različite veličine i godina puštanja u rad.

Mašine su turbine-generatori sa njihovim pripadajućim sistemom kotlova i ostale pomoćne opreme. Pretpostavlja se da je sa instaliranjem turbine-generatora istovremeno instalirana odgovarajuća oprema i sistem kotlova, te da je izvršeno potrebno međusobno podešavanje kotlova, opreme i turbine-generatora kako po obimu tako i po tehnologiji. Time se obezbeđuje da promene u obimu budu poistovećene sa promenama u veličini mašine.

Kada su mašine u pogonu jednom instalirane one koriste razne utroške varijabilnih faktora proizvodnje: gorivo, rad, vodu itd. da bi se proizvela električna energija. Varijabilni troškovi zavise u najvećoj meri od potrošnje goriva. Potrošnja goriva zavisi od proizvodnje, a ovde će ona biti posmatrana preko specifičnog utroška toplote po jedinici proizvodnje. Iz tog razloga gorivo je posmatrano kao jedini varijabilni utrošak u funkciji proizvodnje.

Zavisno od tipa i vrste mašine, ona može da koristi samo jednu vrstu goriva ili je građena za korišćenje i više vrsta goriva (razna kruta goriva i tekuće gorivo).

U tehničkim podacima svake mašine nalazi se i podatak koji označava njenu maksimalnu snagu merenu u MW što predstavlja veličinu mašine. Ta maksimalna snaga nazvana je i »snaga na generatoru«. Ako se uzme u obzir vlastita potrošnja, po pretpostavci da iznosi 8%, te da 15% snage mašine služi kao rezerva, dobija se druga mera kapaciteta mašine nazvana »snaga na pragu«. Maksimalno moguća proizvodnja mašine na pragu dobija se množenjem raspoložive snage na pragu s brojem časova u godini (8760 časova). Zbog neujednačenog izračunavanja raspoložive snage na pragu, snaga na generatoru ostaje kao jedini stabilan podatak za dobijanje mere fizičkog kapaciteta i ona će biti upotrebljena u ovom radu.

Pri formiranju modela potrebno je razmotriti raspoložive podatke i mogućnost njihove primene u postupku ocenjivanja modela, vodeći računa da u model ne uđu one varijable za koje se ne mogu prikupiti podaci iz postojećih statistika. Formiranje modela omogućuje određivanje mera za iskorišćenje kapaciteta i utrošak goriva iz podataka koji su prezentirani u publikacijama Zajednice jugoslovenske elektroprivrede.

Kao što je već napomenuto, gorivo se posmatra kao jedini varijabilni utrošak koji koristi određena mašina pri proizvodnji električne energije. Svaka mašina poseduje neku maksimalnu snagu (snaga na generatoru); odnosno maksimalni kapacitet  $K_m$ . Otuda maksimalno moguća proizvodnja u jedinici vremena  $dt$  je  $K_m dt$ . Mašine retko kad rade sa punim kapacitetom, tj. korišćenjem njihovog maksimalno mogućeg kapaciteta nego sa nekim promenljivim kapacitetom  $K_t$ , pa je stvarna proizvodnja u vremenu  $dt$  jednaka  $K_t dt$ . Mašine instalisane u

termoelektranama ne mogu da rade sa snagom koja je blizu nule zbog njihovih tehničkih osobina, tako da za svaku mašinu postoji njen takozvani tehnički minimum  $K_{min}$ . Kapacitet mašine u toku rada može da se kreće u sledećim granicama:  $K_{min} \leq K_t \leq K_m$ .

Utrošak goriva se izražava kao ostvarena specifična potrošnja toplote u  $Kcal/kWh$  i nije konstantna, već je funkcija, na osnovu njenih tehničkih osobina, veličine i stepena iskorišćenja kapaciteta. Ako se utrošak goriva kao specifična potrošnja toplote označi sa  $q$ , onda se ta zavisnost može izraziti funkcijom:

$$q = f(K_t/K_m, K_m) \quad (3.1)$$

gde je  $K_t/K_m$  stepen iskorišćenja kapaciteta mašine u jedinici vremena. Specifična potrošnja toplote (goriva) takođe zavisi i od godine kada je mašina puštena u rad. U ovoj analizi neće se posmatrati uticaj tehnološkog progressa i on će biti eliminisan klasificiranjem termoelektrana prema godinama kada su mašine puštene u rad.

Ako sa  $Y = \omega(K_t/K_m, K_m)$  označimo proizvodnu funkciju, pri čemu je obim proizvodnje funkcija iskorišćenja kapaciteta, pri postojećoj veličini kapaciteta, a sa  $q = \varphi(Y)$  odgovarajuću funkciju troškova, onda se posredno može izvesti da je

$$q = \varphi[\omega(K_t/K_m, K_m)] = f(K_t/K_m, K_m)$$

Prema tome, funkcija (3.1) implicitno sadrži vezu između troškove i proizvodnje, gde umesto obima proizvodnje eksplicitno figurišu argumenti iz proizvodne funkcije, iskazani preko iskorišćenih kapaciteta. Znači da se ova funkcija u daljim razmatranjima može tretirati kao funkcija troškova, i to u ovom slučaju, utrošaka goriva.

Normalno je da funkcija prosečnih troškova najpre opada, dostiže minimum i posle toga raste, što odgovarajućoj krivulji daje dobro poznati oblik latinskog slova U. Međutim, za slučaj termoelektrana pre bi se moglo reći da funkcija prosečnih troškova ima oblik latinskog slova L, pa, prema tome, njena prva i druga derivacija po varijabli stepena iskorišćenja kapaciteta zadovoljavaju sledeće uslove:

$$\frac{\partial f}{\partial (K_t/K_m)} < 0 \quad \text{i} \quad \frac{\partial^2 f}{\partial (K_t/K_m)^2} > 0 \quad (3.2)$$

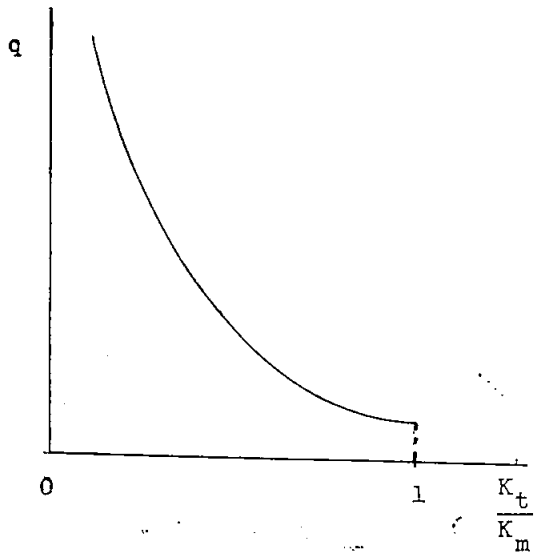
što daje oblik ove funkcije prikazan na slici 3.1.

Iz slike je vidljivo da će specifična potrošnja toplote opadati sa povećanjem stepena iskorišćenja kapaciteta mašine.

U toku eksploatacije mašina se može nalaziti u tri različita stanja, i to:

1. Hladna rezerva
2. Topla rezerva, i
3. Pod opterećenjem.

Za mašinu se kaže da je u hladnoj rezervi kada nije pod parom, ali je ispravna i spremna za proizvodnju. U tom stanju mašina ne troši gorivo. Da se mašina iz toga stanja dovede u stanje da proizvodi električnu energiju moraju se potpaliti kotlovi i zagrijati voda do određene temperature. To znači, da je potrebno izvesno vreme pre početka proizvodnje.



Slika 3.1

Kada se mašina nalazi u toploj rezervi kotlovi se moraju održavati parospremni (drže se pod vatrom), postoji neka potrošnja goriva koja se kreće negde oko 1% potrošnje pod punim opterećenjem, turbine ne rade, mada postoji neko pokretanje i ne proizvodi se električna energija. Ovo stanje je karakteristično za fleksibilne termoelektrane koje su pogodne za uslove neravnomernog opterećenja u svim časovima tokom dana. Termoelektrane koje imaju visok tehnički minimum ne mogu biti u stanju tople rezerve, jer se zbog svojih tehničkih osobina moraju zaustaviti i ugastiti čim proizvodnja padne ispod tehničkog minimuma.

