



Mikroekonomski vidiki managementa produktivnosti

Tehnična in stroškovna učinkovitost

Matjaž Novak
Egon Žižmond

Management



Mikroekonomski vidiki managementa produktivnosti

Znanstvene monografije
Fakultete za management Koper

Glavna urednica

izr. prof. dr. Anita Trnavčević

Uredniški odbor

prof. dr. Roberto Biloslavo

prof. dr. Štefan Bojnec

prof. dr. Slavko Dolinšek

doc. dr. Justina Erčulj

izr. prof. dr. Tonči A. Kuzmanič

prof. dr. Zvone Vodovnik

ISSN 1855-0878

Mikroekonomski vidiki managementa produktivnosti

Tehnična in stroškovna učinkovitost

Matjaž Novak
Egon Žižmond



*Mikroekonomski vidiki
managementa produktivnosti:
tehnična in stroškovna učinkovitost*

izr. prof. dr. Matjaž Novak
prof. dr. Egon Žižmond

Recenzenta · prof. dr. Davorin Kračun
prof. dr. Štefan Bojnec
Izdala in založila · Univerza na Primorskem
Fakulteta za management
Cankarjeva 5, 6104 Koper

Koper · 2011

© 2011 Fakulteta za management

ISBN 978-961-266-114-4 (tiskana izdaja)
Naklada 100 izvodov

ISBN 978-961-266-115-1 (PDF)
www.fm-kp.si/zalozba/ISBN/978-961-266-115-1.pdf

*Monografija je izšla s finančno podporo
Javne agencije za knjigo Republike Slovenije*

CIP – Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

005.61 331.101.542

NOVAK, Matjaž, 1979–

Mikroekonomski vidiki managementa produktivnosti :
tehnična in stroškovna učinkovitost / Matjaž Novak, Egon Žižmond. –
Koper : Fakulteta za management, 2011

Dostopno tudi na:

<http://www.fm-kp.si/zalozba/ISBN/978-961-266-115-1.pdf>

ISBN 978-961-266-114-4
ISBN 978-961-266-115-1 (pdf)
COBISS.SI-ID 259705856

Kazalo

0	UVOD V MANAGEMENT PRODUKTIVNOSTI	5
0.1	Izhodišča	
0.2	Management produktivnosti	
0.3	Problem proučevanja	
1	MIKROEKONOMSKA TEORIJA PROIZVODNE FUNKCIJE	9
1.1	Definicije, predpostavke in omejitve	
1.2	Analični koncepti proizvodne funkcije	
1.3	Metode analize proizvodne funkcije	
1.4	Izokvanta	
1.5	Tehnična učinkovitost	
2	MIKROEKONOMSKA TEORIJA STROŠKOVNE FUNKCIJE	25
2.1	Definicije, predpostavke in omejitve	
2.2	Analični koncepti stroškov	
2.3	Metode analize stroškovne funkcije	
2.4	Stroškovna učinkovitost	
3	RAZVOJ PROIZVODNE FUNKCIJE ZA NAMENE EMPIRIČNE ANALIZE	35
3.1	Razvoj proizvodne funkcije v okviru enodimenzionalnega proizvodnega sistema	
3.2	Razvoj tehnične učinkovitosti v okviru enodimenzionalnega proizvodnega sistema	
3.3	Razvoj proizvodne funkcije v okviru večdimenzionalnega proizvodnega sistema	
3.4	Overall Equipment Efficiency - OEE	
4	RAZVOJ STROŠKOVNE FUNKCIJE ZA NAMENE EMPIRIČNE ANALIZE	45
4.1	Razvoj stroškovne funkcije v okviru enodimenzionalnega proizvodnega sistema	
4.2	Razvoj stroškovne funkcije v okviru večdimenzionalnega proizvodnega sistema	
5	REGRESIJSKA ANALIZA - TEHNIČNA IN STROŠKOVNA UČINKOVITOST	51
5.1	Model proizvodne linije	
5.2	Uporabljeni podatki	
5.3	Ocena proizvodne funkcije in tehnične učinkovitosti	
5.4	Ocena stroškovne funkcije in stroškovne učinkovitosti	
5.5	Ocena faktorja povezanosti med stroškovno in tehnično učinkovitostjo	
6	OCE MODEL TEHNIČNE IN STROŠKOVNE UČINKOVITOSTI ZA MANAGEMENT PRODUKTIVNOSTI	81
6.1	Izhodišča	
6.2	Razvoj algoritma OCE	
6.3	Analiza povezave med OEE in OCE	
7	EMPIRIČNA EVALVACIJA OCE MODELA – ŠTUDIJA PRIMERA	95
7.1	Opis proizvodne linije in operacionalizacija OCE algoritma	
7.2	Rezultati merjenja	
	LITERATURA	101

0 UVOD V MANAGEMENT PRODUKTIVNOSTI

0.1 Izhodišča

Raziskave, vezane na produktivnost, so osrednje področje proučevanja, ki jih avtorja te knjige sistematično izvaja od leta 2005 naprej. Razlikujeta tiste analize produktivnosti, ki se navezujejo na makroekonomsko raven, in tiste, ki se navezujejo na mikroekonomsko raven.

Izmed makroekonomskih analiz izpostavlja zlasti naslednje tri:

- Žižmond in Novak (2006), v kateri je predstavljen vpliv sektorske realokacije dela na rast skupne faktorske produktivnosti (TFP) v Sloveniji v obdobju 1995–2004.
- Žižmond in Novak (2007), v kateri analizirava proces t.i. tehnološke konvergence med državami članicami EU.
- Novak (2009) pa je izvorna znanstvena monografija, ki opisuje izvorni PDI model gospodarske rasti, ki pojasnjuje možnost pojava realne divergence med homogenimi ekonomijami ter razvija empirično analizo z uporabo tega modela na vzorcu držav članic EU.

Izmed mikroekonomskih analiz pa izpostavlja zlasti tri aplikativne projekte:

- L7 9773 je aplikativni projekt z naslovom Model za sprotno merjenje stroškov proizvodnje na visoko avtomatizirani proizvodni liniji, pri katerem sva sodelovala kot raziskovalca v letih 2007 in 2008.
- L7 0242 je aplikativni projekt z naslovom Razvoj modela za tehnično in ekonomsko optimizacijo logističnega sistema, pri katerem sva sodelovala kot raziskovalca v letih 2008, 2009 in 2010.
- L5 2006 je aplikativni projekt z naslovom Razvoj modela za monitoring stroškovne učinkovitosti avtomatizirane proizvodnje, katerega nosilca sva bila v letih 2009, 2010 in 2011.

Izpostavljeni aplikativni projekti so bili vezani na najbolj prepoznana domača podjetja, kot so Droga Kolinska, Iskra Avtoelektrika, Krka, Goodyear Sava, Eta Cerkljeva in Paloma in izkazujejo svojo znanstveno-raziskovalno diseminacijo v sklopu diplomskih del (Artič, 2010), magistrskih nalog (Čuk, 2009; Petek, 2010) in doktorske disertacije (Fenko, 2009). Vsebinska pričujoče monografije vključuje samostojno sintezo določenih vsebinskih poglavij teh znanstveno-raziskovalnih del, ki so nastajala v sklopu citiranih aplikativnih raziskovalnih projektov.

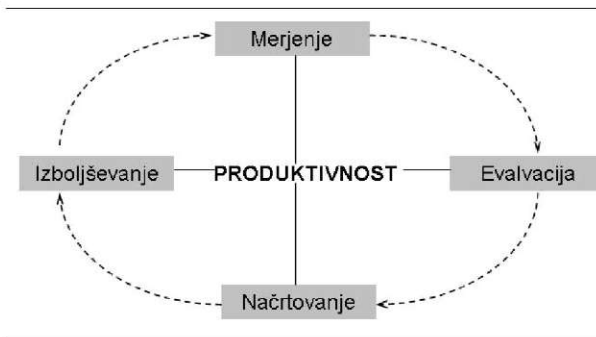
Vse izpostavljene aplikativne raziskave ter zaključena znanstveno-raziskovalna dela so ob neposrednih vsebinskih izsledkih raziskav demonstrirale tudi potrebo po celovitem referenčnem viru, ki bi dopolnjeval literaturo s področja aplikativnih mikroekonomskih analiz produktivnosti. Vsebina aplikativnih teoretičnih in empiričnih mikroekonomskih analiz produktivnosti pa je danes uokvirjena v posebno področje proučevanja, ki ga imenujemo management produktivnosti.

0.2 Management produktivnosti

Management produktivnosti se je kot področje proučevanja v teoriji managementa začel uveljavljati v drugi polovici osemdesetih let dvajsetega stoletja in ostaja strateška spremenljivka tudi v aktualnem času (Sumanth 1998, 41).

Na področju managementa produktivnosti se pravzaprav kot vodilno ime pojavlja izključno Sumanth z najbolj prepoznavnim delom »Total Productivity Management – A Systemic and Quantitative Approach to Compete in Quality, Price and Time« (Sumanth, 1998). To delo smo zaradi tega prevzeli kot referenčno delo za to poglavje. Sumanth (1998) je namreč v njem predstavil izvirni model celovitega managementa produktivnosti, kot proces, sestavljen iz štirih faz, ki tvorijo spiralo t. i. cikla produktivnosti. Cikel produktivnosti je opredeljen s sistematičnim zaporedjem faz merjenja, evalvacije, načrtovanja in izboljševanja produktivnosti, kar je ponazorjeno s sliko 0.1.

Slika 0.1: Cikel produktivnosti



Vir: Sumanth 1998, 64; Ferko 2009, 10.

Prva faza v Sumanthovem ciklu managementa produktivnosti je faza merjenja produktivnosti. Produktivnost je namreč treba meriti v določeni točki, ta točka pa je lahko proizvod, odjemalec, oddelek, proizvodni obrat ali podjetje kot celota.

Druga faza je faza evalvacije dobljenih ocen produktivnosti, ki povezuje med seboj fazo merjenja in fazo načrtovanja produktivnosti. V tej fazi gre za presojanje (kvalitativna analiza) vsebinskega pomena dobljenih meritev produktivnosti. Obstajata pa dve različici evalvacije produktivnosti – tip 1 in tip 2 (glej Sumanth 1998, 86). Evalvacija izmerjene produktivnosti, upoštevajoč različico tip 1, temelji na medčasovni primerjavi izmerjene ravni produktivnosti. To pomeni, da primerjamo raven produktivnosti v času t z ravnijo produktivnosti v času $t-1$ in izračunamo t. i. odstotno spremembo ravni produktivnosti v časovnem obdobju. Alternativni tip 2 merjenja produktivnosti pa se ne nanaša na ocenjevanje variiranja ravni produktivnosti med dvema časovnimi točkama, ampak znotraj izbranega časovnega obdobja. V tem primeru ne primerjamo ravni produktivnosti v času t z ravnijo produktivnosti v času $t-1$, ampak primerjamo dejansko raven produktivnosti v času t s predhodno ocenjeno ravnijo produktivnosti v času t .

Noben izmed tipov evalvacije produktivnosti ni superioren, ampak ju je nujno uporabljati vzajemno. Evalvacija tipa 1 nam namreč pojasnjuje, kako se je gibal raven produktivnosti v času, torej ali se je povečevala, zmanjševala, ali ostajala nespremenjena. Evalvacija produktivnosti tipa 2 pa nam pove, ali se je dejanska produktivnost spreminjala skladno z načrtovanjem ali ne. Kako pomembna je vzajemna primerjava evalvacij tipa 1 in 2, nazorno odraža naslednji primer. Po evalvaciji tipa 1 bi npr. ugotovili, da se je raven produktivnosti od opazovanja v času t do opazovanja v času $t+1$ povečala za 10 %. A hkrati bi kazala evalvacija produktivnosti po tipu 2, da se je produktivnost do točke opazovanja v času $t+1$ povečala za 4

odstotne točke manj, kot je bilo načrtovano. To pa pomeni, da management produktivnosti ni bil učinkovit, saj je dejanska rast produktivnosti zaostajala za ciljno.

Tretja faza, to je faza načrtovanja produktivnosti, je torej prav tako vitalnega pomena. V njej namreč tudi določimo izhodišča za opredeljevanje strategij izboljševanja produktivnosti, ki je zadnja faza v omenjenem procesu. Ločimo pa dva vidika načrtovanja produktivnosti: načrtovanje v kratkem roku in načrtovanje v dolgem roku. Kot kratek rok je običajno privzeto obdobje do enega leta. Za dolgi rok pa ni enotne opredelitve, oziroma ji je skupno le to, da je dolgi rok obdobje daljše od enega leta.

Zadnja faza v ciklu managementa produktivnosti je faza izboljševanja produktivnosti. Sumanth (1998, 94) navaja kar 70 različic oziroma tehnik izboljševanja produktivnosti, ki temeljijo na industrijskem inženirstvu, operacijskih raziskavah, računalniškem inženiringu, managementu, psihologiji in na drugih vedah ter disciplinah. Ta faza je v bistvu dvostopenjski proces:

- prva stopnja je izbira primerne množice tehnik izboljšanja produktivnosti,
- druga stopnja pa je razvoj implementacijskega plana za aplikacijo izbranih tehnik v realno življenje.

Pri izbiri oziroma selekciji uporabnih tehnik izboljšanja produktivnosti iz množice razpoložljivih tehnik se management poslužuje različnih načinov, kot so: intuitivna izbira, uporaba določenih kvantitativnih metod, ali pa kombinacija obojega – torej intuicije na temelju izkušenj in uporabo zahtevnejšega metodološkega instrumentarija. Pri razvoju implementacijskega plana pa gre za izbiro med naslednjimi različicami uporabe izbranih tehnik:

- prva različica izboljšanja produktivnosti se odraža skozi naraščanje outputa pri nespremenjeni porabi obsega inputov,
- druga različica se odraža skozi rast outputa ob hkratnem zmanjševanju porabe inputov,
- tretja različica pomeni, da enak output ustvarimo z zmanjšanjem inputov,
- četrta različica pomeni izboljšanje produktivnosti na temelju rasti porabe inputov, pri čemer pa je rast outputa hitrejša od rasti porabe inputov,
- peta različica pa se odraža skozi hitrejše zmanjševanje inputov glede na hitrost zmanjševanja outputa.

Management produktivnosti je torej v bistvu enostaven proces, katerega osrednja faza je v resnici merjenje produktivnosti. Kakovost in vsebinski domet metod merjenja namreč določata vsebinsko razsežnost vrednotenja (evalviranja) produktivnosti, ta pa določa predloge za izboljšavo in konkretno aplikacijo teh predlogov v gospodarsko stvarnost.