Kada je mašina pod opterećenjem ona troši gorivo potrebno da se proizvede električna energija. Njeno opterećenje se kreće u granicama tehničkog minimuma i maksimalno dozvoljenog opterećenja.

Od svih nabrojanih stanja za analizu utroška goriva je najznačajnije stanje kada je mašina pod opterećenjem.

Podaci o utrošku goriva prezentirani od strane Zajednice jugoslavenske elektropriivrede dati su za pogone termoelektrane kao celine,

a ne za pojedine mašine koje se nalaze u sklopu te termoelektrane i bez razgraničenja na pojedina stanja eksploatacije, što je onemogućilo egzaktnije merenje iskorišćenja kapaciteta i utroška goriva.

Ukupna proizvodnja mašine u periodu od godine dana, tj. za vreme od 8760 časova ( $T$ ), predstavlja zbir svih proizvodnji u jediničnom vremenskom intervalu.

Na osnovu ovako definisane proizvodnje može se izvući jedna od prihvatljivih mera iskorišćenja kapaciteta kao odnos između ukupne proizvodnje stvarno proizvedene za vreme  $T$  i maksimalno moguće proizvodnje u tom istom vremenu.

Ovaj stepen iskorišćenja kapaciteta je dosta aproksimativan jer uzima u obzir sve časove u godini ne uvažavajući periode kada je pogon termoelektrane bio u hladnoj rezervi ili je termoelektrana bila u kvaru i remontu. Stepenn iskorišćenja kapaciteta izračunat na bazi celog  $T$ -perioda ne uzima u obzir činjenicu da u nekim intervalima tog perioda mašina ne proizvodi električnu energiju i time podcenjuje stvarni stepen iskorišćenja kapaciteta. Do potcenjivanja ne bi dolazilo jedino u onom slučaju kad bi mašina neprekidno radila tokom čitave godine. Takav slučaj u praksi je ne samo veoma redak, nego gotovo i nemoguć jer poznato je da dolazi do obustava rada proizvodnih kapaciteta po različitim osnovama, uglavnom zbog kvara i remonta.

Pri izračunavanju stepena iskorišćenja kapaciteta jedne mašine, a na osnovu raspoloživih podataka za pogone kao celinu, može se koristiti obrazac:

$$\eta = \frac{\text{godišnja proizvodnja na generatoru}}{\text{časovi u godini} \times \text{instalirana snaga}} \quad (3.3)$$

Uzorak je izabran tako da su sve mašine u pogonu iste veličine i iste godine puštanja u rad. Za takve pogone se može pretpostaviti da svaka mašina radi pod opterećenjem podjednak broj časova u godini (izbalansirano opterećenje pogona), pre nego za pogone koji su sastavljeni od različitih mašina, kako po veličini tako i po godinama puštanja u rad, jer će se u takvim pogonima starije i manje mašine obično koristiti samo za pokrivanje proizvodnje pri vršnom opterećenju. Na osnovu pretpostavke za pogone sastavljene od istovrednih mašina dobija se obrazac po kome je izračunat stepen iskorišćenja kapaciteta, jedne od potrebnih varijabli za ocenu funkcije troškova (3.1):

$$\eta^* = \frac{\text{godišnja proizvodnja na generatoru}}{\text{časovi u godini} \times \text{broj mašina} \times \text{kapacitet jedne mašine}} \quad (3.4)$$

Za tako izračunat  $\eta^*$  po obrascu (3.4) učinjene su pretpostavke da svaka mašina proizvodi za  $T = 8760$  časova istu proizvodnju i da je čitavo to vreme pod opterećenjem. Ta druga pretpostavka nije real-

na, što dovodi do potcunjivanja stepena iskorišćenja kapaciteta. Učinjene pretpostavke su verovatnije za pogone sastavljene od mašina iste veličine i godine puštanja u rad, kao što je to učinjeno u uzorku.

Objavljeni sastatistički podaci kao meru utroška goriva daju jedino ostvarenu specifičnu potrošnju toplote merenu u  $Kcal/kWh$ , izračunate na bazi ukupnog utroška toplote i ukupne godišnje proizvodnje termoelektrane po obrascu:

$$q_u = \frac{Q_u}{P} \quad (3.5)$$

gde  $Q_u$  predstavlja ukupni utrošak toplote u  $Kcal$ , a  $P$  je proizvedena električna energija u godini dana u  $kWh$ . Izraz (3.5) pokazuje ukupni specifični utrošak toplote termoelektrane, odnosno svih mašina u toku godine kada je termoelektrana bila u pogonu.

Teoretsko merenje specifične potrošnje toplote jedne mašine može se izraziti obrascem:

$$q = \frac{\sum_{i=1}^T Q_i}{\sum_{i=1}^T K_i} \quad (3.6)$$

Varijabla  $q$  može da se nazove i tehnička specifična potrošnja toplote i ona pokazuje utrošak goriva izraženog u  $Kcal$  po jedinici proizvedene električne energije na mašini za vreme kada je bila u radu pod opterećenjem.  $Q_i$  i  $K_i$  su utrošak goriva i proizvodnja u  $t$ -tom času, respektivno.

Za čitavu termoelektranu čiji je pogon sastavljen od  $M$  različitih mašina specifični utrošak toplote potrebne za proizvodnju električne energije dat je izrazom:

$$q_u = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{t=1}^T Q_{it}}{\sum_{i=1}^M \sum_{t=1}^T K_{it}} \quad (3.7)$$

gde je  $Q_{it}$  utrošak goriva na  $i$ -toj mašini u  $t$ -tom času, a  $K_{it}$  je proizvedena električna energija  $i$ -te mašine u istom  $t$ -tom času.

Ako se pretpostavi, što je i logično, da mašine u jednoj termoelektrani, ako su iste veličine i iste godine puštanja u rad, imaju iste tehničke osobine, tada i njihove tehničke specifične potrošnje toplote moraju biti iste pri istim uslovima eksploatacije (istom stepenu iskorišćenja kapaciteta). Na osnovu te pretpostavke izraz (3.7) se može napisati u obliku izraza (3.5) i to je traženi obrazac za izračunavanje specifičnog utroška goriva koji se dobija iz raspoloživih podataka.

Učinjene pretpostavke dopuštaju zaključak da mašine imaju iste funkcije troškova s obzirom na potrošnju goriva jer se sve mašine u jednom pogonu podjednako ponašaju.

Treća varijabla u funkciji (3.1), veličina mašine, uzima se izvorno iz raspoloživih podataka za svaku termoelektranu i ne vrše se nikakva preračunavanja.

#### 4. Merenje ekonomije obima

Ideje izložene u ranijim glavama koje su karakteristične za ocenju funkcije troškova termoelektrane potrebno je proveriti pomoću empiričkih podataka. Podaci koji su bili dostupni za proveru postavljenih hipoteza su serije iz publikacija: *Pregled podataka o osnovnim elementima poslovanja proizvodnih i prenosnih preduzeća po završnom računu i Statistički godišnjak elektroprivrede SFRJ*. Obe publikacije izdaje Zajednica jugoslavenske elektroprivrede samo za internu upotrebu počev od 1958. godine i od tada jednom godišnje. To su bili jedini izvori podataka o utrošku goriva i proizvodnji električne energije u termoelektranama. Podaci su prezentirani u naturalnim veličinama i novčanim vrednostima za utrošak goriva, proizvodnju i kapacitet. Sve varijable u funkciji troškova koja se analizira u ovom radu su izražene u naturalnim veličinama, pa se zbog toga nisu koristili podaci koje objavljuje SDK jer su ti podaci iskazani samo u novčanim vrednostima.