0.3 Problem proučevanja

Kot izhaja iz opisane konceptualizacije managementa produktivnosti, je v njegovo osrčje postavljeno merjenje produktivnosti. Sama raven produktivnosti pa je opredeljena z dvema spremenljivkama. Prva spremenljivka je proizvodna tehnologija, ki vključuje ob proizvodni opremi tudi znanje in izkušnje tistih, ki posredno in/ali neposredno upravljajo z opremo. Druga spremenljivka pa je učinkovitost izkoriščanja razpoložljive tehnologije oz. t.i. tehnična učinkovitost. Ekonomske implikacije tehnične učinkovitosti se izražajo skozi stroškovno učinkovitost. Spremljanje stroškovne učinkovitosti pa je nujno za ustrezno ekonomsko evalvacijo ukrepov namenjenih izboljševanju produktivnosti.

Naša spoznanja, pridobljena v okviru izvajanja aplikativnih projektov, so delno zajeta v izpostavljenih zaključnih delih (diplomska naloga, magistrski nalogi, doktorska disertacija) in jasno izpostavljajo osrednji problem – to je, kako pretvoriti izmerjeno tehnično učinkovitost proizvodnega procesa v ustrezno ovrednotenje stroškovne učinkovitosti tega procesa. Najina aplikativna raziskovanja so naju pripeljala do končne rešitve, ki je zapisana v obliki matematične enačbe t.i. OCE algoritma. Prav izpeljava definicijske funkcije, ki deterministično povezuje tehnično učinkovitost s stroškovno učinkovitostjo, je osrednji problem proučevanja, ki ga razvijamo v pričujoči monografiji.

Pristop k oblikovanju vsebine, ki obsega naslednjih sedem poglavij, sledi zaporedju raziskovalnega dela, ki sva ga opravila skozi proces razvoja algoritma OCE.

1. V prvem poglavju je razvita mikroekonomska teorija proizvodnih funkcij, ki sledi neoklasični mikroekonomiki in utemeljuje tehnično učinkovitost kot osrednjo značilnost inherentno proizvodnim funkcijam.
2. V drugem poglavju o mikroekonomskih stroškovnih funkcijah, povzetih prav tako iz neoklasične mikroekonomske teorije, utemeljujemo relacije, ki razkrivajo, da se ekonomske posledice tehnične učinkovitosti odražajo v doseženih ravneh stroškovne učinkovitosti. Prvi dve poglavji sta teoretične narave in zahtevata ustrezno prilagoditev za praktično aplikacijo. Ta prilagoditev je razvita v sklopu tretjega in četrtega poglavja.
3. V tretjem poglavju razvijamo proizvodno funkcijo za namene aplikativnih analiz.
4. V četrtem poglavju razvijamo stroškovno funkcijo za namene aplikativnih analiz.
5. Peto poglavje je empirična analiza funkcijske povezanosti med tehnično in stroškovno učinkovitostjo na primeru livarne. To poglavje razkriva v svoji vsebini aplikativno raziskovalno delo v sklopu projekta Razvoj modela za monitoring stroškovne učinkovitosti avtomatizirane proizvodnje in v aplikativnem delu povzema vsebino empirične analize, ki jo je v sklopu sodelovanja na aplikativnem projektu v svoji magistrski nalogi podrobneje predstavil Čuk (2009). To poglavje tako ponazarja empirično analizo regresijske zveze med tehnično in stroškovno učinkovitostjo ter v sklepu utemeljuje, da regresijska zveza ne ustreza vsebinski naravi povezave med tehnično in stroškovno učinkovitostjo. Izkaže se, da zveza med tehnično in stroškovno učinkovitostjo ni regresijska ampak je deterministična.
6. Kakšna je ustrezna matematična formulacija, razkriva vsebina šestega poglavja.
7. Sedmo poglavje je sklep, predstavljen v obliki izbranc študije primera.

1 MIKROEKONOMSKA TEORIJA PROIZVODNE FUNKCIJE

Proizvodnja je proces, v katerem se relativno redki proizvodni dejavniki porabljajo za proizvodnjo blaga (to je proizvodov in storitev, ki so namenjeni prodaji na trgu). Zaradi tega proizvodno funkcijo definiramo kot tehnično zvezo med obsegom proizvodnje in obsegom porabljenih proizvodnih dejavnikov.

1.1 Definicije, predpostavke in omejitve

Proizvodne funkcije lahko analiziramo na različnih ravneh. Mikroekonomska proizvodna funkcija se nanaša na posameznega proizvajalca. Če združimo vse proizvajalce določenega blaga v enotno skupino, dobimo sektor narodnega gospodarstva. Zakonitosti proizvodnje posameznih sektorjev analiziramo s sektorsko proizvodno funkcijo. Če združimo vse proizvajalce iz različnih sektorjev narodnega gospodarstva, bomo značilnosti proizvodnega procesa analizirali s pomočjo agregatne (narodnogospodarske) proizvodne funkcije.

V mikroekonomiki smo osredotočeni na analizo proizvodne funkcije posameznega proizvajalca, ker pa ima vsak proizvajalec v procesu proizvodnje določene specifičnosti, vpeljemo za potrebe teoretične analize ustrezen sistem predpostavk in omejitev (Bergin, 2005).

Ključne predpostavke so naslednje (Jehle in Reny, 2000; Sen, 2005):

- Proizvodna tehnologija je homogena za vse proizvajalce in povsem brezplačno dostopna vsem proizvajalcem (obstoječim in potencialnim novim proizvajalcem).
- Posamezni proizvajalec razpolaga z vsemi ključnimi informacijami in lahko brezplačno v vsakem trenutku pridobi nove informacije.
- Ni vstopnih in izstopnih pregrad med posameznimi sektorji narodnega gospodarstva.

Z navedenimi predpostavkami smo opredelili značilnosti t.i. reprezentativnega proizvajalca, kar pomeni, da teoretičnih sklepov iz analize proizvodne funkcije ne moremo preprosto posplošiti na vsak individualni primer, če katera izmed predpostavk ni izpolnjena. S tega vidika je pojasnjevalna moč teorije, ki jo gradimo, omejena na tiste primere proizvodnih procesov, kjer so navedene predpostavke izpolnjene.

Reprezentativni proizvajalec kombinira proizvodne dejavnike in ustvarja nove proizvode za namene prodaje na trgu. S pomočjo preprostega razmisleka o tem, kako je organiziran proces proizvodnje v tovarni, lahko pridemo do sklepa, da je za proizvodnjo določenega blaga ob zaposlenih delavcih zahtevana široka paleta različnih strojev, naprav, orodij, materialov, proizvodnih dvoran, skladišč in drugih stavb. Vse to, kar tvori premoženje podjetja, so različice zahtevanih proizvodnih dejavnikov, kamor uvrščamo tudi zaposlene delavce.

Število različic posameznih proizvodnih dejavnikov je v resničnosti med podjetji, ki proizvajajo enake proizvode, lahko različno. A v našem primeru proučujemo značilnosti proizvodnega procesa reprezentativnega proizvajalca. Zaradi tega bomo proizvodne dejavnike razdelili v dve skupini: prvo skupino predstavljajo zaposleni delavci, v drugo skupino pa bomo združili vse različice materialnega premoženja, zahtevanega za uresničevanje proizvodnje. S skupnim imenom bomo to drugo skupino proizvodnih dejavnikov poimenovali kapital.

Opozoriti moramo še na tretji pomemben proizvodni dejavnik, to je proizvodna tehnologija. Ta opredeljuje t.i. tehnično raven proizvodnje. Tehnična raven proizvodnje je pravzaprav imaginarni pojem, ki ga je vizualno težko opredeliti. Najlaže razumemo vsebinski pomen tehnične ravni proizvodnje, če upoštevamo, da proizvajalci uvajajo zmeraj nove in izboljšujejo obstoječe tehnološke postopke proizvodnje. Kot ilustracijo vzemimo primer proizvodnje avtomobilov. Tehnološki postopek se je od začetkov masovne proizvodnje avtomobilov do aktualnega časa močno spremenil. Ta sprememba je posledica tehnološkega napredka v času.

Posebna omejitev v ekonomski analizi proizvodne funkcije je vprašanje, ali proučujemo značilnosti proizvodne funkcije v kratkem ali v dolgem časovnem obdobju. Kratko časovno obdobje opredeljujemo kot tisto časovno obdobje, v katerem je vsaj en proizvodni dejavnik fiksen in vsaj en proizvodni dejavnik variabilen. Dolgi rok pa je opredeljen s časovnim obdobjem, znotraj katerega so vsi proizvodni dejavniki variabilni.

Kratek oziroma dolgi rok torej nimata enolično določene časovne opredelitve, ampak je to odvisno od narave proizvodnega procesa. Če gre na primer za čistilni servis, ki se sooči na tržišču s povečanim obsegom povpraševanja, lahko relativno hitro zaposli dodatnega delavca in nabavi za dodatnega delavca dodatno opremo. V tem primeru je kratek rok opredeljen na primer z enim tednom: novo opremo lahko podjetje kupi čez noč, za zaposlitev dodatnega delavca pa potrebuje na primer teden dni zaradi administrativnih postopkov. V časovnem obdobju enega tedna torej lahko izbrano podjetje prilagodi obseg zaposlenih proizvodnih dejavnikov večjemu obsegu povpraševanja.

Nasprotno pa podjetje, ki proizvaja stroje za potrebe težke industrije, težko hitro poveča svoje proizvodne zmogljivosti. Če lahko v relativno kratkem času zaposli dodatne delavce, pa potrebuje več časa za zagotovitev ustrezne opreme. Zgraditi mora novo proizvodno dvorano, nabaviti nove stroje itd. V takem primeru je lahko kratko obdobje na primer dve leti, saj uspe podjetje šele po preteku dveh let zagotoviti dovolj velik obseg kapitala za dodatno zaposlene delavce.

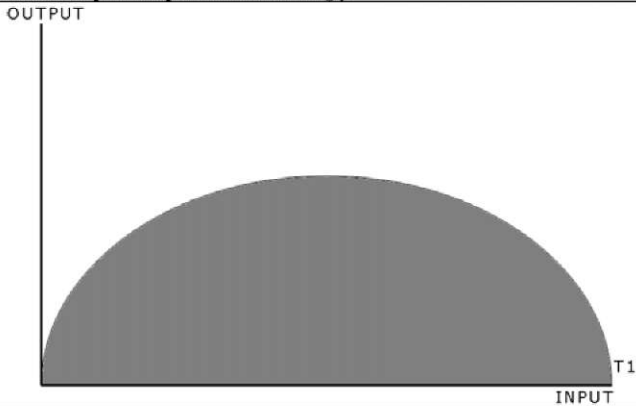
1.2 Analitični koncepti proizvodne funkcije

Proizvodno funkcijo smo definirali kot tehnično zvezo med obsegom proizvodnje in obsegom porabe proizvodnih dejavnikov.

V danem časovnem obdobju je obseg proizvodnje odvisen od obsega proizvodnih dejavnikov, od razpoložljive tehnologije in od učinkovitosti izkoriščanja te tehnologije.

V zvezi z mikroekonomsko definicijo proizvodne funkcije je treba najprej pojasniti pojem tehnologije. Tehnologija pomeni množico različnih tehnik, ki jih lahko uporabimo, da dosežemo postavljeni cilj proizvodnega procesa – torej pretvorbo razpoložljivih količin inputov v končne outpute (slika 1.1).

Slika 1.1: Množica tehnik pri dani proizvodni tehnologiji



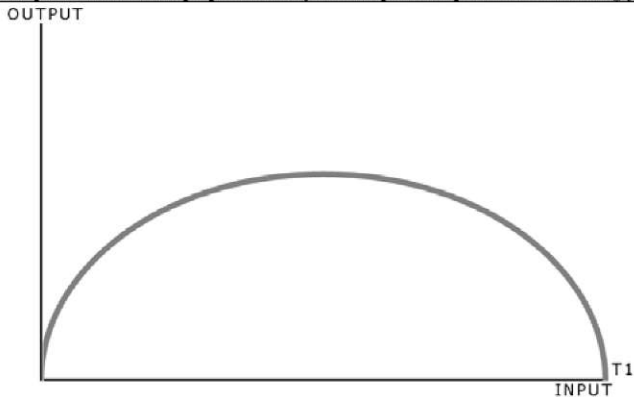
Vir: Ferko 2009, 64.

Na sliki 1.1 je prikazana zvezna množica tehnik pri dani tehnologiji T_1 . Vsaka posamična tehnika odraža različne povezave med obsegom inputa in obsegom končnega outputa. Očitno je, da so določene tehnike povezane z manjšim obsegom končnega outputa pri enakem obsegu porabljenega inputa, določene tehnike pa so takšne, ki proizvajajo manjši obseg končnega outputa pri večjem obsegu porabljenega inputa. Vse tehnike torej niso uporabne za uresničevanje proizvodnega procesa, saj so povezane s porabo prevelikega obsega inputa glede na končni obseg proizvedenega outputa.

Če iz množice potencialnih proizvodnih tehnik izberemo tiste, ki so primerne, da z njimi zasnujemo podmnožico primernih proizvodnih tehnik, moramo uporabiti vzajemno dva kriterija selekcije.

Prvič, izločimo vse tiste potencialne proizvodne tehnike, pri katerih je pri enakem obsegu porabe proizvodnih dejavnikov proizveden manjši obseg končnega outputa. Množica preostalih proizvodnih tehnik je ponazorjena na sliki 1.2.

Slika 1.2: Množica preostalih tehnik po prvi selekciji tehnik pri dani proizvodni tehnologiji

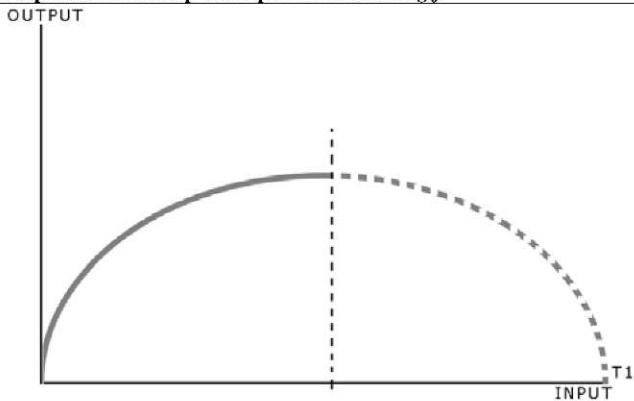


Vir: Ferko 2009, 65.

Po prvi selekciji se je obseg elementov iz množice tehnik zmanjšal na krivuljo na sliki 1.2. Na krivulji je zvezna množica proizvodnih tehnik, ki povezujejo posamezni dosegljivi obseg proizvodnje pri najmanjši mogoči porabi proizvodnega dejavnika.

V drugem koraku pa moramo izločiti še vse tiste proizvodne tehnike, ki omogočajo manjši obseg proizvodnje pri večjem obsegu porabe inputa. Grafično je druga stopnja selekcije ponazorjena s sliko 1.3.

Slika 1.3: Množica primernih tehnik pri dani proizvodni tehnologiji



Vir: Ferko 2009, 65.

Množica primernih tehnik po drugi selekciji je grafično ponazorjena z neprekinjeno krivuljo. V mikroekonomski teoriji in v teoriji operativnega managementa je ta krivulja označena kot proizvodna funkcija.

Bistvo teorije proizvodnje je proučevanje in pojasnjevanje zakonitosti, ki se pojavljajo v proizvodnji kot posledica redkosti proizvodnih dejavnikov, sprememb v tehnologiji oz.

sprememb v izbrani proizvodni tehniki. Analitično je ta analiza oukvirjena v proučevanje naslednjih analitičnih konceptov proizvodne funkcije:

- celotni proizvod,
- povprečni proizvod in
- mejni proizvod.

Celotni proizvod izraža obseg proizvodnje pri dani količini zaposlenih proizvodnih dejavnikov. Povprečni proizvod izbranega proizvodnega dejavnika izraža, koliko enot proizvoda proizvede ena enota zaposlenega proizvodnega dejavnika v povprečju. Mejni proizvod izraža spremembo obsega celotnega proizvoda, ki je pogojena z mejno spremembo v obsegu zaposlenosti posameznega proizvodnega dejavnika ob nespremenjenih ostalih stvareh. Mejni proizvod lahko izračunamo samo za variabilni proizvodni dejavnik, saj se fiksni ne spreminja.

Ker je vsebinsko jedro teorije proizvodne funkcije proučevanje odnosov med posameznimi analitičnimi koncepti, bomo za lažjo razumljivost analiz, ki jih bomo predstavili v nadaljevanju, uvedli enotne oznake, ki jih povzemamo v tabeli 1.1.

Tabela 1.1: Analitični koncepti proizvodne funkcije

Analitični koncept	Simbol
Celotni proizvod	TP
Povprečni proizvod	AP_i
Mezni proizvod	MP_i

Simboli: i – označuje posamezni proizvodni dejavnik.

Opombe: Kratice za označevanje posameznih analitičnih konceptov izhajajo iz angleških poimenovanj: Total product (TP), Average product (AP), Marginal product (MP).

1.3 Metode analize proizvodne funkcije

Kako izračunamo posamezne analitične koncepte proizvodne funkcije je odvisno od tega, v kakšni obliki je proizvodna funkcija podana. Lahko jo namreč predstavimo v treh različnih oblikah:

- zapis v obliki tabele,
- matematična specifikacija,
- grafična oblika.

V odvisnosti od tega, v kateri obliki je proizvodna funkcija dana, ločimo tri načine njene analize:

- diskretna analiza proizvodne funkcije (uporabimo jo takrat, ko so podatki o obsegu proizvodnje in obsegu porabljenih proizvodnih dejavnikov podani v tabeli),
- zvezna analiza proizvodne funkcije (uporabimo jo takrat, ko je zveza med obsegom proizvodnje in obsegom porabljenih proizvodnih dejavnikov podana z matematično funkcijo),
- grafična analiza (uporabimo jo, če želimo funkcijsko povezanost med obsegom proizvodnje in obsegom porabljenih proizvodnih dejavnikov predstaviti grafično v ustreznem koordinatnem sistemu).

Tabela 1.2: Definijski obrazci proizvodne funkcije

	Diskretna analiza	Zvezna analiza
Celotni proizvod (TP)	Podan kot podatek v tabeli	Kot matematična funkcija $TP = f(X_i)$
Povprečni proizvod (AP_i)	$\frac{TP}{X_i}$	$\frac{TP}{X_i}$
Mejni proizvod (MP_i)	$\frac{\Delta TP}{\Delta X_i}$	$\frac{\partial TP}{\partial X_i}$

Vsi trije načini podajanja in analize proizvodnih funkcij so med seboj povezani. Izhodišče predstavlja proizvodna funkcija v obliki tabele.

1.3.1 Zapis proizvodne funkcije v obliki tabele

Konceptualno je zapis proizvodne funkcije ponazorjen v tabeli 1.3.

Tabela 1.3: Primer diskretne proizvodne funkcije

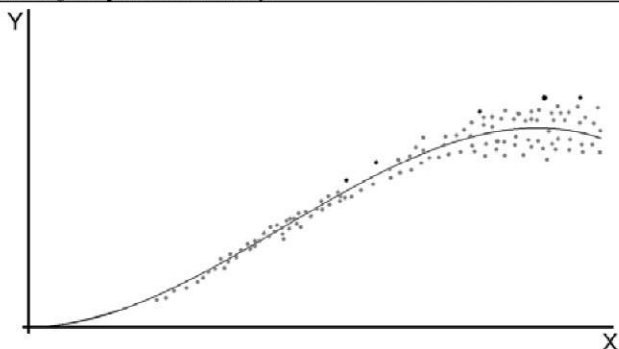
Opazovanje	Obseg porabe proizvodnega dejavnika X	Celotni proizvod (TP)
1	X_1	TP_1
2	X_2	TP_2
3	X_3	TP_3
...
N	X_n	TP_n

Na temelju opazovanj obsega proizvodnje in porabe proizvodnih dejavnikov v tabeli 1.3 lahko z uporabo ekonometričnih metod določimo parametre proizvodne funkcije, zapisane v obliki matematične enačbe.

1.3.2 Matematična specifikacija proizvodnih funkcij

Izhodišče ekonometričnega določanja matematične specifikacije proizvodne funkcije je razsevni diagram, prikazan v sliki 1.4.

Slika 1.4: Razsevni diagram proizvodne funkcije



Vir: Prirejeno po Ferko 2009, 72.

Opomba: Y – output, X – input.

V sliki 1.4 je v obliki razsevnega diagrama ponazorjena povezava med posameznimi obsegi porabe proizvodnega dejavnika X in pripadajočim obsegom proizvodnje TP. Z uporabo ene izmed razpoložljivih cenilk, namenjenih ocenjevanju parametrov regresijske funkcije, bi dobili matematični zapis te tehnične zveze.

Običajno je za matematični zapis te tehnične zveze uporabljen polinom tretje stopnje (glej na primer McKenzie in Lee, 2006):

$$TP = b_2 X^2 - b_3 X^3 \quad (1.1)$$

in je definirana v intervalu:

$$0 \leq X \leq \left(\frac{\partial TP}{\partial X} = 0 \right). \quad (1.2)$$

V tem primeru meri spremenljivka TP output, spremenljivka X pa meri input. Pogoji, da je količina outputa nenegativna in večja ali enaka nič, je vsebinsko razumljiv, saj ne moremo zaposlovati negativnih količin proizvodnih dejavnikov. Dodatni pogoj, podan z zapisom, da je količina inputa kvečjemu enaka količini, kjer je dosežen ekstrem proizvodne funkcije, pa je posledica procesa oblikovanja množice primernih tehnik. Zapis

$$\frac{\partial TP}{\partial X} = 0 \quad (1.3)$$

je namreč robni pogoj, ki označuje točko, v kateri je odvod proizvodne funkcije enak nič. To je v splošnem pogoj, da funkcija v tej točki doseže ekstrem (minimum ali maksimum). Glede na to da je zaloga vrednosti proizvodne funkcije podana s pogojem $TP \geq 0$, imamo možnosti dveh ekstremov. Prvi je minimum (takrat ko je obseg proizvodnje 0). Drugi ekstrem pa je maksimum. Zapis

$$\frac{\partial TP}{\partial X} = 0 \quad (1.4)$$

implicira prav tisto točko inputa, v kateri doseže proizvodna funkcija svoj maksimum.

Če predpostavimo, da je matematični zapis proizvodne funkcije pri danih omejitvah ustrezen, potem lahko za funkcijo $Y = f(X)$ določimo funkciji, ki določata povprečno produktivnost proizvodnega dejavnika in njegovo mejno produktivnost.

S **povprečno produktivnostjo** proizvodnega dejavnika merimo obseg outputa, ki odpade na eno enoto inputa. Gre torej za razmerje, ki je tehnično opredeljeno kot:

$$\bar{Y} = \frac{f(X)}{X} = b_2 X - b_3 X^2. \quad (1.5)$$

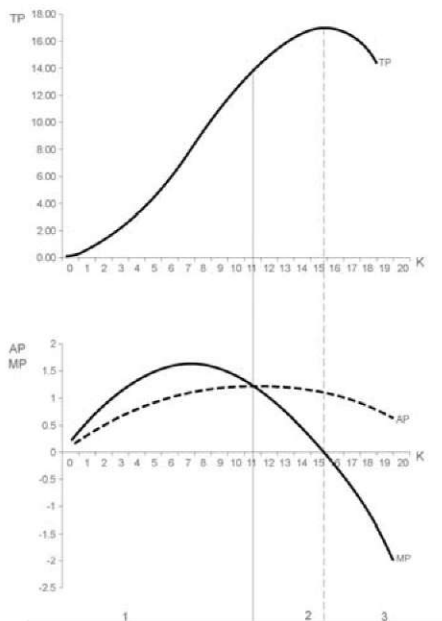
Drugi analitični koncept pa je **mejna produktivnost inputa**. Z mejno produktivnostjo merimo, kako se spreminja celotni output v odvisnosti od rasti inputa. Matematični zapis mejne produktivnosti je običajno naslednji:

$$Y' = \frac{\partial f(X)}{\partial X} = 2b_2 X - 3b_3 X^2. \quad (1.6)$$

1.3.3 Grafična analiza

Z grafično analizo samo vizualno predstavimo zakonitosti bodisi z uporabo podatkov diskretne analize bodisi z uporabo podatkov zvezne analize. S pomočjo grafične analize bomo pojasnili ključne zakonitosti, ki smo jih spoznali pri diskretni oziroma zvezni analizi. V sliki 1.5 so narisani grafi celotnega proizvoda, povprečnega proizvoda in mejnega proizvoda, s predpostavko, da lahko spreminjamo samo obseg enega proizvodnega dejavnika, to je variabilnega, pri danem obsegu drugih proizvodnih dejavnikov, to je fiksnih.

Slika 1.5: Grafi funkcij celotnega, povprečnega in mejnega proizvoda ter proizvodna območja



Celotni proizvod z dodajanjem proizvodnega dejavnika najprej narašča progresivno, kar pomeni, da vsaka dodatna enota tega proizvodnega dejavnika proizvede vedno več dodatnih enot proizvoda. To je mogoče razbrati tudi iz naraščajoče funkcije mejnega proizvoda. Če od točke maksimalne mejne produktivnosti naprej povečujemo obseg zaposlenosti proizvodnega dejavnika kapital, celotni proizvod sicer narašča, vendar po zmeraj nižji stopnji. Gre za t.i. degresivno rast celotnega proizvoda.

Celotni proizvod ima opredeljeno zgornjo mejo, ki je analitično opredeljena s tisto točko, pri kateri je mejni proizvod enak 0. Če povečamo obseg zaposlenosti proizvodnega dejavnika od te točke naprej, se celotni proizvod zmanjša, posledično pa mejni proizvod proizvodnega dejavnika postane negativen.

Prikazana proizvodna funkcija ima torej opredeljena tri proizvodna območja:

- V prvem območju se povečuje obseg proizvodnje na enoto variabilnega proizvodnega dejavnika in doseže maksimum.
- V drugem proizvodnem območju povprečna produktivnost fiksnih proizvodnih dejavnikov še zmeraj narašča, saj se povečuje obseg celotnega proizvoda. Hkrati pa se v tem področju zmanjšuje povprečna produktivnost variabilnega proizvodnega dejavnika. To območje označujemo tudi kot ekonomsko področje proizvajanja.
- V tretjem proizvodnem območju se zmanjšuje povprečna produktivnost fiksnih in variabilnih proizvodnih dejavnikov. To je posledica dejstva, da postajajo fiksni proizvodni dejavniki preobremenjeni z naraščajočo količino variabilnih proizvodnih dejavnikov.

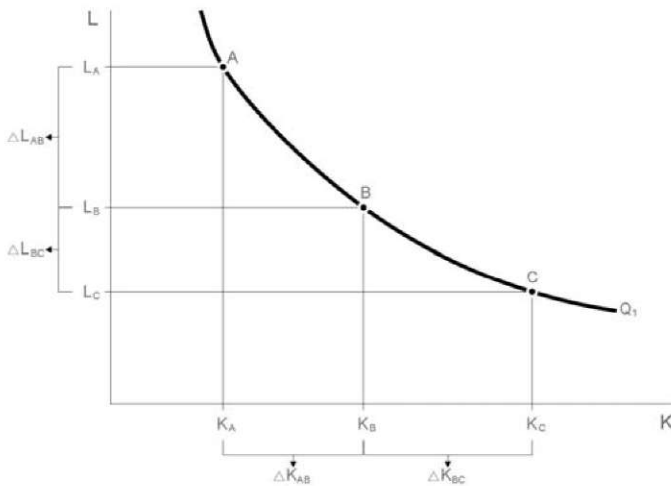
Izvor teh zakonitosti je v temeljnem ekonomskem problemu – to je v redkosti proizvodnih dejavnikov. S pomočjo analize proizvodne funkcije smo spoznali tri ekonomske zakonitosti, ki izhajajo iz temeljne ekonomske zakonitosti in so značilne za kratek rok. To so zakonitosti naraščajočega, padajočega in negativnega mejnega proizvoda.

1.4 Izokvanta

Izokvanta je nivojnica proizvodne funkcije in povezuje vse tiste kombinacije količin različnih proizvodnih dejavnikov, pri katerih je obseg proizvodnje enak. V ekonomski terminologiji označujemo izokvante tudi kot krivulje enakega proizvoda.

V našem primeru imamo na razpolago dva proizvodna dejavnika, delo in kapital, proizvodna tehnologija pa nam omogoča, da z različnimi kombinacijami dela in kapitala proizvedemo enak obseg proizvoda. Primer izokvante je predstavljen v sliki 1.6.

Slika 1.6: Izokvanta



Predpostavimo, da je izhodiščna kombinacija proizvodnih dejavnikov za proizvodnjo Q_1 enot proizvoda ponazorjena s točko A na izokvanti. V tem primeru zaposluje podjetje L_A enot dela in K_A enot kapitala, da proizvede Q_1 enot proizvoda. Enak obseg proizvoda pa lahko podjetje proizvede tudi, če zmanjša obseg zaposlenosti dela od L_A na raven L_B in hkrati poveča obseg zaposlenosti kapitala od K_A na raven K_B (premik iz točke A v točko B). V tem primeru je podjetje zamenjalo določen obseg dela za določen obseg kapitala in pri tem ohranilo nespremenjen obseg proizvodnje. Ta obseg proizvodnje pa je mogoče proizvesti na primer tudi s kombinacijo L_C enot dela in K_C enot kapitala (premik iz točke B v točko C).