Kod izbora termoelektrana koje će sačinjavati uzorak uzet je kriterijum izokapaciteta pogona termoelektrane, tj. da je pogon termoelektrane sastavljen od mašina istog kapaciteta, dok između pogona u uzorku je dozvoljeno variranje u kapacitetu mašina. Osim ovog kriterijuma pošlo se i dalje, pa su sve termoelektrane koje su ušle u uzorak razdeljene na tri grupe prema godini kada su mašine puštene u rad (godina instaliranja mašine). Ta podela, prema godini kada je mašina puštena u rad, prema broju termoelektrana pojedine grupe u uzorku i broju opservacija za svaku grupu, prikazana je u tabeli 4.1.

Kao što je vidljivo, uzorak je prilično mali i u poslednjoj godini posmatranja obuhvatio je svega oko 21% instaliranih kapaciteta termoelektrana i 31% od sveukupne proizvedene električne energije u termoelektranama, što treba imati u vidu pri korišćenju dobijenih rezultata. Termoelektrane koje nisu ušle u uzorak imaju mešovite pogone sa mašinama različitog kapaciteta, jer je tendencija da se u postojeće pogone uvode veće mašine od onih koje su već bile u pogonu.

Tabela 4.1

BROJ TERMoeLEKTRANA I BROJ OPSERVACIJA U UZORKU

Godina puštanja u rad mašine	Broj termoelektrana	Broj opservacije
1955—1960	3	14
1961—1965	3	11
1966—1971	5	15

Razvrstavanjem pogona na grupe prema godini kada je mašina puštena u rad učinjen je pokušaj da se pri oceni funkcije troškova izoliraju efekti tehnološkog progresa opredmećenog u mašinama. Svaka od ove tri grupe imaće svoju funkciju troškova koja će se oceniti iz raspoloživih podataka metodama regresione analize.

Pogoni termoelektrana su uključeni u uzorak od 1958. godine, prve godine posmatranja, odnosno od njihove prve godine punog rada do 1972. godine, poslednje godine posmatranja, odnosno do godine kada je pogonu termoelektrane pridodata mašina različita po kapacitetu od mašina koje su se već nalazile u pogonu ili kada se pridodata mašina nije uklapala u grupu prema godini puštanja u rad. Pogoni su zadržavani u uzorku ako su novoinstalirane mašine bile iste po kapacitetu kao i postojeće i ako je prema svojim karakteristikama pripadala istoj grupi prema godini puštanja u rad.

Objavljeni podaci o elementima poslovanja termoelektrana imaju određenih nedostataka, a to su:

1. Podaci za utroške i proizvodnju su dati za čitavu termoelektranu, a ne za svaku pojedinu mašinu. Podaci o elementima poslovanja jedne mašine indirektno su dati za one termoelektrane čiji pogoni se sastoje od samo jedne mašine.

2. Podaci su dati za ukupnu godišnju potrošnju goriva i ukupnu proizvodnju električne energije, te nije bilo moguće utvrditi trenutne specifične potrošnje goriva.

3. Podatak za utrošak goriva nije u potpunosti reprezentativan. Ugalj potreban za proizvodnju termoelektrane kupuju od ugljenokopa prema kaloričnoj vrednosti, a ne po težinskoj jedinici. Zbog toga postoji mogućnost netačnog iskazivanja stvarne potrošnje goriva, jer ima odstupanja stvarne kalorične vrednosti goriva od računске. To se zatim odražava i na izračunatu specifičnu potrošnju toplote koja se analizira u ovom radu.

4. U objavljenim publikacijama nema podataka o vremenu kada je termoelektrana bila u različitim stanjima u toku eksploatacije. Pokušano je da se ti podaci, koji bi veoma korisno poslužili u analizi, dobiju od dispečerske službe Zajednice jugoslavenske elektroprivrede, ali takve podatke nisu pratili. Tek od 1972. godine dispečerska služba prati podatke o kvarovima i ispadima termoelektrana. Za neku kasniju analizu ti podaci će biti od velike koristi.

U uzorak nisu ušle toplane iako su imale šansu da uđu po postavljanim kriterijumima. One nisu mogle da uđu u uzorak zbog nerazgraničenosti podataka o proizvodnji toplotne i električne energije, s jedne strane, i potrošnji goriva za tu proizvodnju, s druge strane. Po svojim karakteristikama toplane su prevashodno građene za proizvodnju toplotne energije. Proizvodnja električne energije u toplana je sporedna delatnost, koju toplane ispunjavaju u vreme kada nema od strane konzuma potražnje za toplotnom energijom. Podaci o radu toplane su, slično kao i za termoelektrane, dati za godišnju proizvodnju toplotne i električne energije i potrošnju goriva. Nije izvršeno egzaktno razgraničenje potrošnje goriva na deo za proizvod-

nju toplotne energije i deo za proizvodnju električne energije, već se često subjektivno opterećuje proizvodnja električne energije većom količinom utrošenog goriva od stvarno potrebnog, što iskrivljuje sliku o stvarnom ponašanju mašine pri proizvodnji električne energije.

Sve informacije o uzorku koji je izabran prema usvojenim kriterijumima korišćene su iz publikacija Zajednice jugoslavenske elektroprivrede.

Da bi se moglo izvršiti ocenjivanje funkcije troškova definisane u opštem obliku (3.1), potrebno je odrediti analitičku vezu između utroška goriva, veličine mašine i stepena iskorišćenja kapaciteta, varijabli koje određuju i objašnjavaju utrošak goriva. Znači, potrebno je postaviti model.

Model će biti postavljen za jednu mašinu na osnovu godišnjih podataka za termoelektranu kao celinu. Takvo postavljanje modela omogućeno je samim izborom uzorka, jer su izabrane samo one termoelektrane koje imaju pogone sastavljene od mašina iste veličine.

Za  $i$ -tu mašinu koja pripada određenoj grupi prema godini puštanja u rad može se pretpostaviti funkcija troškova sledećeg opšteg oblika:

$$q_i = f \left( \frac{K_{it}}{K_{mi}}, K_{mi} \right) \quad (4.1)$$

gde je  $q_i$  utrošak toplote (goriva) po kWh proizvedene električne energije,  $K_{it}/K_{mi}$  je stepen iskorišćenja kapaciteta u %,  $K_{it}$  je prosečna snaga pri kojoj je mašina radila u toku godine, a  $K_{mi}$  je veličina mašine u MW. Funkcija (4.1) je identična sa funkcijom troškova (3.1) s tom razlikom da se ovde ona odnosi na svaku konkretnu mašinu.

Varijabla  $q_i$  će takođe zavisiti i od godine kada je mašina puštena u rad, odnosno od tehničkog progresa. Tehnološki progres utiče na konstrukciju mašina. Izrađuju se mašine sa savremenijim ložištima, boljim sagorevanjem goriva, boljim sistemom kotlova i pomoćne opreme što dovodi do smanjenja gubitaka toplote i do većeg koeficijenta iskorišćenja pare, a to se sve reflektira na specifičnu potrošnju goriva. To takođe znači da će sve mašine koje su puštene u rad u približno isto vreme i iste su veličine imati identične funkcije.

Uz pretpostavku da su sve mašine u pogonu koje su iste po veličini podjednako opterećene tokom čitave godine (izbalansirana eksploatacija) mogu se koristiti objavljeni podaci za čitavu termoelektranu u oceni funkcije troškova (4.1).

Međuzavisnost između varijabli može se pojavljivati u širokom rasponu mogućih oblika.

Uobičajeno je da se prvo ode od linearne zavisnosti između varijabli, pa bi opšti model koji je primenjen u kvantifikaciji zavisnosti specifične potrošnje goriva od iskorišćenja kapaciteta i veličine mašine mogao imati oblik:

$$q_{it} = \alpha + \beta \left( \frac{K_{it}}{K_{mi}} \right)_t + \gamma (K_{mi})_t + \epsilon_t \quad (4.2)$$

gde  $t$  označava vremensku seriju (opservacije).