Menjava proizvodne tehnike je povezana s substitucijo prvega proizvodnega dejavnika (delo) z drugim proizvodnim dejavnikom (kapital). Zanimivo je primerjati količinska razmerja med obsegom zamenjave proizvodnih dejavnikov. Pri premiku iz točke A v točko B smo zmanjšali obseg dela za ΔL_{AB} enot in povečali obseg kapitala za ΔK_{AB} enot. Pri pomiku iz točke B v

točko C pa smo zmanjšali obseg dela za ΔL_{BC} in povečali obseg kapitala za ΔK_{BC} . S slike 1.6 je razvidno, da je zmanjšanje obsega dela v primeru premika iz točke A v točko B večje kot v primeru premika iz točke B v točko C ($\Delta L_{AB} \geq \Delta L_{BC}$). Obratno je povečanje obsega kapitala pri premiku iz točke A v točko B povezano z manjšim povečanjem obsega kapitala kot pri premiku iz točke B v točko C ($\Delta K_{AB} \leq \Delta K_{BC}$).

Razmerje med zmanjšanjem obsega proizvodnega dejavnika delo in povečanjem obsega proizvodnega dejavnika kapital pri premiku po isti izokvanti ima v ekonomski teoriji poseben vsebinski pomen. Ta koeficient nam namreč pove, za koliko enot moramo zmanjšati obseg zaposlenosti proizvodnega dejavnika delo, če povečamo obseg zaposlenosti proizvodnega dejavnika kapital za dodatno enoto in pri tem ohranimo nespremenjen obseg proizvodnje. Koeficient, ki meri to razmerje, imenujemo **mejna stopnja tehnične substitucije**. V konkretnem primeru izračunamo ta koeficient takole:

$$MSTS = \frac{\Delta L}{\Delta K}. \quad (1.7)$$

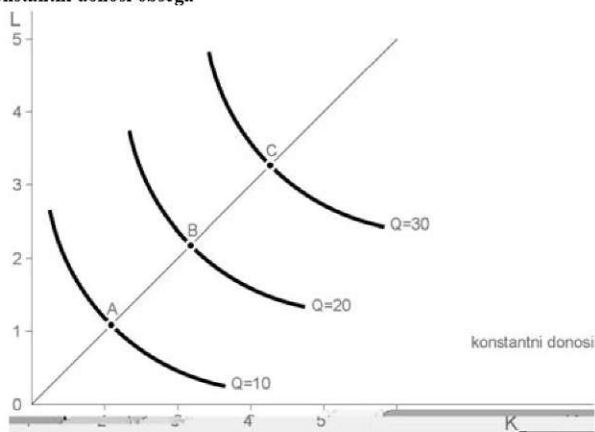
Ker je povečanje zaposlenosti enega proizvodnega dejavnika pogojeno z ustreznim zmanjšanjem drugega proizvodnega dejavnika, ima ta koeficient negativen predznak, kar odraža temeljno zakonitost proizvodne funkcije v dolgem časovnem obdobju. To je **zakonitost padajoče mejne stopnje tehnične substitucije**. Ta zakonitost pomeni, da lahko žrtvujemo zmeraj manj enot enega proizvodnega dejavnika z namenom, da povečamo obseg zaposlenosti drugega proizvodnega dejavnika in pri tem ohranimo nespremenjen obseg proizvodnje.

V kratkem časovnem obdobju (ko je prvi proizvodni dejavnik fiksni, drugi pa variabilni) se pojavlja zakon padajočega mejnega proizvoda. V dolgem obdobju, ko lahko poljubno prilagajamo oba proizvodna dejavnika, pa se ta zakon odraža v zakonitosti padajoče mejne stopnje tehnične substitucije.

S pomočjo izokvant lahko analiziramo tudi, kako se spreminja obseg proizvodnje, če hkrati povečujemo obseg zaposlenosti obeh proizvodnih dejavnikov. Imamo tri različna razmerja.

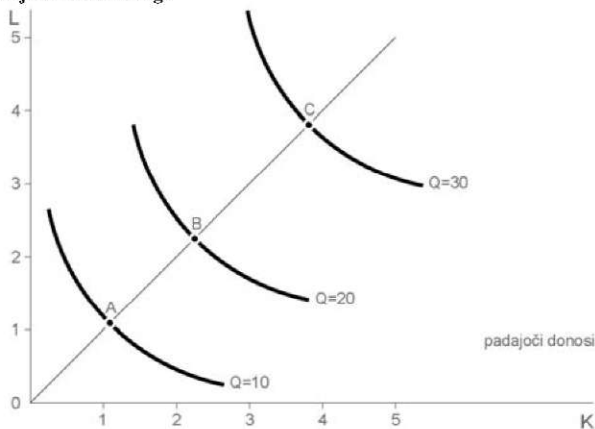
Na sliki 1.7 vidimo, da je proporcionalno (enakomerno) povečanje obsega zaposlenosti obeh proizvodnih dejavnikov hkrati povezano s proporcionalnim povečanjem obsega proizvodnje. Takšno spremembo, ko je proporcionalno povečanje obsega zaposlenosti vseh proizvodnih dejavnikov povezano s proporcionalnim povečanjem obsega proizvodnje, označujemo kot konstantne donose obsega.

Slika 1.7: Konstantni donosi obsega



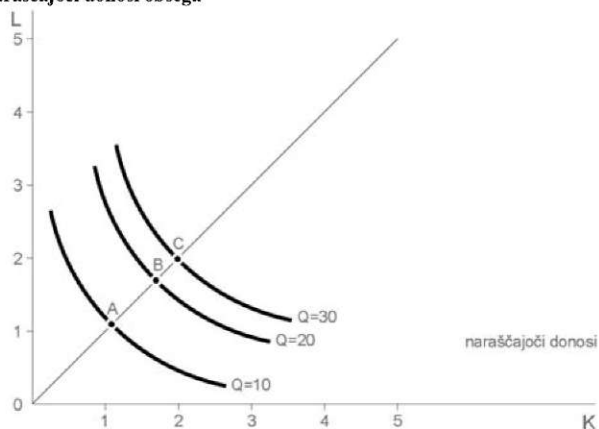
Na sliki 1.8 je prikazano povečanje obsega proizvodnje, ki je manjše od obsega hkratnega povečanja obeh proizvodnih dejavnikov. V tem primeru se torej proporcionalno povečanje zaposlenosti proizvodnih dejavnikov dela in kapitala odraža v podproporcionalnem povečanju obsega proizvodnje. V tem primeru govorimo o padajočih donosih obsega – zaposlenost proizvodnih dejavnikov smo morali povečati bolj, kot se je povečala proizvodnja.

Slika 1.8: Padajoči donosi obsega



Na sliki 1.9 pa je prikazano povečanje obsega proizvodnje, ki je večje od povečanja obsega zaposlenosti obeh proizvodnih dejavnikov hkrati. V tem primeru govorimo o naraščajočih donosih obsega.

Slika 1.9: Naraščajoči donosi obsega



Vprašanje je, zakaj so za proizvodnjo v dolgem obdobju značilni različni tipi donosov obsega? Zakaj se, prvič, proporcionalno povečanje vseh proizvodnih dejavnikov hkrati odrazi v nadproporcionalnem povečanju obsega proizvodnje, drugič, v proporcionalnem povečanju proizvodnje, in tretjič, v podproporcionalnem povečanju proizvodnje?

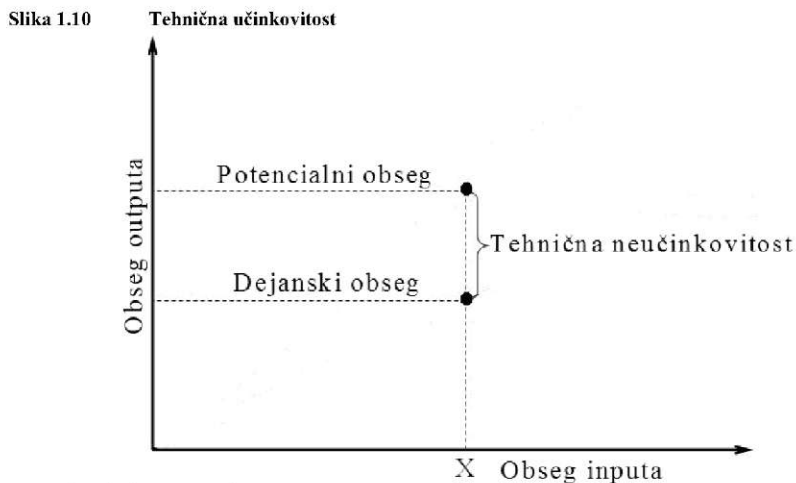
Razlog za različne tipe donosov obsega je proizvodna tehnologija. Tehnologija je skupek znanja, tehničnih postopkov, organizacijskih pravil, ki določajo proces transformacije proizvodnih dejavnikov v končne proizvode in se v času pojavlja bodisi kot akcelerator (pospeševalec) proizvodnje, lahko pa deluje tudi zaviralno. V vlogi akceleratorja je novo razvita tehnologija, ki omogoča naraščajoče donose obsega, v vlogi zaviralca pa zastarela tehnologija, ki vpliva na uveljavljanje padajočih donosov obsega.

Za lažje razumevanje lahko vpliv tehnologije na obseg proizvodnje ponazorimo s preprostim primerom informacijske tehnologije. Na primer: v velikih podjetjih z nekaj tisoč zaposlenimi postaja vsakodnevna komunikacija vse bolj obremenjujoča in teže izvedljiva. S pomočjo uporabe elektronske pošte in interneta je ta proces veliko lažji in zlasti hitrejši. Torej, če podjetje ne bi izboljšalo tehnologije (torej, če ne bi vpeljalo sodobne informacijske tehnologije), bi bil učinek večanja števila zaposlenih delavcev in hkrati večjega obsega kapitala vse manjši, saj bi postala komunikacija med posameznimi službami prenasočena in končno neučinkovita. Kljub povečanju obeh proizvodnih dejavnikov se torej obseg proizvodnje ne bi bistveno povečal. Prehod na sodobnejšo tehnologijo pa omogoča ravno nasprotni učinek, to je, da se povečanje zaposlenosti vseh proizvodnih dejavnikov hkrati odrazi v nadproporcionalnem povečanju obsega proizvodnje.

1.5 Tehnična učinkovitost

Do tega poglavja smo ponazorili vpliv obsega porabe proizvodnih dejavnikov na obseg proizvodnje ter vpliv tehnološkega napredka. Tretji dejavnik pa je tehnična učinkovitost. Tehnična učinkovitost je lastnost proizvodnih funkcij, ki odraža razmerje med dejanskim in potencialnim obsegom proizvodnje.

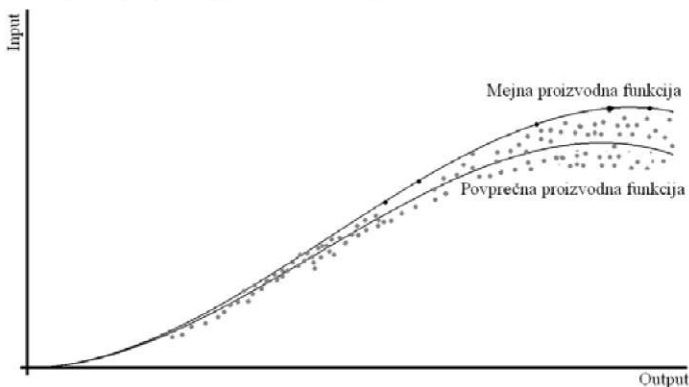
Grafično je vsebina tehnične učinkovitosti predstavljena na sliki 1.10.



Vir: prirejeno po Ferko 2009, 49.

Vpeljava tehnične učinkovitosti v proizvodno funkcijo nas pripelje do razlikovanja med povprečno proizvodno funkcijo in meta-proizvodno funkcijo. Slednjo označujemo tudi kot mejno proizvodno funkcijo. Ponazorjeni sta na sliki 1.11.

Slika 1.11 Mejna in povprečna proizvodna funkcija



Vir: prirejeno po Ferko 2009, 75.

Če spremljamo realni proces proizvodnje, bomo dobili množico povezav med obsegom inputa in obsegom outputa. To množico povezav lahko ponazorimo grafično v obliki razsevnega diagrama (slika 1.11). Med točke, prikazane v razsevnom diagramu, pa lahko umestimo krivuljo, ki predstavlja proizvodno funkcijo po dveh različnih kriterijih:

- Prvi kriterij je princip povprečenja, ki se sklada s konceptom povprečne proizvodne funkcije. Krivulja ponazarja povprečno zvezo med inputom in outputom pri različnem obsegu porabe inputov. Od te krivulje pa se porazdeljujejo dejanska razmerja navzgor in navzdol. Pri tem obstajajo tudi različni kriteriji porazdeljevanja dejanskih vrednosti od povprečne vrednosti.
 - Prvi primer je minimizacija vsote absolutnih razlik med odstopanji navzgor in navzdol glede na krivuljo.
 - Drugi primer je maksimizacija verjetnosti, da se dejanska kombinacija sklada s povprečno pričakovano kombinacijo.
 - Tretji primer je minimizacija skupne vrednosti kvadratov odklonov dejanske kombinacije od povprečno pričakovane kombinacije.

- Drugi princip pa je princip določitve t. i. mejne (angl. frontier) povezave med obsegom inputa in obsegom outputa. V tem primeru povezuje proizvodna funkcija samo tiste kombinacije obsega inputa, ki so povezane z maksimalno dosegljivim obsegom outputa. Krivulja, ki ponazarja proizvodno funkcijo, poteka v tem primeru po zgornjem robu empiričnih opazovanj. Zaradi tega jo tudi imenujemo mejna proizvodna funkcija.

Razlikovanje med konceptoma povprečne in mejne proizvodne funkcije je za vsebino pričujoče monografije primeru ključno. Razlika med njima namreč empirično odraža prisotnost t. i. tehnične neučinkovitosti, kar je prvi analitični parameter v naši analizi.

2 MIKROEKONOMSKA TEORIJA STROŠKOVNE FUNKCIJE

Proizvodnja je tehnični proces, v katerem podjetje porablja proizvodne dejavnike, rezultat tega procesa pa so proizvodi oziroma storitve, ki imajo uporabno vrednost. Temeljne zakonitosti, ki smo jih spoznali v poglavjih o teoriji proizvodnje, so zaradi tega tehnične zakonitosti.

V tem poglavju pa bomo spoznali, da imajo te tehnične zakonitosti pomembne ekonomske implikacije, ki so analitično predstavljene s stroškovnimi funkcijami.

2.1 Definicije, predpostavke in omejitve

Če v analitični okvir proizvodnih funkcij vpeljemo cene porabljenih proizvodnih dejavnikov, s tem opredelimo stroške. Ti so definirani kot v denarju izražena poraba proizvodnih dejavnikov. S tem je omogočeno, da analiziramo prelivanje tehničnih zakonitosti, ki določajo proizvodno funkcijo posameznega podjetja, v ekonomske zakonitosti, ki določajo stroškovno funkcijo tega podjetja.