$\epsilon_t$  je faktor slučajnih odstupanja i predstavlja grešku koja nastaje zbog razlika između elemenata mašine ili zbog razlika u efikasnosti rada mašine. Faktor slučajnih odstupanja  $\epsilon_t$  je stohastička varijabla za koju se u svrhe empiričkih merenja pretpostavljaju određene statističke osobine:

1. Da ima distribuciju verovatnoće čija je sredina jednaka nuli

$$E(\epsilon_t) = 0; \quad t = 1, 2, \dots, n \quad (4.3)$$

2. Da je varijansa odstupanja konstantna i nezavisna od eksplanatornih varijabli i da je kovarijansa između odstupanjima jednaka nuli, odnosno:

$$\begin{aligned} E(\epsilon_t) &= \delta^2 & \left\{ \begin{array}{l} r \neq s \\ r, s = 1, 2, \dots, n \end{array} \right. \\ E(\epsilon_r, \epsilon_s) &= 0 \end{aligned} \quad (4.4)$$

Te osobine pretpostavljaju takođe homoskedastičnost između varijabli. Dakle, može se reći da za date vrednosti  $K_{it}/K_{mi}$  i  $K_{mi}$  pojedine vrednosti  $q_{it}$  variraju oko hiper-ravni regresije u normalnoj raspodeli sa srednjom vrednošću nula i varijansom  $\delta^2$ .

Ocenjena regresiona jednačina (4.2) će biti

$$q_t = a + b \left( \frac{K_{it}}{K_{mi}} \right) + cK_{mi} + e \quad (4.5)$$

gde parametri  $a$ ,  $b$ ,  $c$  predstavljaju ocene parametara  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , a  $e$  ocenu komponenti slučajnih odstupanja iz regresione jednačine (4.2) koja se odnosi na čitav uzorak. U određivanju vrednosti parametara i njihovih standardnih grešaka koristi se metod »najmanjih kvadrata«. Kod metoda najmanjih kvadrata vrednosti parametara  $a$ ,  $b$  i  $c$  su izabrane tako da minimiziraju sumu kvadrata odstupanja od regresione hiper-ravni (4.2), tj.:

$$\sum (q_{it} - \hat{q}_{it})^2 \quad (4.6)$$

sumu kvadrata  $n$  razlika između stvarnih i predviđenih vrednosti  $q_{it}$ .

Pretpostavka homoskedastičnosti faktora slučajnih odstupanja, bez obzira na to da li je distribucija normalno raspoređena, omogućava dobijanje najboljih linearno nepristrasnih ocena parametara regresione jednačine. Pretpostavka normalnosti se zahteva za izvođenje  $t$ -rasporeda pomoću kojeg se vrši testiranje ocenjenih parametara za određeni nivo značajnosti.

Linearna zavisnost koja je postavljena u jednačini (4.5) specifičira oblik funkcije koja može biti prihvaćena i upotrebljena za ocenjivanje parametara. Za izvođenje regresione analize prihvata se linearna zavisnost između varijabli, kao prvi računski najjednostavniji

korak, i vrši se ispitivanje koji će se od predloženih modela najbolje prilagoditi raspoloživim podacima. Predloženi modeli su sledeći:

$$q_t = a + b \left( \frac{K_{it}}{K_{mi}} \right) + cK_{mi} + e \quad \text{MODEL A} \quad (4.7)$$

$$q_t = a + b \left( \frac{K_{it}}{K_{mi}} \right)^{-1} + cK_{mi} + e \quad \text{MODEL B} \quad (4.8)$$

$$q_t = a + b \left( \frac{K_{it}}{K_{mi}} \right) + cK_{mi}^{-1} + e \quad \text{MODEL C} \quad (4.9)$$

$$q_t = a + b \left( \frac{K_{it}}{K_{mi}} \right)^{-1} + cK_{mi}^{-1} + e \quad \text{MODEL D} \quad (4.10)$$

Svi postavljeni modeli dozvoljavaju jednolično smanjenje specifičnog utroška goriva u zavisnosti od znaka ocenjenih parametara.

Do smanjenja specifičnog utroška goriva dolazi u slučaju kada je parametar  $b$  negativan, u modelima A i C, odnosno pozitivan, u modelima B i D pri istoj konstantnoj veličini mašine. Sa sve većim iskorišćenjem kapaciteta smanjenje specifičnog utroška goriva je sve manje.

Za konstantno iskorišćenje kapaciteta moguće je smanjenje specifičnog utroška goriva sa porastom veličine mašine, a u zavisnosti od znaka parametra  $c$ . Smanjenje specifičnog utroška goriva moguće je u slučajevima kada je parametar  $c$  negativan u modelima A i B, odnosno pozitivan u modelima C i D.

Odgovor na pitanje kakvog je oblika funkcija troškova može se dobiti analizom rezultata, dobijenih regresionom analizom.

Predloženi modeli (4.7), (4.8), (4.9) i (4.10), za koje se smatralo da se najbolje prilagođavaju podacima uzorka, korišćeni su u proceduri regresione analize za izračunavanje parametara u regresionim jednačinama po metodi najmanjih kvadrata. Sva izračunavanja vršena su na elektronskom računaru upotrebom standardnih programa za izračunavanje regresija. Rezultati izračunatih regresionih jednačina prikazani su u tabeli 4.2 zajedno sa koeficijentom determinacije i vrednošću  $t$ -odnosa.

Upoređujući dobijene rezultate koeficijenata determinacije i  $t$ -odnosa postavljenih modela izgleda da je jednačina (4.10) bolje prilagođena podacima nego ostale, pa je model D prihvaćen za funkciju troškova termoelektrana. Izračunati  $t$ -odnos u poređenju sa vrednostima teoretske  $t$ -distribucije za model D pokazuje se značajno različitim od nule kod svih grupa prema godini puštanja u rad mašina za nivo značajnosti 95%. Kako se u grupi 1961—1965. godina nalaze sve jednake mašine, za očekivanje je bilo da se ocenjeni parametar  $c$

Tabela 4.2

## REZULTATI OBRACUNA REGRESIJE

Godina puštanja u rad mašine	a	b	c	S <sub>b</sub>	S <sub>c</sub>	t <sub>0</sub>	t <sub>c</sub>	R <sup>2</sup>
MODEL A:								
1955—1960	5866,82	-1615,77	-51,29	284,65	7,66	5,68	6,70	0,8032
1961—1965	4403,67	-3392,01	7,71	293,54	3,98	11,56	1,94**	0,9598
1966—1971	3380,67	-240,57	-4,20	207,09	0,87	1,16*	4,84	0,6614
MODEL B:								
1955—1960	3970,16	340,76	-41,41	51,83	5,50	6,57	7,52	0,8432
1961—1965	1393,03	824,33	-5,21	129,18	5,78	6,38	0,90*	0,8833
1966—1971	3122,75	46,50	-4,00	33,77	0,83	1,38*	4,83	0,6746
MODEL C:								
1955—1960	2265,54	-1551,85	60860,37	299,49	9887,86	5,18	6,16	0,7751
1961—1965	5151,91	-3392,01	-16044,88	293,54	8282,95	11,56	1,94**	0,9598
1966—1971	2104,45	-446,87	101336,60	195,91	17835,75	2,28***	5,65	0,7290
MODEL D:								
1955—1960	1082,47	333,79	49917,35	54,09	7049,69	6,17	7,08	0,8865
1961—1965	887,30	824,33	10844,57	129,18	12032,06	6,38	0,90*	0,8833
1966—1971	1780,04	73,22	92337,60	30,95	16496,25	2,37***	5,60	0,7351

\* \*\* \*\*\* Nije signifikantno različit od nule na nivou 10%, 5% i 1% respektivno

pokaže nesignifikantan i nezavisna varijabla  $K_{mi}$  (veličina mašine), u ovom slučaju konstanta, nije mogla ući u dalju analizu. Za ovu grupu dalja analiza bi se mogla vršiti jedino ocenjujući zavisnost specifičnog utroška goriva i stepena iskorišćenja kapaciteta  $K_{it}/K_{mi}$ . U tom slučaju dobijaju se sledeće funkcije:

$$(1) q_t = 1110,63 + 879,43 \left( \frac{K_{it}}{K_{mi}} \right)^{-1} \quad (R^2 = 0,8714) \quad t = 7,81$$

$$(2) q_t = 4455,72 - 3016,42 \left( \frac{K_{it}}{K_{mi}} \right) \quad (R^2 = 0,9410) \quad t = 11,98$$

Koeficijent determinacije je bolji kod funkcije (2), dok je ocenjeni parametar  $b$  u obe funkcije signifikantan za nivo značajnosti 99,9%.