V nadaljevanju je opisana teoretična izpeljava stroškovnih funkcij iz proizvodnih funkcij. Za ta namen pa moramo vpeljati omejitve. Pri teoriji proizvodnje smo spoznali t.i. ekonomsko področje proizvodnje, ki je navzgor omejeno s tistim obsegom zaposlenosti variabilnega proizvodnega dejavnika, pri katerem doseže funkcija celotnega proizvoda svojo maksimalno vrednost.

Analizo stroškov bomo omejili na prvo in drugo proizvodno območje.

2.2 Analitični koncepti stroškov

Stroški so po definiciji opredeljeni kot v denarju izražena količinska poraba proizvodnih dejavnikov, kar ustreza naslednji definicijski enačbi:

$$TC = \sum_{i=1}^n P_i \cdot X_i \quad (2.1)$$

Legenda:

P_i – cena i -tega proizvodnega dejavnika,

X_i – obseg porabe i -tega proizvodnega dejavnika.

Takšna opredelitev celotnih stroškov ni dovolj popolna. Upoštevati moramo namreč razčlenitev celotnih stroškov (TC) na fiksne (FC) in variabilne (VC):

$$TC = FC + VC \quad (2.2)$$

Stroški so ekonomska kategorija, kar pomeni, da je njihovo sistematično spreminjanje v odvisnosti od obsega proizvodnje podvrženo zakonitostim, ki izhajajo iz proizvodne funkcije. Zakonitosti proizvodne funkcije pa smo izpeljali iz temeljne ekonomske zakonitosti, to je relativne redkosti dobrin. Da smo spoznali naravo delovanja zakonitosti, ki opredeljujejo proizvodno funkcijo tipičnega neoklasičnega podjetja, smo analizirali njene posamezne

analitične koncepte. Podobno bomo za spoznavanje ekonomskih zakonitosti stroškov analizirali posamezne analitične koncepte stroškovnih funkcij, in sicer:

- celotne stroške,
- celotne fiksne stroške,
- celotne variabilne stroške,
- povprečne stroške,
- povprečne fiksne stroške,
- povprečne variabilne stroške in
- mejne stroške.

Za označevanje posameznih analitičnih vrst stroškov bomo uporabljali simbole, ki so pregledno predstavljeni v tabeli 2.1.

Tabela 2.1: Analitični koncepti stroškov

Analični koncept	Simbol
Celotni stroški	<i>TC</i>
Fiksni stroški	<i>FC</i>
Variabilni stroški	<i>VC</i>
Povprečni stroški	<i>AC</i>
Povprečni fiksni stroški	<i>AFC</i>
Povprečni variabilni stroški	<i>AVC</i>
Mejni stroški	<i>MC</i>

Opombe: Kratice za označevanje posameznih analitičnih konceptov izhajajo iz angleških poimenovanj: Total costs (TC), Fixed costs (FC), Variable costs (VC), Average costs (AC), Average fixed costs (AFC), Average variable costs (AVC), Marginal costs (MC).

Celotni stroški so denarno ovrednoteni potroški proizvodnih dejavnikov. S povprečnimi stroški merimo, koliko nas v povprečju stane proizvedena enota proizvoda. Povprečni fiksni stroški odražajo, koliko znaša v denarju ovrednotena poraba (obraba) fiksnega proizvodnega dejavnika pri proizvodnji ene enote proizvoda, povprečni variabilni stroški pa kažejo v denarnih enotah izraženo porabo (obrabo) variabilnega proizvodnega dejavnika pri proizvodnji ene enote proizvoda. Mejni stroški so posebna analitična vrsta stroškov. Ti merijo, za koliko se spremenijo celotni stroški, če proizvede podjetje dodatno (mejno) enoto produkta.

2.3 Metode analize stroškovne funkcije

Pri proizvodni funkciji smo spoznali, da imamo na voljo tri načine njene analize: diskretno analizo, zvezno analizo in grafično analizo, kar je odvisno od tega, v kakšni obliki je proizvodna funkcija podana. Ker so stroški odvisni od obsega proizvodnje, imamo možnost tudi stroškovno funkcijo predstaviti v treh različnih oblikah: kot podatek v tabeli (torej diskretno), kot zvezno matematično funkcijo ali pa grafično.

Tabela 2.2: Definijski obrazci stroškovne funkcije

	Diskretna analiza	Zvezna analiza
Celotni stroški (TC)	Podatek v tabeli	Kot matematična funkcija $TC = a + f(TP)$
Fiksni stroški (FC)	Podatek v tabeli	Določeni so s stalnim členom (a)
Variabilni stroški (VC)	Podatek v tabeli	$VC = f(TP)$
Povprečni stroški (AC)	$AC = \frac{TC}{TP}$	$AC = \frac{a + f(TP)}{TP}$
Povprečni fiksni stroški (AFC)	$AFC = \frac{FC}{TP}$	$AFC = \frac{a}{TP}$
Povprečni variabilni stroški (AVC)	$AVC = \frac{VC}{TP}$	$AVC = \frac{f(TP)}{TP}$
Mejni stroški (MC)	$MC = \frac{\Delta TC}{\Delta TP}$	$MC = \frac{\partial TC}{\partial TP}$

Enako, kot smo zapisali v poglavju o proizvodnih funkcijah, velja tudi za stroškovne funkcije, da so vsi trije načini podajanja in analize stroškovne funkcije (tabela, matematična funkcija, graf) med seboj povezani.

Ker je izhodišče za razvoj stroškovnih funkcij proizvodna funkcija, bi morali v primeru matematične izpeljave izhajati iz proizvodnih funkcij, opredeljenih z enačbami 1.1, 1.5 in 1.6. problem pri tem pa je, da bi morali za namene analitičnega opredeljevanja stroškovne funkcije izpeljati iz enačb 1.1, 1.5 in 1.6 ustrezne inverzne funkcije, kar v metodološkem pogledu presega namen te knjige. Zaradi tega matematično izpeljavo stroškovnih funkcij v nadaljevanju izpuščamo in nadaljujemo našo analizo z diskretno in grafično analizo.

2.3.1 Zapis stroškovne funkcije v obliki tabele

Konceptualno je zapis stroškovne funkcije ponazorjen v tabeli 2.3.

Tabela 2.3: Primer diskretne stroškovne funkcije

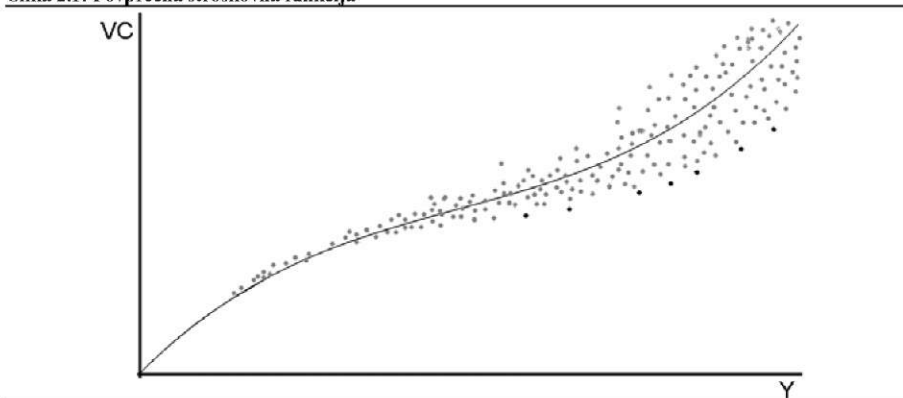
Opazovanje	Obseg porabe proizvodnega dejavnika X	Cena proizvodnega dejavnika X	Obseg proizvodnje (TP)	Celotni stroški $TC = \sum_{i=1}^n P_i \cdot X_i$
1	X_1	P	TP_1	TC_1
2	X_2	P	TP_2	TC_2
3	X_3	P	TP_3	TC_3
...
n	X_n	P	TP_n	TC_n

Na temelju opazovanj obsega proizvodnje in stroškov porabe proizvodnih dejavnikov v tabeli 2.3 lahko z uporabo ekonometričnih metod določimo parametre stroškovne funkcije, zapisane v obliki matematične enačbe.

2.3.2 Grafična izpeljava stroškovnih funkcij

Izhodišče ekonometričnega določanja matematične specifikacije stroškovne funkcije je razsewni diagram, prikazan v sliki 2.1.

Slika 2.1: Povprečna stroškovna funkcija



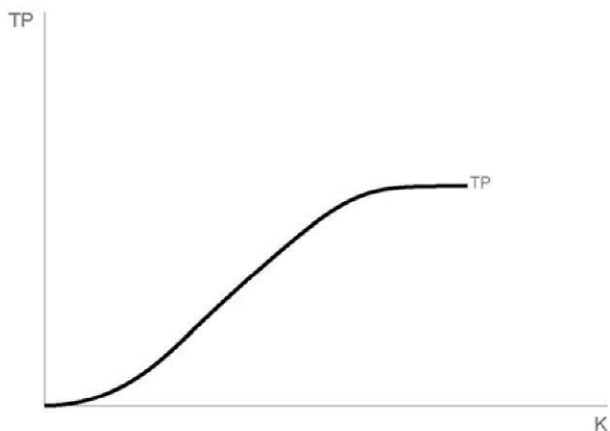
Opomba: VC – variabilni stroški, Y – output.

V sliki 2.1 je stroškovna funkcija ponazorjena z razsewnim diagramom, ki sugerira inverzni potek stroškovne funkcije glede na proizvodno funkcijo (glej sliko 1.4). To inverzno zvezo lahko sistematično ponazorimo z grafično izpeljavo stroškovne funkcije iz proizvodne funkcije.

Z grafično analizo stroškovnih funkcij vizualno predstavimo zakonitosti spreminjanja posameznih konceptov stroškov v odvisnosti od obsega proizvodnje. Grafična analiza je tudi priročen način za prikaza izpeljave funkcije celotnih stroškov iz funkcije celotnega proizvoda.

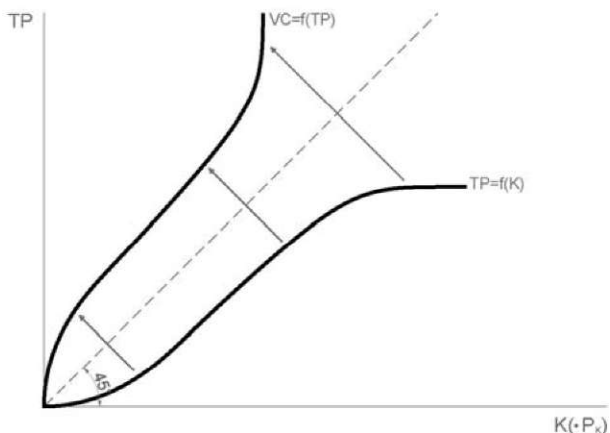
Na sliki 2.2 je prikazan stiliziran potek proizvodne funkcije. Povedali smo, da so stroški v denarju izraženi potroški proizvodnih dejavnikov. V primeru proizvodne funkcije na sliki 2.2 imamo variabilni proizvodni dejavnik kapital.

Slika 2.2: Funkcija celotnega proizvoda



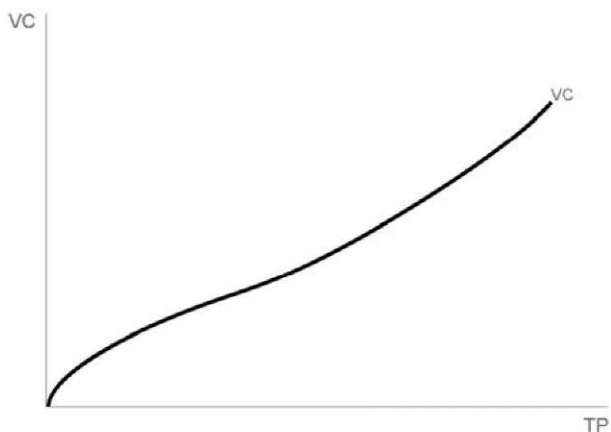
V naslednjem koraku pomnožimo spremenljivko, ki meri obseg kapitala, s ceno kapitala. Zdaj na abscisni osi ne merimo več količinskih enot porabe proizvodnega dejavnika kapital, ampak vrednost porabe kapitala, torej stroške kapitala oziroma variabilne stroške, saj je kapital v našem primeru variabilni proizvodni dejavnik. V sliki 2.3 ponazarjamo odnos med variabilnimi stroški in obsegom proizvodnje.

Slika 2.3: Izpeljava inverzne funkcije iz funkcije celotnega proizvoda



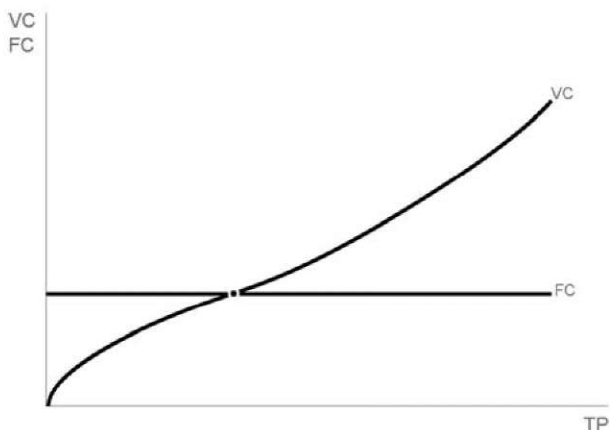
Ker so variabilni stroški funkcija obsega proizvodnje, ne pa obratno, zamenjamo osi na grafu in preslikamo točke preko 45° premice. To je grafični način iskanja inverzne funkcije. V tem primeru smo poiskali inverzno funkcijo proizvodni funkciji, kar pomeni, da smo določili stroškovno funkcijo variabilnega proizvodnega dejavnika, izpeljano iz izhodiščne proizvodne funkcije (slika 2.4).

Slika 2.4: Funkcija variabilnih stroškov



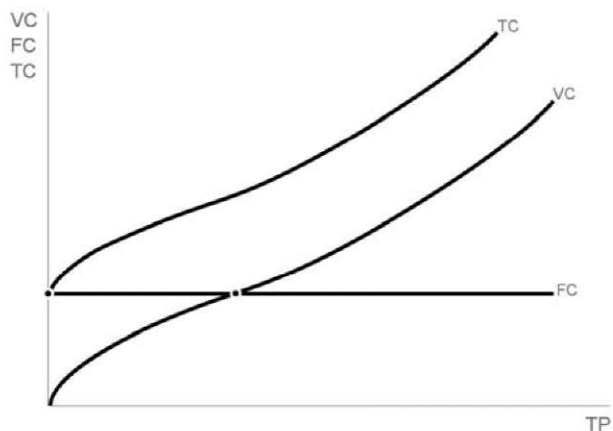
S tem smo izpeljali funkcijo variabilnih stroškov. Fiksni stroški pa so neodvisni od obsega proizvodnje in ostajajo zmeraj na enaki ravni, kar je grafično ponazorjeno z vodoravno črto na sliki 2.5.