Izabrani tip funkcije (4.10) koji je prihvaćen za funkciju troškova termoelektrana koristeće se u daljoj analizi samo za grupe 1955—1960. i 1966—1971. godina.

Za svaku od ocenjenih regresija jednačine (4.10) parametri  $a$ ,  $b$ ,  $c$  su pozitivni. Ako se izvrši derivacija po varijabli iskorišćenja kapaciteta, dok se varijabla veličina mašine učini konstantnom, dobija se iz jednačine (4.10) da je:

$$\left. \frac{\partial q_t}{\partial \left( \frac{K_{it}}{K_{mi}} \right)} \right|_{K_{mi} = \text{const.}} = K_{mi} \left. \frac{\partial q_t}{\partial K_{it}} \right|_{K_{mi} = \text{const.}} = -b \left( \frac{K_{it}}{K_{mi}} \right)^{-2} \quad (4.11)$$

$$\left. \frac{\partial^2 q_t}{\partial \left( \frac{K_{it}}{K_{mi}} \right)^2} \right|_{K_{mi} = \text{const.}} = K_{mi} \left. \frac{\partial^2 q_t}{\partial K_{it}^2} \right|_{K_{mi} = \text{const.}} = 2b \left( \frac{K_{mi}^2}{K_{it}^3} \right) \quad (4.12)$$

Kako je parametar  $b > 0$  to će izraz (4.11) biti manji od nule, a izraz (4.12) veći od nule pa će funkcija troškova biti negativnog nagiba i konveksna prema ishodištu.

Ekonomski smisao izraza (4.11) ogleda se u tome da povećanje iskorišćenja kapaciteta dovodi do smanjenja specifične potrošnje goriva. Iz konveksnosti funkcije troškova na osnovu izraza (4.12) proizlazi da je to smanjenje usporeno sa porastom iskorišćenja kapaciteta. Na osnovu opštepoznatih karakteristika postrojenja termoelektrane može se očekivati da će približavanjem 100% iskorišćenju kapaciteta doći do povećanja u specifičnoj potrošnji goriva, odnosno da je funkcija troškova  $U$ -oblika, međutim, ovde nije vršeno istraživanje za iskorišćenje kapaciteta koje bi prelazilo 80%, pa je zadržan  $L$ -oblik funkcije troškova. Dobijeni rezultati odgovaraju postavljenim uslovima u (3.2), te će oblik funkcije troškova odgovarati obliku datom na slici 3.1.



Iz skupa mašina koji je sastavljen od mašina različite veličine uvek je moguće izabrati dve mašine od kojih je jedna kapaciteta  $K_{mi}$  i druga kapaciteta  $K_{mj}$ , tako da se zadovolji uslov  $K_{mi} > K_{mj}$ . U tom slučaju funkcija troškova za tako izabrane mašine će biti:

$$q_i = a + b \left( \frac{K_{ti}}{K_{mi}} \right)^{-1} + c K_{mi}^{-1} \quad (4.13)$$

$$q_j = a + b \left( \frac{K_{tj}}{K_{mj}} \right)^{-1} + c K_{mj}^{-1} \quad (4.14)$$

Ako se uzme razlika između funkcije (4.13) i (4.14) pri istom stepenu iskorišćenja kapaciteta mašina, odnosno  $K_{ti}/K_{mi} = K_{tj}/K_{mj}$ , dobija se izraz:

$$q_i - q_j = c \left( \frac{1}{K_{mi}} - \frac{1}{K_{mj}} \right) < 0 \quad (4.15)$$

Izraz (4.15) je manji od nule jer je ocenjeni parametar  $c > 0$ , a zbog postavljenog uslova da je  $K_{mi} > K_{mj}$  izraz u zagradama je manji od nule. Iz izraza (4.15) se može zaključiti da kada se upoređuju dve mašine različite po veličini veća će trošiti manje goriva po jedinici proizvedene električne energije. Kako u izrazu (4.15) ne figurira varijabla iskorišćenja kapaciteta, proizlazi da će ušteda u potrošnji goriva, tj. razlika  $q_i - q_j$  biti konstantna za čitav opseg iskorišćenja kapaciteta.

Ako se pretpostavi da je kapacitet mašine  $K_{mi}$  veći za jednu jedinicu (1 MW) od mašine  $K_{mj}$  može se napisati:

$$K_{mi} = K_{mj} + 1 \quad (4.16)$$

Kada se jednačina (4.16) uvrsti u izraz (4.15) tada razlika u utrošku goriva između mašina glasi:

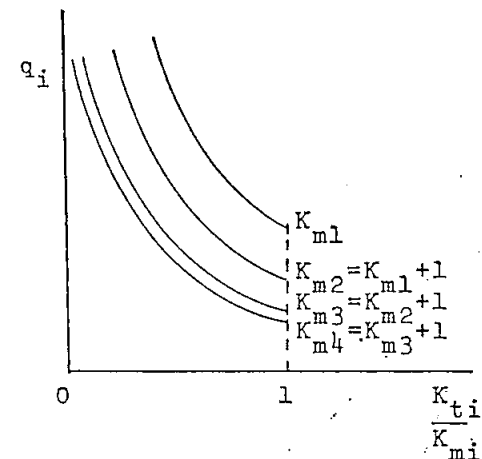
$$q_i - q_j = c \left( \frac{1}{K_{mj}+1} - \frac{1}{K_{mj}} \right) = \frac{-c}{(K_{mj}+1)K_{mj}} \quad (4.17)$$

Relacija (4.17) pokazuje da je pri većim kapacitetima mašina manja razlika u specifičnoj potrošnji goriva nego što je to kod mašina manjih kapaciteta. Ovi odnosi postavljeni su u slici 4.1.

Skup funkcija troškova predstavljen je familijom krivih negativnog nagiba konveksnih prema ishodištu, što je vidljivo iz slike 4.1. Raspored krivih je takav da svake dve posmatrane krive imaju isto vertikalno rastojanje dok to rastojanje varira za različite parove krivih. Prilježavanjem apscisi, tj. porastom veličine mašine, vertikalno rastojanje između krivih opada.

Na slici 4.2 prikazane su krive stvarno ocenjenih funkcija troškova modela D za grupu 1955—1960. godina prema godini puštanja u rad.

Iz slike je vidljivo da se krive asimptotski približavaju ordinati  $q_i$ , međutim specifični utrošak goriva se ne posmatra za iskorišćenje kapaciteta ispod 10%.



Slika 4.1

Pretpostavke o položaju familije krivih dokazuju se konkretnim krivima na slici 4.2.

Efekt ekonomije obima imaju svoj uticaj na promenu funkcije troškova za mašine različite veličine, a za istu grupu prema godini puštanja u rad.