Slika 2.5: Funkciji fiksnih in variabilnih stroškov



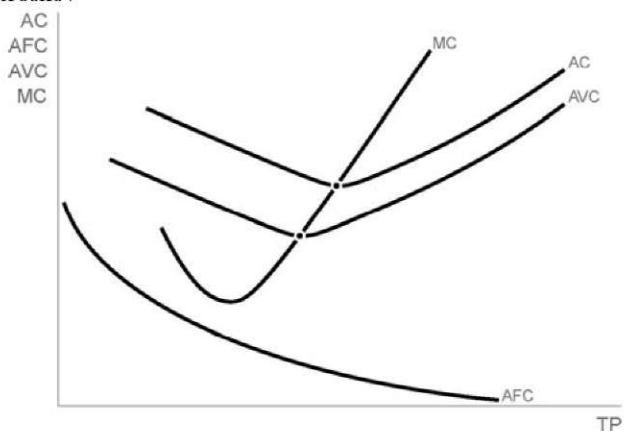
Če seštejemo fiksne stroške in variabilne stroške, dobimo celotne stroške. Vse tri krivulje stroškovnih funkcij so prikazane na sliki 2.6. Očitno je, da potek krivulje celotnih stroškov določa funkcija variabilnih stroškov, njeno oddaljenost od izhodišča pa vrednost fiksnih stroškov.

Slika 2.6: Funkcije celotnih, variabilnih in fiksnih stroškov



Podobno kot smo izpeljali krivuljo celotnih variabilnih stroškov, bi lahko z grafičnim iskanjem inverzne funkcije funkciji povprečnega proizvoda in mejnega proizvoda izpeljali funkcije povprečnih stroškov in mejnih stroškov. Postopek bi bil enak, kot je ponazorjen na sliki 2.3, le da izhodišče ne bi bila funkcija celotnega proizvoda, ampak vsota funkcij povprečnega proizvoda variabilnega in fiksnega proizvodnega dejavnika, funkcija povprečnega proizvoda variabilnega proizvodnega dejavnika, funkcija povprečnega proizvoda fiksnega proizvodnega dejavnika in funkcija mejnega proizvoda. Končni rezultat, to je funkcije povprečnih stroškov, povprečnih fiksnih stroškov, povprečnih variabilnih stroškov in mejnih stroškov, je vrisan v sliki 2.7.

Slika 2.7: Funkcije mejnih, povprečnih, povprečnih variabilnih in povprečnih fiksnih stroškov



Povprečni fikсни stroški se neprestano zmanjšujejo. Povprečni variabilni stroški se sprva zmanjšujejo, nato dosežejo svoj minimum in zatem začnejo naraščati. Ker se povprečni fikсни

stroški neprestano zmanjšujejo z večanjem obsega proizvodnje, se vpliv povprečnih fiksnih stroškov na gibanje povprečnih stroškov neprestano zmanjšuje. Mejni stroški se v začetku zmanjšujejo (to izhaja iz tehnične zakonitosti v proizvodnji, ko mejni proizvod v začetku narašča), nato dosežejo svoj minimum (kar je povezano z maksimumom mejnega proizvoda) in zatem začnejo naraščati (to je povezano z zmanjševanjem mejnega proizvoda).

Če analiziramo relevantni del stroškovnih funkcij in ta spoznanja primerjamo z ugotovitvami o značilnostih proizvodnih funkcij, lahko oblikujemo naslednje sklepe:

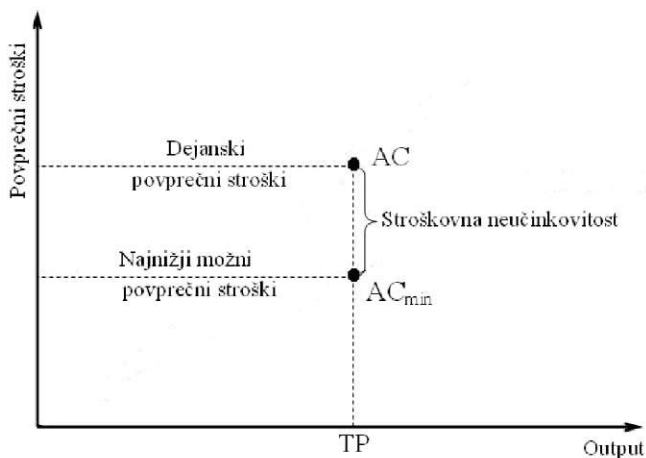
- Stroškovna funkcija je naraščajoča funkcija obsega proizvodnje in navzgor ni omejena (proizvodna funkcija je funkcija obsega zaposlenosti proizvodnih dejavnikov in je navzgor omejena).
- Povprečni stroški se najprej zmanjšujejo (to je takrat, ko povprečna produktivnost proizvodnih dejavnikov narašča), nato dosežejo svoj minimum v sečišču s funkcijo mejnih stroškov in zatem začnejo naraščati (takrat, ko se povprečna produktivnost proizvodnih dejavnikov zmanjšuje).
- Povprečni variabilni stroški se najprej zmanjšujejo (to je takrat, ko povprečna produktivnost variabilnega proizvodnega dejavnika narašča), nato dosežejo svoj minimum v sečišču s funkcijo mejnih stroškov in zatem začnejo naraščati (takrat, ko se povprečna produktivnost variabilnega proizvodnega dejavnika zmanjšuje).
- Povprečni fiksni stroški se zmanjšujejo s povečevanjem obsega proizvodnje.
- Mejni stroški se najprej zmanjšujejo (takrat ko mejni proizvod narašča), nato dosežejo svoj minimum (takrat, ko doseže mejni proizvod maksimum), zatem pa naraščajo (ko se mejni proizvod zmanjšuje).
- Med povprečnimi in povprečnimi variabilnim stroški je pri začetnem obsegu proizvodnje velika razlika, kar je posledica dejstva, da so povprečni fiksni stroški visoki. Z večanjem obsega proizvodnje se povprečni fiksni stroški permanentno zmanjšujejo proti vrednosti 0. V strukturi povprečnih stroškov se tako vedno bolj povečuje vpliv povprečnih variabilnih stroškov. Zaradi tega se funkciji povprečnih variabilnih stroškov in povprečnih stroškov približujeta s povečevanjem obsega proizvodnje.

2.4 Stroškovna učinkovitost

Tako kot smo pri proizvodni funkciji utemeljili tehnično učinkovitost, velja to zaradi izpeljave stroškovnih funkcij iz proizvodnih funkcij tudi za stroškovne funkcije. V tem primeru govorimo o stroškovni učinkovitosti.

Grafično je vsebina stroškovne učinkovitosti predstavljena na sliki 2.8.

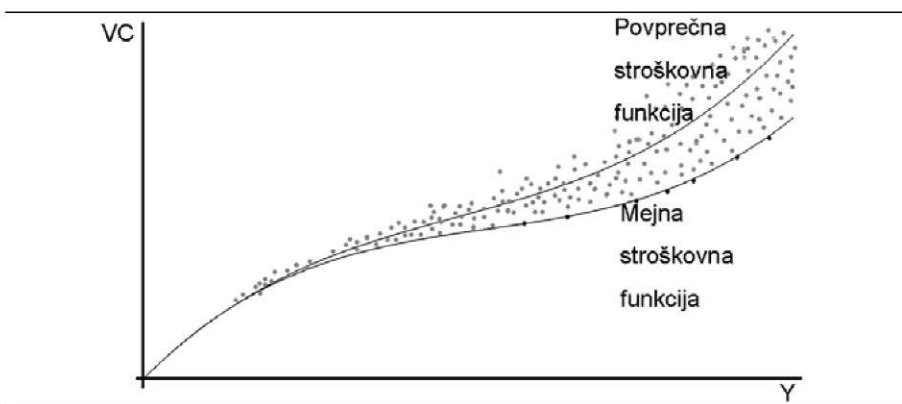
Slika 2.8: Stroškovna učinkovitost



Kot izhaja iz zgornje slike, je stroškovna neučinkovitost opredeljena kot odstopanje dejanskih povprečnih stroškov od najnižjih možnih povprečnih stroškov.

Vpeljava stroškovne učinkovitosti v stroškovno funkcijo nas pripelje do razlikovanja med povprečno stroškovno funkcijo in meta-stroškovno funkcijo. Slednjo označujemo tudi kot mejna stroškovna funkcija.

Slika 2.9: Povprečna in mejna stroškovna funkcija



Vir: Prirejeno po Ferko 2009, 75.
Opomba: VC – variabilni stroški, Y – output.

Če spremljamo realni proces proizvodnje, bomo dobili množico povezav med obsegom proizvodnje in stroški. To množico povezav lahko ponazorimo grafično v obliki razsevnega diagrama (slika 2.9). Med točke, prikazane v razsevnom diagramu, pa lahko umestimo krivuljo, ki predstavlja stroškovno funkcijo po dveh različnih kriterijih:

- Prvi kriterij je princip povprečenja, ki se sklada s konceptom povprečne stroškovne funkcije. Krivulja ponazarja povprečno zvezo med obsegom proizvodnje in stroški. Od te krivulje pa se porazdeljujejo dejanska razmerja navzgor in navzdol. Pri tem obstajajo tudi različni kriteriji porazdeljevanja dejanskih vrednosti od povprečne vrednosti.
 - Prvi primer je minimizacija vsote absolutnih razlik med odstopanji navzgor in navzdol glede na krivuljo.
 - Drugi primer je maksimizacija verjetnosti, da se dejanska kombinacija sklada s povprečno pričakovano kombinacijo.
 - Tretji primer je minimizacija skupne vrednosti kvadratov odklonov dejanske kombinacije od povprečno pričakovane kombinacije.
- Drugi princip pa je princip določitve t. i. mejne (angl. frontier) povezave med obsegom proizvodnje in stroški. V tem primeru povezuje stroškovna funkcija samo tiste kombinacije obsega proizvodnje, ki so povezane z minimalnimi dosegljivimi stroški. Krivulja, ki ponazarja stroškovno funkcijo, poteka v tem primeru po spodnjem robu empiričnih opazovanj. Zaradi tega jo tudi imenujemo mejna stroškovna funkcija.

Tako kot smo v poglavju o proizvodni funkciji izpostavili, da je razlikovanje med konceptoma povprečne in mejne proizvodne funkcije je za vsebino pričujoče monografije primeru ključno, to velja tudi za razlikovanje med povprečno in mejno stroškovno funkcijo. Razlika med njima namreč empirično odraža prisotnost t. i. stroškovne neučinkovitosti, kar je drugi izmed osrednjih analitičnih parametrov v naši analizi.

S pomočjo mikroekonomskih mejnih proizvodnih in mejnih stroškovnih funkcij je mogoče jasno utemeljiti tehnične in ekonomske razsežnosti neučinkovitosti proizvodnega procesa na način, kot ga obstoječa literatura s področja operativnega managementa in s področja managementa produktivnosti ne obravnava (glej na primer Brown e tal., 2000; Dilworth, 2000; Greasley, 2006; Heizer in Render, 2004; Ritzman in Krajewski, 2003; Smith, 2005). Prav zaradi tega v naslednjem poglavju podrobneje predstavljamo opis koncepta tehnične in stroškovne neučinkovitosti na način ali pa skozi perspektivno teorije operativnega managementa, ne pa skozi perspektivo mikroekonomske teorije.

3 RAZVOJ PROIZVODNE FUNKCIJE ZA NAMENE EMPIRIČNE ANALIZE

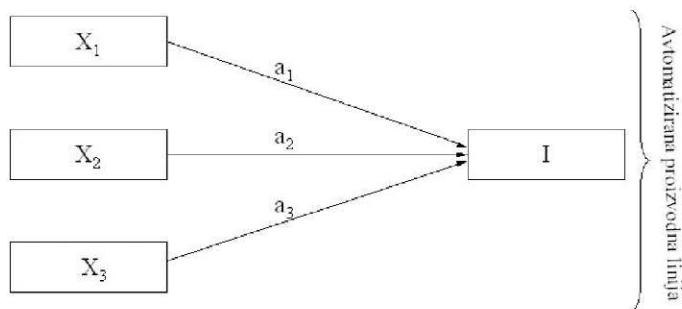
V poglavju 1 smo razvijali teoretični vidik proizvodne funkcije. Namen tega poglavja pa je nadgraditi teoretični okvir na način, ki nam bo omogočal empirično aplikacijo in evalvacijo proizvodnih funkcij. Osrednji namen empirične aplikacije in evalvacije proizvodnih funkcij je njih praktična uporaba za namene managementa produktivnosti. V nadaljevanju povzemamo poenostavljen pristop primerni teoretični izpeljavi proizvodne funkcije za namene empirične analize. Podrobneje je ta izpeljava prikazana v Ferko (2009, 75-83).

Razvoj proizvodne funkcije za namene empirične analize je prav tako teoretične narave in je izpeljana v dveh korakih. Prvi korak je utemeljitev v okviru enodimenzionalnega proizvodnega sistema (v praksi je to redek pojav). Drugi korak pa je utemeljitev v okviru večdimenzionalnega proizvodnega sistema, kar je običajen primer v industrijski praksi.

3.1 Razvoj proizvodne funkcije v okviru enodimenzionalnega proizvodnega sistema

S pojmom enodimenzionalni proizvodni sistem opisujemo proizvodno linijo, na kateri kombiniramo več proizvodnih dejavnikov in ustvarjamo en sam proizvod. Shematično je to ponazorjeno na sliki 3.1.

Slika 3.1: Enostavna shema proizvodnega procesa na avtomatizirani proizvodni liniji



Vir: Prirejeno po Ferko 2009, 76.

Opomba: X = proizvodni dejavnik, a = proizvodni koeficient, I = končni izdelek

Predpostavimo, da potrebujemo za proizvodnjo izdelka I na proizvodni liniji tri različice inputov: delo (X_1), surovine in materiali (X_2) in energenti (X_3), kot je to ponazorjeno v sliki 3.1.

Proizvodnja je tehnični proces, ki ima določena znana razmerja med obsegom porabe količin posameznih proizvodnih dejavnikov in proizvedeno količino končnega izdelka. To razmerje je merjeno s t. i. proizvodnimi koeficienti. V našem primeru so to trije:

$$a_1 = \frac{X_1}{I} \quad (3.1)$$

$$a_2 = \frac{X_2}{I} \quad (3.2)$$

$$a_3 = \frac{X_3}{I} \quad (3.3)$$

Simboli pomenijo:

- a_1, a_2, a_3 – proizvodni koeficienti, ki merijo delež posameznega inputa v enoti končnega izdelka,
- X_1, X_2, X_3 – posamezne različice inputov (1 – delo, 2 – surovine in materiali, 3 – energenti),
- I – končni izdelek.