Pri punom, odnosno 100% iskorišćenju kapaciteta mašine,  $K_{ti} = K_{mi}$  model D se transformira u izraz:

$$q_i = a + b + \frac{c}{K_{mi}} \quad (4.18)$$

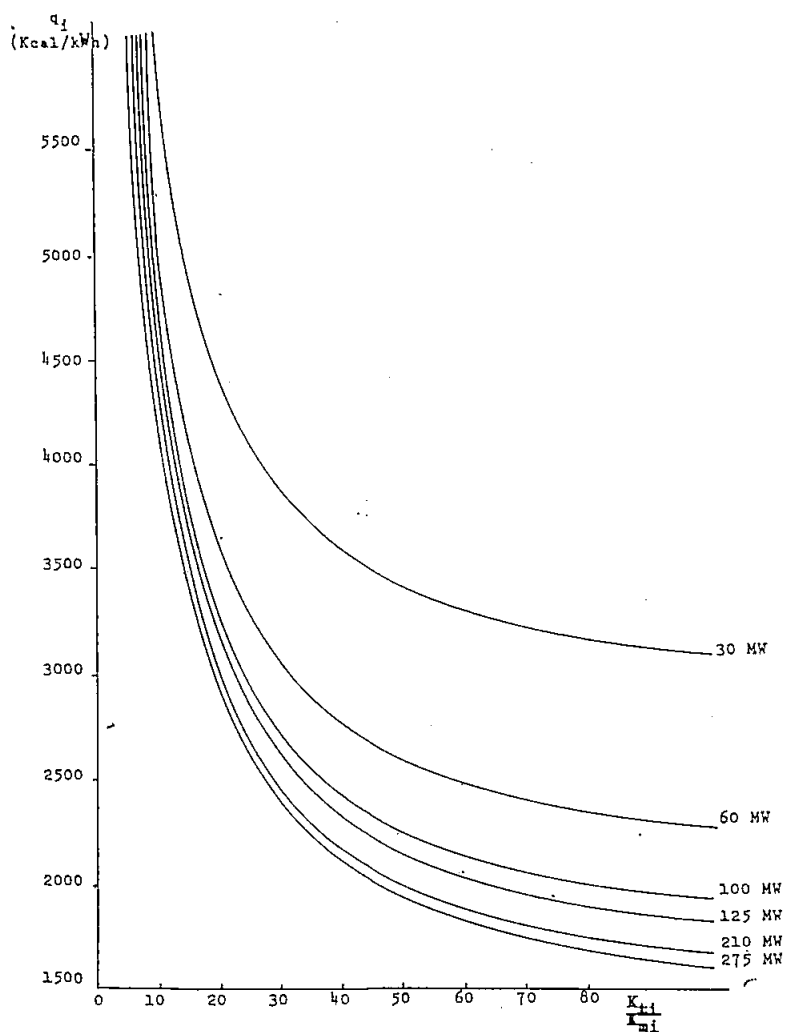
Oblik krive za puno iskorišćenje kapaciteta zavisiće od znaka prvog i drugog izvoda funkcije (4.18) po nezavisnoj varijabli  $K_{mi}$ .

$$\frac{dq_i}{dK_{mi}} = \frac{-c}{(K_{mi})^2} < 0 \quad (4.19)$$

Prvi izvod je negativan jer je  $c > 0$ , pa otuda je funkcija negativnog nagiba, i

$$\frac{d^2 q_i}{dK_{mi}^2} = \frac{2c}{(K_{mi})^3} > 0 \quad (4.20)$$

što znači da je konveksna prema ishodištu. To potpuno odgovara pretpostavkama učinjenim u izrazu (3.2) o obliku funkcije, a rezultatima algebarske analize pokazano u izrazu (4.17).



Slika 4.2

Ekonomija obima, odnosno ekonomija kapaciteta postoji onda ako proizvodnja električne energije raste brže nego što se povećava utrošak goriva, odnosno specifični utrošak goriva pada sa povećanjem stepena iskorišćenja kapaciteta i sa povećanjem kapaciteta mašine,

Ako se upoređuju mašine iste grupe prema kapacitetu, dolazi se do zaključka da specifični utrošak goriva pada sa veličinom mašine. Smanjenje specifičnog utroška goriva sa povećanjem kapaciteta je usporeno, što proizlazi iz konveksnosti funkcije troškova.

U posmatranim termoelektranama ekonomija obima je prisutna, a njeni efekti pri punom iskorišćenju kapaciteta dati su u tabeli 4.3.

Tabela 4.3

EFEKTI EKONOMIJE OBIMA PRI PUNOM ISKORIŠĆENJU KAPACITETA

Veličina mašine*	Godina puštanja u rad	
	1955—1960	1966—1971
30 MW	100,00	100,00
60 MW	72,99	68,79
100 MW	62,19	56,31
125 MW	58,94	52,56
210 MW	53,70	46,50
275 MW	51,87	44,39

\* Veličina mašina je izabrana prema kapacitetima koji se nalaze u pogonu jugoslavenskih termoelektrana.

Iz tabele 4.3 je vidljivo da dolazi do smanjenja specifične potrošnje goriva sa povećanjem kapaciteta mašine. Na primer, u grupi 1955—1960. god., mašina od 60 MW troši 72,29% goriva po jedinici proizvedene električne energije kada se upoređi sa mašinom kapaciteta 30 MW. Za grupu 1966—1971. god. ova cifra je nešto manja i iznosi 68,79%. Znači, da je povećanje mašine od 30 MW na 60 MW, odnosno za dva puta, dovelo do smanjenja specifičnog utroška goriva za oko 27% u grupi 1955—1960. god., odnosno 32% u grupi 1966—1971. god. Kod većih kapaciteta uštede će biti manje. Kad se uzme za bazu kapacitet od 100 MW onda će za mašinu kapaciteta 275 MW smanjenje specifičnog utroška goriva iznositi 83,42% za grupu 1955—1960. god., odnosno 78,84% za grupu 1966—1971. god. To znači da je kod većih kapaciteta, gde je povećanje u kapacitetu iznosilo skoro tri puta, smanjenje specifične potrošnje goriva manje i iznosi oko 17% u grupi 1955—1960. god., odnosno oko 22% kod grupe 1966—1971. god. Ovim se potvrđuju ranije konstatacije o položaju familije krivih ocenjenih funkcija datih na slici 4.2.

Iz provedene analize pokazalo se da ekonomija obima ima značajan efekat na ekonomičnost proizvodnje u termoelektranama. Upotrebljena regresiona analiza omogućila je da se ti efekti kvantitativno

prikažu. Ekonomija obima je usko povezana sa tehnološkim progresom. Nova tehnologija omogućava instalisanje mašina sve većeg i većeg kapaciteta, a oni su izvor ekonomije obima (ekonomije kapaciteta).

U Jugoslaviji je prva mašina od 100 MW puštena u rad 1966. godine, da bi već 1972. godine u pogonu bila mašina od 275 MW, dok se u bliskoj budućnosti predviđa gradnja mašina kapaciteta i preko 1000 MW.

Nedostatak izvršene analize proizvodnog procesa u termoelektranama proizlazi iz toga što je razmatran samo manji broj termoelektrana, a ne sve koje su bile stvarno u pogonu u posmatranom periodu što je osiromašilo uzorak, a prema tome i egzaktnost dobijenih rezultata. Međutim, nužnost ispuštanja nekih termoelektrana proizlazi iz postavljenih kriterija koji su bili determinisani raspoloživim podacima.

Oblik ocenjenje funkcije troškova omogućava da se efekti ekonomije obima razmatraju za svaki nivo iskorišćenja kapaciteta mašine u termoelektranama.

### 5. Ekonomija obima kapitala i rada u termoelektranama

Ekonomija obima u utrošku kapaciteta (investicija) je interna tehnološka ekonomija obima čiji je izvor u investicionoj izgradnji.

Zbog toga što je prilagođavanje investicija moguće samo na duža razdoblja s izgradnjom novih kapaciteta, može se pri proučavanju troškova govoriti o ekonomiji kapitalne izgradnje. Ona je izražena odnosom veličine kapaciteta i potrebnih novčanih sredstava koja se ulažu u gradnju tih kapaciteta.

Troškovi proširenja kapaciteta, odnosno izgradnja većine uređaja i opreme, naročito u preradi nafte, proizvodnji cementa i hemijskih proizvoda, kod parnih kotlova, cevi i sl. zavise od površine tih uređaja, dok kapacitet zavisi od zapremine. To takođe znači da povećanje kapaciteta ne zahteva odgovarajuće povećanje u materijalu (investicionim troškovima). To se javlja zbog dva fenomena:

1. Nedeljivosti mašina, uređaja i opreme kao i pojedinačnih radnika, iako to nije isključivi uzrok postojanja rastućih prinosa od obima (ekonomija obima), i

2. Geometrijskih relacija koje dovode u vezu materijal koji je potreban za izradu opreme (kontejneri, tankovi, kotlovi, visoke peći, cevi i sl.) s kapacitetom te opreme.

Ovi geometrijski odnosi i funkcionalna veza između utroška kapitala i kapaciteta može se izraziti eksponencijalnom funkcijom oblika:

$$I = a K^b \quad (5.1)$$

gde  $I$  predstavlja ukupan utrošak kapitala jednog preduzeća potrebnog za proširenje kapaciteta koji je suma vrednosti zemljišta, građevina, licenci i prava, uređaja i opreme (vrednost osnovnih sredstava), a  $K$

je instalirani kapacitet proizvodne jedinice, a eksponent  $b$  je koeficijent razmera.

Funkcija (5.1) pokazuje rastuće prinose od obima za  $b < 1$  (što potvrđuje postojanje ekonomije obima), konstantne prinose za slučaj kad je  $b = 1$  i opadajuće prinose od obima kad je koeficijent  $b > 1$ .

Ispitivanje međuzavisnosti utroška kapitala (investicija potrebnih za proširenje kapaciteta) i kapaciteta datog izrazom (5.1) u stvarnom životu vrši se za pojedinačne uređaje i opremu ili za celokupna preduzeća. Kad se razmatra celokupno preduzeće dolazi se do teškoća koje se ogledaju u iskazivanju kapaciteta, odnosno agregiranju kapaciteta izraženog u različitim jedinicama mere. Preduzeće je sastavljeno od različitih mašina, uređaja i opreme čiji se kapaciteti različito iskazuju. Zbog toga za istraživanje međuzavisnosti između investicija i kapaciteta na nivou preduzeća pogodne su samo one grane koje imaju homogene jedinice kapitala.

Takva industrijska grana je elektroenergetika, pa su termoelektrane koje se analiziraju u ovom radu veoma pogodne za vršenje inženjerskih studija ekonomije obima utvrđivanjem vrednosti eksponenta  $b$  u funkciji (5.1), jer su kapitalno intenzivne, imaju kontinuelan proizvodni proces i proizvode homogen proizvod — električnu energiju.

Izraz (5.1) je linearan u logaritmima pa se može uspešno primeniti regresiona analiza i upotrebiti metod »najmanjih kvadrata« pri ocenjivanju parametara  $a$  i  $b$  u funkciji (5.1). Prethodno je potrebno izvršiti transformaciju varijabli i postaviti regresionu jednačinu koja daje dvostrukologaritamsku vezu oblika:

$$\log I = \log a + b \log K + e \quad (5.2)$$

Izraz (5.2) je izabran za model koji će se koristiti za ocenjivanje parametara funkcije (5.1) koristeći statistički materijal o jugoslavenskim termoelektranama.

Stohastičkom članu  $e$  u regresionoj jednačini (5.2) pripisuju se statističke osobine definisane u izrazima (4.3) i (4.4).

Za ocenjivanje regresione jednačine (5.2) izabran je uzorak onih termoelektrana u Jugoslaviji koje su 1966. godine bile u pogonu i čiji su pogoni sastavljeni od mašina iste veličine, bilo da se u pogonu nalazi samo jedna ili više mašina. Između pogona je postojala varijacija u veličini mašina.

Za troškove kapitala uzeta je nabavna vrednost osnovnih sredstava sa stanjem na dan 31. decembra 1966. godine iz završnih računa posmatranih termoelektrana. Presek u vremenskoj seriji učinjen je za 1966. godinu da se izbegne uticaj promena cena osnovnih sredstava, jer te je godine izvršena revalorizacija vrednosti osnovnih sredstava svih radnih organizacija.

Izračunavanje regresione jednačine vršilo se posebno za celokupna osnovna sredstva i posebno za uređaje i opremu. Dobijeni rezultati su:

a) za celokupna osnovna sredstva

$$\log I = 9,11 + 0,73 \log K \quad (R^2 = 0,7738) \\ (0,15) \quad t = 4,89 \quad (5.3)$$

b) za uređaje i opremu

$$\log I = 8,36 + 0,80 \log K \quad (R^2 = 0,8148) \\ (0,14) \quad t = 5,55 \quad (5.4)$$

Koeficijent razmera  $b$  je u obe izračunate jednačine manji od jedinice i signifikantan na nivou značajnosti 99%. Koeficijent determinacije je nešto bolji kod uređaja i opreme i nezavisna varijabla  $K$  objašnjava 81,48% varijacija zavisne varijable  $I$  što je zadovoljavajuće. Važno je napomenuti da je uzorak bio veoma malen i sastojao se samo od 9 termoelektrana, što umanjuje uopštenost u primeni rezultata. Kapacitet pojedinih mašina u uzorku varirao je od 32 MW do 200 MW tako da je bio dovoljan raspon varijacija u kapacitetima.

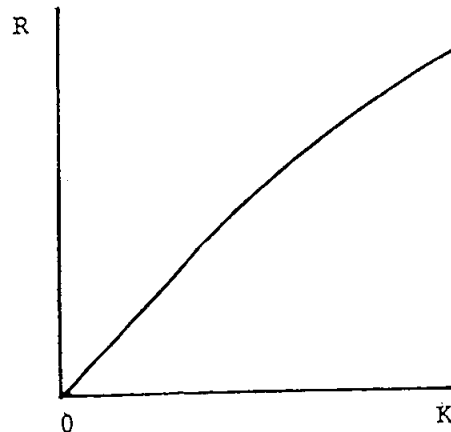
Deriviranjem izraza (5.1) dobija se:

$$\frac{dI}{dK} = ab K^{b-1} = \frac{ab}{K^{1-b}} \quad (5.5)$$

a kako je ocenjeno  $b$  u jednačinama (5.3) i (5.4) pozitivno ( $b > 0$ ) sledi da je izraz (5.5) veći od nule, i

$$\frac{d^2 I}{dK^2} = \frac{-[(b-1)ab]}{(K^{1-b})^2} < 0 \quad (5.6)$$

što znači da će eksponencijalna funkcija biti pozitivnog nagiba i konkavna prema ishodištu i imaće oblik prikazan na slici 5.1.

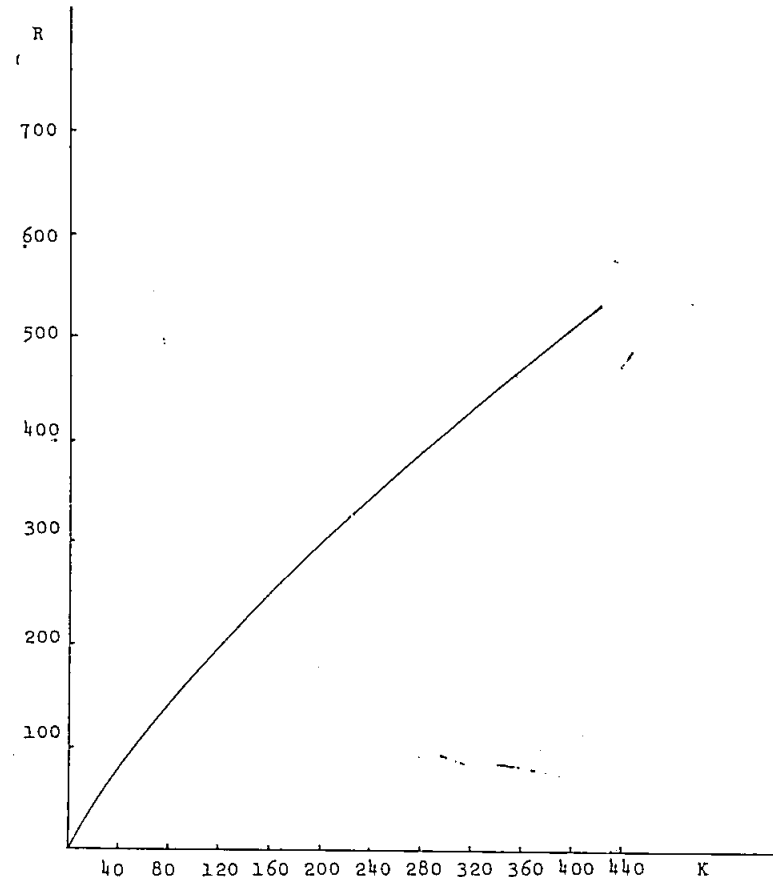


Slika 5.1

Stvarno ocenjena eksponencijalna funkcija iz jednačine (5.4) prikazana je na slici 5.2.