S pomočjo proizvodnih koeficientov merimo, koliko enot posameznega inputa (proizvodnega dejavnika) potrebujemo, da proizvedemo enoto izdelka v časovni enoti. Na temelju tega lahko opredelimo t. i. tehnično popolnoma učinkovito proizvodno linijo. Tehnično popolnoma učinkovita proizvodna linija je tista, za katero so značilne s tehničnega vidika najnižje dosegljive vrednosti proizvodnih koeficientov. V našem primeru bomo najnižje vrednosti proizvodnih koeficientov imenovali optimalni proizvodni koeficienti, tehnično popolnoma učinkovito proizvodno linijo pa bomo imenovali optimalna proizvodna linija.

Za lažjo predstavo predpostavimo, da so vrednosti optimalnih proizvodnih koeficientov naslednje:

$$a_1 = \frac{X_1}{I} = 4, \quad a_2 = \frac{X_2}{I} = 5, \quad a_3 = \frac{X_3}{I} = 1,$$

kar pomeni, da potrebujemo za proizvodnjo enote izdelka hkrati najmanj 4 enote prvega inputa (to je dela), najmanj 5 enot drugega inputa (to je surovin in materialov) in najmanj 1 enoto tretjega inputa (to je energentov) v eni časovni enoti. Proizvodne koeficiente lahko enostavno pretvorimo v t. i. koeficiente produktivnosti. Po definiciji nam koeficienti produktivnosti povedo, koliko enot končnega izdelka smo izdelali z eno enoto posameznega inputa (proizvodnega dejavnika). Izhajajoč iz definicije torej ustreza vrednost koeficienta produktivnosti inverzni vrednosti proizvodnega koeficienta. Na temelju tega lahko v našem primeru izračunamo tri parcialne koeficiente produktivnosti:

$$b_1 = \frac{1}{a_1} = \frac{I}{X_1}, \quad (3.4)$$

$$b_2 = \frac{1}{a_2} = \frac{I}{X_2}, \quad (3.5)$$

$$b_3 = \frac{1}{a_3} = \frac{I}{X_3}. \quad (3.6)$$

Simboli pomenijo:

- b_1, b_2, b_3 – koeficienti produktivnosti, ki merijo, koliko enot končnega izdelka proizvedemo z enoto posameznega inputa,
- X_1, X_2, X_3 – posamezne različice inputov (1 – delo, 2 – surovine in materiali, 3 – energenti),
- I – končni izdelek.

Ker so koeficienti produktivnosti izpeljani iz proizvodnih koeficientov, lahko optimalno proizvodno linijo definiramo tudi s pomočjo t. i. optimalnih koeficientov produktivnosti. Optimalni koeficienti produktivnosti so tisti z največjim možnim obsegom proizvodnje končnega izdelka z enoto določenega proizvodnega dejavnika.

Če izhajamo iz konkretnih vrednosti optimalnih tehničnih koeficientov, lahko ugotovimo, da so vrednosti optimalnih koeficientov produktivnosti naslednje:

$$b_1^* = \frac{1}{a_1} = 0,25, \quad b_2^* = \frac{1}{a_2} = 0,20, \quad b_3^* = \frac{1}{a_3} = 1.$$

To pomeni, da z enoto proizvodnega dejavnika delo proizvedemo največ 0,25 enot končnega izdelka, z enoto surovin in materialov proizvedemo največ 0,20 enot končnega izdelka in z enoto porabljenih energentov lahko proizvedemo največ enoto končnega izdelka v časovni enoti. S tem ko opredelimo optimalno proizvodno linijo, opredelimo hkrati kriterij primerjave za analizo dejanskega procesa proizvodnje z želenim (to je z optimalnim). Na temelju primerjave dejanskega in optimalnega procesa proizvodnje izmerimo t. i. tehnično (ne)učinkovitost.

Če se dejanski proces proizvodnje, merjen s pomočjo proizvodnih koeficientov oziroma s pomočjo koeficientov produktivnosti, sklada z optimalnim procesom proizvodnje, govorimo o popolni tehnični učinkovitosti. V nasprotnem primeru, ko izmerimo odstopanje dejanskega procesa proizvodnje od optimalnega, pa govorimo o tehnični neučinkovitosti proizvodnega procesa. Pojav tehnične neučinkovitosti pomeni, da je dejanski obseg proizvodnje manjši od potencialnega pri enakem obsegu porabe proizvodnih dejavnikov. Analitično torej lahko tehnično neučinkovitost ocenimo na dva načina:

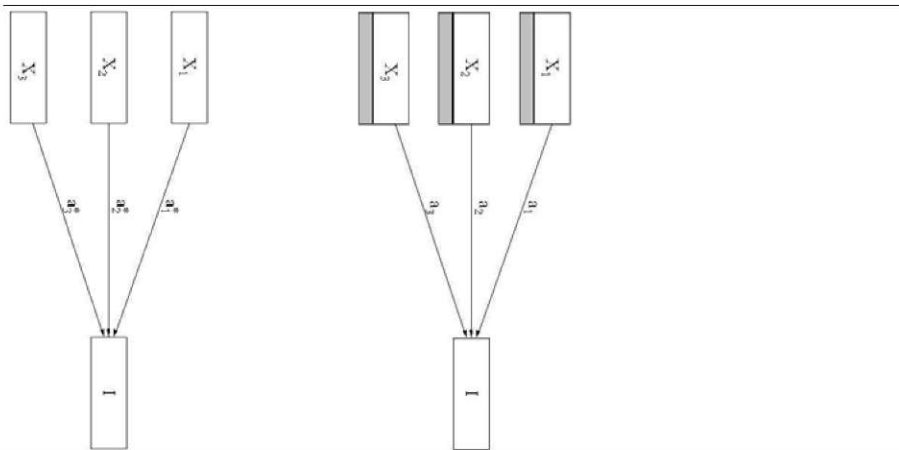
- s primerjavo dejanskih in optimalnih proizvodnih koeficientov,
- s primerjavo dejanskih in optimalnih koeficientov produktivnosti.

Najprej bomo pojav tehnične neučinkovitosti ponazorili s primerjavo proizvodnih koeficientov. V sliki 3.2 sta ponazorjena optimalni proizvodni proces (leva stran slike), ki ga označujejo najnižje (tehnično) možne vrednosti proizvodnih koeficientov, in dejanski proizvodni proces z izmerjenimi vrednostmi proizvodnih koeficientov (desna stran slike). Kot izhaja iz desne strani slike 3.2, je očitno, da je za proizvodnjo enote proizvoda v primeru opazovanega proizvodnega procesa porabljen večji obseg posameznih izmed treh proizvodnih dejavnikov kot v primeru optimalnega proizvodnega procesa. Na desni strani slike 3.2 je količinski presežek porabe proizvodnih dejavnikov označen s sivo barvo. To ugotovitev lahko interpretiramo tudi nekoliko drugače: z enakim obsegom porabe proizvodnih dejavnikov uresničimo manjši obseg proizvodnje od potencialno možnega.

3.2 Razvoj tehnične učinkovitosti v okviru enodimenzionalnega proizvodnega sistema

Z vidika managementa produktivnosti je ključni kriterij tehnično učinkovita proizvodnja. Že v teoretičnem poglavju o mikroekonomskih proizvodnih funkcijah smo pojasnili, da je tehnična neučinkovitost njihova bistvena značilnost. Za namene empirične analize moramo torej izpeljati ustrezen okvir, ki nam omogoča empirično evalvacijo tehnične neučinkovitosti. V okviru enodimenzionalnega proizvodnega sistema je to grafično ponazorjeno v sliki 3.2.

Slika 3.2: Tehnično učinkovit in tehnično neučinkovit proizvodni proces



Vir: Prirejeno po Ferko 2009, 79.

Simboli:

- a_1, a_2, a_3 – proizvodni koeficienti, ki merijo delež posameznega inputa v enoti končnega izdelka,
- X_1, X_2, X_3 – posamezne različice inputov (1 = delo, 2 = surovine in materiali, 3 = energenti),
- I – končni izdelek.

Opomba: Znak * označuje optimalne vrednosti proizvodnih koeficientov.

Za lažjo predstavo predpostavimo, da so dejanske vrednosti proizvodnih koeficientov naslednje:

$$a_1 = \frac{X_1}{I} = 5, \quad a_2 = \frac{X_2}{I} = 6,25, \quad a_3 = \frac{X_3}{I} = 1,25,$$

kar pomeni, da smo porabili za proizvodnjo enote izdelka hkrati 5 enot prvega inputa (to je dela), 6,25 enote drugega inputa (to je surovin in materialov) in 1,25 enote tretjega inputa (to je energentov) v časovni enoti.

V tabeli 3.1 so izdelane primerjave med optimalnimi in dejanskimi proizvodnimi koeficienti.

Tabela 3.2: Primerjave med optimalnimi in dejanskimi proizvodnimi koeficienti ter tehnična neučinkovitost

Optimalni	Dejanski	Tehnična neučinkovitost
$a_1^* = 4$	$a_1 = 5$	$\lambda_1 = \frac{a_1}{a_1^*} = 1,25$
$a_2^* = 5$	$a_2 = 6,25$	$\lambda_2 = \frac{a_2}{a_2^*} = 1,25$
$a_3^* = 1$	$a_3 = 1,25$	$\lambda_3 = \frac{a_3}{a_3^*} = 1,25$

Vir: Prirejeno po Ferko 2009, 80.

Simboli:

- a – proizvodni koeficient,
- λ – koeficient tehnične neučinkovitosti, ocenjen na temelju proizvodnih koeficientov.

Opomba: Znak * označuje optimalne vrednosti proizvodnih koeficientov.

Na temelju poenostavljenega prikaza ocenjevanja tehnične neučinkovitosti lahko ugotovimo, da porabimo za proizvodnjo ene enote izdelka 25 % več posameznega proizvodnega dejavnika. Vprašanje pri tem pa je, za koliko bi bil dejanski obseg proizvodnje manjši od potencialnega pri enakem obsegu porabe posameznega proizvodnega dejavnika? To lahko ocenimo s pomočjo koeficientov produktivnosti, za katere smo pokazali, da so dejansko inverzne vrednosti proizvodnih koeficientov.

V tabeli 3.3 so zbrane ocene optimalnih in dejanskih koeficientov produktivnosti vključno s pripadajočimi ocenami tehnične neučinkovitosti.

Tabela 3.3: Primerjave med optimalnimi in dejanskimi koeficienti produktivnosti ter tehnična neučinkovitost

Optimalni	Dejanski	Tehnična neučinkovitost
$h_1^* = 0,25$	$h_1 = 0,20$	$\eta_1 = \frac{h_1}{h_1^*} = 0,80$
$h_2^* = 0,20$	$h_2 = 0,16$	$\eta_2 = \frac{h_2}{h_2^*} = 0,80$
$h_3^* = 1$	$h_3 = 0,80$	$\eta_3 = \frac{h_3}{h_3^*} = 0,80$

Vir: Prirejeno po Ferko 2009, 80.

Simboli:

- b – koeficienti produktivnosti,
- η – koeficient tehnične neučinkovitosti

Opomba: Znak * označuje optimalne vrednosti koeficientov produktivnosti.

Kot izhaja iz dobljenih ocen, dosega dejanski obseg proizvodnje zgolj 80 % obsega potencialne proizvodnje pri enakem obsegu porabe proizvodnih dejavnikov. Vprašanje, ki se pri tem pojavi, pa je, kako se odmik dejanske produktivnosti od potencialne odraža v stroških na enoto izdelka.

3.3 Razvoj proizvodne funkcije v okviru večdimenzionalnega proizvodnega sistema

Običajni proizvodni sistemi so večdimenzionalni, kar pomeni, da lahko proizvodni proces opišemo z različno skupino proizvodnih dejavnikov, kjer ima vsaka skupina proizvodnih dejavnikov poljubno število različic, rezultat proizvodnega procesa pa je večje število različnih produktov.

Shematično je primer večdimenzionalnega proizvodnega procesa opisan z matriko proizvodnih koeficientov, ki je prikazana v tabeli 3.4.

Tabela 3.4: Proizvodni koeficienti

Skupina inputov	Število različic	Output									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	4	$a_{1,1}$ $a_{1,2}$ $a_{1,3}$ $a_{1,4}$									
2	2		$a_{2,1}$ $a_{2,2}$								
3	3			$a_{3,1}$ $a_{3,2}$ $a_{3,3}$							
4	2				$a_{4,1}$ $a_{4,2}$						
5	4					$a_{5,1}$ $a_{5,2}$ $a_{5,3}$ $a_{5,4}$					
6	2						$a_{6,1}$ $a_{6,2}$				
7	2							$a_{7,1}$ $a_{7,2}$			
8	3								$a_{8,1}$ $a_{8,2}$ $a_{8,3}$		
9	2									$a_{9,1}$ $a_{9,2}$	

Vir: Povzeto po Petek 2010, 22.

Proizvodno funkcijo v našem primeru torej določa 24 proizvodnih koeficientov, kar pomeni, da je končni proizvod sestavljen iz 24 različnih sestavnih delov. Ker gre za proizvodni koeficient, ki meri razmerja med inputi in enoto outputa glede na tehnični normativ, govorimo tudi o t. i. normativnih proizvodnih koeficientih ali tudi o potencialnih proizvodnih koeficientih. Potencialnih zaradi tega, ker opredeljujejo najmanjšo zahtevano količino inputa na enoto outputa.

Če izračunamo inverzno vrednost opredeljenih normativnih oziroma potencialnih proizvodnih koeficientov, dobimo koeficiente normativne oziroma potencialne produktivnosti. Ti nam merijo največji dosegljiv obseg outputa na enoto posameznega inputa (tabela 3.5).

Tabela 3.5: Normativni koeficienti produktivnosti

Skupina inputov	Število različic	Output	2	3	4	5	6	7	8	9
1	4	1 $b^*_{1,1}$ $b^*_{1,2}$ $b^*_{1,3}$ $b^*_{1,4}$								
2	2		$b^*_{2,1}$ $b^*_{2,2}$							
3	3			$b^*_{3,1}$ $b^*_{3,2}$ $b^*_{3,3}$						
4	2				$b^*_{4,1}$ $b^*_{4,2}$					
5	4					$b^*_{5,1}$ $b^*_{5,2}$ $b^*_{5,3}$ $b^*_{5,4}$				
6	2						$b^*_{6,1}$ $b^*_{6,2}$			
7	2							$b^*_{7,1}$ $b^*_{7,2}$		
8	3								$b^*_{8,1}$ $b^*_{8,2}$ $b^*_{8,3}$	
9	2									$b^*_{9,1}$ $b^*_{9,2}$

Kot smo pokazali v primeru enodimenzionalnega proizvodnega sistema, je dejanski proces proizvodnje opredeljen z dejanskimi koeficienti produktivnosti (tabela 3.6).