Kod eksponencijalne funkcije oblika (5.1) eksponent  $b$  se definiše i kao koeficijent elastičnosti koji predstavlja proporcionalnu promenu  $I$  u odnosu na promene  $K$ . Da eksponent  $b$  predstavlja koeficijent elastičnosti može se lako dokazati,

$$\frac{EI}{EK} = \frac{dI}{dK} \cdot \frac{K}{I} = ab K^{b-1} \frac{K}{aK^b} = b \quad (5.7)$$



Slika 5.2

Prema dobijenim rezultatima u jednačinama (5.3) i (5.4) može se reći da će povećanje kapaciteta za 1% prouzrokovati povećanje troškova investicija od 0,73% za ukupna osnovna sredstva, odnosno 0,80% za uređaje i opremu.

Mada je koeficijent razmera manji od jedinice za izokapacitetne pogone termoelektrana, što potvrđuje postojanje ekonomije obima, on je nešto veći od 0,6 (pravilo 0,6), međutim to ne umanjuje izvršenu analizu.

Analiza utroška rada u termoelektrana ima dva zadatka; prvo, da odredi kako veličina kapaciteta termoelektrane ima uticaj na potrebe za radom i drugo, da oceni da li stepen iskorišćenja kapaciteta utiče na potrebe za radom u termoelektranama.

Da se sa uspehom izvrši postavljeni zadatak pretpostavljeno je da funkcija utroška rada u opštem obliku glasi:

$$R = f\left(K, \frac{P}{8760 K}\right) \quad (5.8)$$

gde je  $R$  utrošak rada,  $K$  je instalisani kapacitet,  $P$  je godišnja proizvodnja električne energije,  $8760$  je ukupan broj časova u godini, a odnos  $P/8760K$  predstavlja stepen iskorišćenja kapaciteta.

Najpre se isprobala linearna međuzavisnost između varijabli i odabrao se sledeći oblik funkcije:

$$R = a + b K + c \left(\frac{P}{8760 K}\right) \quad (5.9)$$

Izvedeći regresionu analizu upotrebom metoda najmanjih kvadrata dobiveni rezultati pokazuju da je paramter  $c$  nesignifikantan i nezavisna varijabla  $P/8760 K$  — stepen iskorišćenja kapaciteta — nije ušla u dalju analizu. To takođe znači, da potrebe za radom u termoelektranama isključivo zavise od kapaciteta termoelektrane bez obzira na veličinu proizvodnje, pa se izdaci za zaposlene u termoelektranama mogu uvrstiti u fiksne troškove poslovanja.

Za ocenu utroška rada u zavisnosti od kapaciteta termoelektrane odabrani su sledeći oblici regresionih jednačina:

$$R = a + b K + e \quad (5.10)$$

$$\log R = \log a + b \log K + e \quad (5.11)$$

$$\log R = a + b K + e \quad (5.12)$$

$$R = a + b \log K + e \quad (5.13)$$

Za stohastički član  $e$  pretpostavljene su statističke osobine definisane u izrazima (4.3) i (4.4).

Rezultati izračunatih regresionih jednačina dati su u tabeli 5.1:

Tabela 5.1

## REZULTATI OBRACUNA REGRESIJA

Regresiona jednačina	Standardna greška regresionog koef. pravca $b$ ( $S_b$ )	$t_b$ odnos $\frac{b}{S_b}$	$R^2$
$R = 155,589 + 1,151 K$	0,113	10,15	0,8880
$\log R = 2,768 + 0,615 \log K$	0,048	12,78	0,9263
$\log R = 5,217 + 0,003 K$	0,0005	6,41	0,7599
$R = -682,225 + 214,928 \log K$	20,161	10,66	0,8973

Napomena: U svim regresionim jednačinama ocenjeni parametar  $b$  je signifikantan za nivo značajnosti od 99,9%.

Od svih pretpostavljenih oblika funkcija najbolje rezultate daje regresiona jednačina (5.11), pa je ona prihvaćena za funkciju utroška rada. Visoki koeficijent determinacije  $R^2$  govori da je 92,63% varijacija zavisne varijable  $R$  objašnjeno sa nezavisnom varijablom  $K$ , dok se ostatak od 7,37% pripisuje drugim komponentama koje nisu uzete u obzir prilikom ocenjivanja regresione jednačine. S obzirom da jednačina (5.11) predstavlja eksponencijalnu vezu između kapaciteta i prosečnog broja zaposlenih, ocenjeni parametar  $b$  predstavlja i koeficijent razmera, a kako je  $b < 1$  potvrđuje se postojanje ekonomije obima utroška rada u svakoj termoelektrani.

Iz ocenjene jednačine (5.11) izvedene su potrebe za radom u zavisnosti od kapaciteta termoelektrane, a rezultati su dati u tabeli 5.2.

Tabela 5.2

## PROSEČAN BROJ ZAPOSLENIH IZAZVAN VELIČINOM KAPACITETA TERMOELEKTRANE

Kapacitet termoelektrane	Prosečan broj zaposlenih
30 MW	129
60 MW	198
100 MW	271
125 MW	311
200 MW	415
210 MW	428
275 MW	505

Iz tabele su vidljivi efekti ekonomije obima u utrošku rada. Potrebe za radom rastu srazmerno manje nego što je porastao kapacitet termoelektrane. Na primer, dok je kapacitet porastao za 9 puta (sa 30 MW na 275 MW) potrebe za radom porasle su u proseku za oko 4 puta.

(Rad primljen decembra 1974.)

ECONOMIES OF SCALE IN THE THERMOELECTRIC POWER STATIONS OF THE ELECTROENERGETIC SYSTEM OF YUGOSLAVIA

by

Davorin RAPP

Summary

The paper deals with the methodological and analytic procedures for measuring economies of scale of thermoelectric power stations and presents the results of the econometric measurements undertaken by the author.

Relying on production theory the author examines the economics of scale in thermoelectric power stations through fuel usage, i.e. through the cost function of the power station, defined in the following way:

$$q = f\left(\frac{K_t}{K_m}, K_m\right)$$

where  $q$  = specific consumption of heat,  $K_t$  = machine capacity for a unit of time,  $K_m$  = maximum capacity possible.

Using the above function and the data available, the author sets up four regression models and studies the significance of the parameters in each of them. He finds out that the model

$$q_t = a + b \left(\frac{K_{tt}}{K_{mt}}\right)^{-1} + cK_{mt}^{-1} + e$$

is statistically most advantageous. Therefore, he chooses it for his subsequent analysis, which leads him to the conclusion that economies of scale have important effects. These show up in decrease of specific fuel consumption with increase of degree of use of facilities and that of machine capacity. The results of the analysis are presented in table 4.3.

In the second part of the paper, the author measures economies of scale of capital and labour.

His regression analysis indicates the existence of economies of scale of capital, since 1 per cent increase of volume incurs 0.73 per cent increase of investment in total assets and 0.80 per cent increase of investment in facilities and equipment.

The effects of economies of labour are presented in Table 5.2 where labour requirements are expressed relative to capacity. The table shows that labour requirements increase comparatively less than capacity of thermoelectric power station.