Tabela 3.6: Dejanski koeficienti produktivnosti

Skupina inputov	Število različic	Output	2	3	4	5	6	7	8	9
1	4	1 $b_{1,1}$ $b_{1,2}$ $b_{1,3}$ $b_{1,4}$								
2	2		$b_{2,1}$ $b_{2,2}$							
3	3			$b_{3,1}$ $b_{3,2}$ $b_{3,3}$						
4	2				$b_{4,1}$ $b_{4,2}$					
5	4					$b_{5,1}$ $b_{5,2}$ $b_{5,3}$ $b_{5,4}$				
6	2						$b_{6,1}$ $b_{6,2}$			
7	2							$b_{7,1}$ $b_{7,2}$		
8	3								$b_{8,1}$ $b_{8,2}$ $b_{8,3}$	
9	2									$b_{9,1}$ $b_{9,2}$

S primerjavo matrike dejanskih in normativnih koeficientov produktivnosti opredelimo matriko koeficientov, ki merijo tehnično neučinkovitost.

S tem je tehnični okvir proizvodnega procesa definiran. Pokazali smo, da je proizvodnja tehnični proces, ki ima določena znana razmerja med obsegom porabe količin posameznih proizvodnih dejavnikov in proizvedeno količino končnega izdelka. To razmerje je merjeno s proizvodnimi koeficienti. S pomočjo proizvodnih koeficientov merimo, koliko enot posameznega inputa potrebujemo, da proizvedemo enoto izdelka v časovni enoti.

Na temelju tega smo opredelili t. i. **tehnično popolnoma učinkovito proizvodno linijo** na dva alternativna načina:

- To je tista linija, za katero so značilne s tehničnega vidika najnižje dosegljive vrednosti proizvodnih koeficientov. V našem primeru bomo najnižje vrednosti proizvodnih koeficientov imenovali optimalni proizvodni koeficienti, tehnično popolnoma učinkovito proizvodno linijo pa bomo imenovali optimalna proizvodna linija.
- Ker lahko proizvodne koeficiente enostavno pretvorimo v koeficiente produktivnosti, lahko tehnično učinkovito proizvodno linijo opredelimo kot tisto linijo, za katero so značilne s tehničnega vidika najvišje vrednosti koeficientov produktivnosti.

Če izhajamo iz opisane definicije tehnično učinkovite proizvodne linije, lahko izpeljemo tudi definicijo **tehnično neučinkovite proizvodne linije**. Definicijo tehnično neučinkovite proizvodne linije utemeljimo na dva alternativna načina.

- Prvi način temelji na uporabi proizvodnih koeficientov – tehnično neučinkovita proizvodna linija je tista, za katero so značilne vrednosti proizvodnih koeficientov, ki niso najnižje dosegljive vrednosti.
- Drugi način temelji na uporabi koeficientov produktivnosti – tehnično neučinkovita proizvodna linija je tista, za katero so značilne vrednosti koeficientov produktivnosti, ki so nižje od dosegljive vrednosti.

Obe definiciji tehnično učinkovite in tehnično neučinkovite proizvodne linije sta podani ob predpostavki dane in nespremenjene tehnologije.

Cilj managementa produktivnosti je, da to tehnologijo izkorišča učinkovito – to je da proizvede ciljni obseg outputa s čim nižjim obsegom porabe zahtevanih inputov. Za ta namen pa potrebujemo sprotne merjenje tehnične učinkovitosti. V industrijski proizvodnji se je uveljavil poseben metodološki okvir, namenjen sprotnemu merjenju tehnične učinkovitosti. V mednarodni literaturi je ta konceptualni okvir poimenovan s kratico črk OEE, ki pripadajo besedni zvezi **Overall Equipment Efficiency**. Gre za metodološki koncept, ki omogoča managementu produktivnosti sprotne merjenje celovite učinkovitosti proizvodne linije .

Podrobneje ga predstavljamo v naslednjem poglavju.

3.4 Overall Equipment Efficiency - OEE

Osrednje jedro tega metodološkega spleta je t. i. ključni proizvodni kazalnik (*key performance indicator* - *KPI*) imenovan OEE. Ta kazalnik je v analizo managementa produktivnosti uvedel Nakajima (1998) z namenom podpiranja procesov celovitega vzdrževanja produktivnosti (TPM – Total Productivity Management).

Kazalnik OEE je postal zelo uporaben še posebej v analizah avtomatiziranih proizvodnih linij za masovno proizvodnjo (glej npr. Sharma et al., 2006; Dal et al., 2000; Huang et al., 2003; De Ron and Rooda, 2006; Jonsson and Lesshammar, 1999).

Če primerjamo razpoložljivo referenčno literaturo s področja OEE, lahko ugotovimo, da obstaja več različnih matematičnih zapisov tega parametra, ne glede na to pa je ta opredeljen kot produkt treh dejavnikov (Novak in Žižmond 2011):

$$OEE = A \cdot P \cdot Q,$$

kjer imajo posamezne spremenljivke naslednji pomen:

- OEE – tehnična učinkovitost,
- A – parameter razpoložljivosti (availability),
- P – parameter zmogljivosti (performance),
- Q – parameter kakovosti (quality).

A – parameter razpoložljivosti (availability)

Z razpoložljivostjo (A) merimo razmerje med dejanskim razpoložljivim časom (EOT) in potencialnim razpoložljivim časom proizvodne linije (TOT). Parameter razpoložljivosti je torej relativni kazalnik, ki meri delež dejansko razpoložljivega časa v potencialno razpoložljivem času:

$$A = \frac{EOT}{TOT}.$$

Posamezne spremenljivke imajo naslednji pomen:

- A – parameter razpoložljivosti (availability rate $0 \leq A \leq 1$),
- EOT – dejanski razpoložljivi čas (effective operating time),
- TOT – potencialni razpoložljivi čas (total operating time).

Zaloga vrednosti parametra razpoložljivosti je v intervalu $0 \leq A \leq 1$. Če je proizvodnja gladek proces, brez zastojev, potem se dejanski razpoložljivi čas sklada s potencialnim razpoložljivim časom. Teoretično je to 24 ur na dan – 1.440 minut na dan – 86.400 sekund na dan – opredelitev merske enote na dnevni ravni je odvisna od hitrosti proizvodne linije.

P – parameter zmogljivosti (performance)

Hitrost proizvodne linije je v algoritmu OEE za merjenje tehnične učinkovitosti zajeta v parametru zmogljivosti (P). Tudi ta parameter je relativni koeficient, ki meri v števu dejansko hitrost proizvodne linije (APS), v imenovalcu pa potencialno hitrost proizvodne linije (PPS). Definijska enačba parametra zmogljivosti je tako naslednja:

$$P = \frac{APS}{PPS},$$

kjer imajo posamezne spremenljivke naslednjo opredelitev:

- P – parameter zmogljivosti (*performance rate* ($0 \leq P \leq 1$)),
- APS – dejanska hitrost proizvodne linije (*actual production speed*),
- PPS – potencialna hitrost proizvodne linije (*potential production speed*).

V primeru popolnoma tehnično učinkovite proizvodnje se dejanska hitrost proizvodne linije sklada s potencialno hitrostjo, kar se empirično odraža z vrednostjo parametra zmogljivosti, ki je enaka 1.

Vendar pa, četudi je dejanska hitrost proizvodne linije enaka potencialni hitrosti, se soočimo s še eno potencialno oviro. To je, da izdelana enota proizvoda ne ustreza zahtevanim standardom kakovosti. Če je izdelek neskladen z zahtevano kakovostjo, je rezultat proizvodnje enak 0. Z vidika merjenja tehnične učinkovitosti torej ni pomembno merjenje zgolj razpoložljivosti in zmogljivosti proizvodne linije, ampak moramo kontrolirati tudi doseženo kakovost proizvodov.

Q – parameter kakovosti (quality)

Tretji parameter v enačbi kazalnika OEE je zato parameter kakovosti (Q). To je relativni količnik med številom dobrih kosov (TP) in številom vseh proizvedenih kosov v časovnem intervalu (TP_{\max}), kar izražamo z naslednjo definicijsko enačbo:

$$Q = \frac{TP}{TP_{\max}}$$

Posamezne spremenljivke imajo pri tem naslednji pomen:

- Q – parameter kakovosti (*quality rate* ($0 \leq Q \leq 1$)),
- TP – število dobrih kosov (*amount of good products*),
- TP_{\max} – število vseh kosov (*amount of all products*).

V primeru popolnoma tehnično učinkovite proizvodnje je število dobrih kosov enako številu vseh kosov. Zaradi različnih dejavnikov neučinkovitosti pa se v realnih procesih proizvodnje pojavljajo slabi kosovi, kar znižuje raven dosežene tehnične učinkovitosti.

Vsi trije parametri kazalnika OEE so relativna števila z zalogo vrednosti v intervalu $[0, 1]$. Torej je tudi OEE kazalnik s to zalogo vrednosti. Pri tem vrednost 1 odraža popolno tehnično učinkovitost. Dejanska razpoložljivost proizvodne linije je enaka potencialni razpoložljivosti, dejanska hitrost je enaka potencialni in vsi proizvedeni kosovi ustrezajo zahtevani stopnji kakovosti. Velja torej, da je dejanski obseg proizvodnje enak potencialnemu obsegu proizvodnje.

OEE je torej primeren metodološki koncept sprotnega merjenja tehnične učinkovitosti in je široko uporaben v industrijski praksi. Zaradi tega je tudi osrednji steber modela merjenja tehnične učinkovitosti in tretji analitični parameter v naši analizi.

Obstaja precej teoretične in empirične literature s področja razlage in uporabnosti OEE za merjenje produktivnosti (npr. García-Cebrián and López-Viñegla, 2002; Tzu-Chuan et al., 2005; Leem and Kim, 2004; Wang et al., 2004; Badiger and Gandhinthan, 2008; Braglia et

al., 2009; Coelli, 2006; Jeong in Phillips, 2001; Kumar Sharma e tal., 2006; Lazim et al., 2008; Mishra et al., 2008; Pomorski, 2004; Reyes, 2005; Shahin in Mahbod, 2007). Vendar pa doslej raziskovalci niso dovolj prepoznali pomembnega dejstva, da ima vsak dejavnik, ki vpliva na proizvodnjo, svoj sistematični vpliv tudi na stroške. To vrzel zapolnjujemo v nadaljevanju.

4 RAZVOJ STROŠKOVNE FUNKCIJE ZA NAMENE EMPIRIČNE ANALIZE

V teoretičnem poglavju o mikroekonomskih stroškovnih funkcijah smo pokazali, da so te izpeljane iz proizvodnih funkcij in da se tehnična neučinkovitost pri proizvodnih funkcijah izraža kot stroškovna neučinkovitost pri stroškovnih funkcijah.

Ker je končni cilj managementa produktivnosti povečevanje stroškovne učinkovitosti, moramo empirično evalvacijo proizvodnih funkcij nadgraditi z empirično evalvacijo stroškovnih funkcij. To izpeljujemo v sklopu tega poglavja, ki ga začnemo v okviru enodimenzionalnega proizvodnega sistema in zaključimo z okvirjem večdimenzionalnega proizvodnega sistema. Podrobneje je ta izpeljava prikazana v Ferko (2009, 75-83).

4.1 Razvoj stroškovne funkcije v okviru enodimenzionalnega proizvodnega sistema

S proizvodnimi koeficienti in s koeficienti produktivnosti spremljamo tehnični del proizvodnega procesa, kar pa neposredno ni uporabno za optimizacijo proizvodnega procesa v ekonomskem smislu. Za ta namen potrebujemo stroške. Stroške proizvodnje enote končnega proizvoda izračunamo tako, da pomnožimo ceno posameznega proizvodnega dejavnika s pripadajočim proizvodnim koeficientom ter te vrednosti seštejemo za vse proizvodne dejavnike.

V našem primeru imamo tri različne proizvodne dejavnike (delo, surovine in materiali, energenti), torej so stroški na enoto proizvoda (to je povprečni stroški) določeni kot vsota naslednjih stroškov:

- strošek dela: $P_1 \cdot a_1 = AVC_1$,
- strošek surovin in materialov: $P_2 \cdot a_2 = AVC_2$,
- strošek energentov: $P_3 \cdot a_3 = AVC_3$.

Simboli pomenijo:

- P - cena posameznega proizvodnega dejavnika,
- a – proizvodni koeficient,
- AVC - povprečni variabilni stroški (Average Variable Costs).

Predpostavimo, da so vse tri vrste stroškov v celoti odvisne od obsega proizvodnje – gre torej za variabilne stroške. Če seštejemo stroške dela, surovin in materialov ter energentov, dobimo celotne variabilne stroške, ki nam po deljenju z obsegom proizvodnje določajo povprečne variabilne stroške. Povprečni variabilni stroški so torej vsota:

$$AVC = AVC_1 + AVC_2 + AVC_3. \quad (4.1)$$

Če predpostavimo, da se cene proizvodnih dejavnikov ne spreminjajo, lahko ugotovimo, da se variabilni stroški na enoto proizvoda lahko spreminjajo le s spreminjanjem proizvodnih koeficientov oziroma koeficientov produktivnosti. Glede na to da imamo optimalni proizvodni proces opredeljen s tehničnega vidika, lahko opredelimo optimalni proizvodni proces tudi z vidika stroškov. V našem primeru so vrednosti optimalnih proizvodnih koeficientov naslednje:

$$a_1^* = 4, a_2^* = 5, a_3^* = 1. \quad (4.2)$$

Če predpostavimo, da stane enota dela 10 denarnih enot, enota surovin in materialov 2 denarni enoti in enota energentov 5 denarnih enot, lahko opredelimo najnižje dosegljive variabilne stroške na enoto proizvoda:

$$AVC_{\min} = AVC_1^* + AVC_2^* + AVC_3^* = 55, \quad (4.3)$$

kjer velja:

$$AVC_1^* = P_1 \cdot a_1^* = 10 \cdot 4 = 40, \quad (4.4)$$

$$AVC_2^* = P_2 \cdot a_2^* = 2 \cdot 5 = 10, \quad (4.5)$$

$$AVC_3^* = P_3 \cdot a_3^* = 5 \cdot 1 = 5. \quad (4.6)$$

Najnižji dosegljivi variabilni stroški na enoto proizvoda torej znašajo 55 denarnih enot.

A v našem poenostavljenem primeru velja, da je v dejanskem proizvodnem procesu porabljenega posameznega proizvodnega dejavnika za 25 % več od optimalne količine. Pri danih cenah proizvodnih dejavnikov znašajo torej dejanski variabilni stroški na enoto proizvoda:

$$AVC = AVC_1 + AVC_2 + AVC_3 = 68,75, \quad (4.7)$$

kjer velja:

$$AVC_1 = P_1 \cdot a_1 = 10 \cdot 5 = 50, \quad (4.8)$$

$$AVC_2 = P_2 \cdot a_2 = 2 \cdot 6,25 = 12,5, \quad (4.9)$$

$$AVC_3 = P_3 \cdot a_3 = 5 \cdot 1,25 = 6,25. \quad (4.10)$$

Dejanski variabilni stroški na enoto proizvoda so torej za 13,75 denarne enote večji od potencialno najnižjih. Spomnimo se, da dosega v tem primeru dejanski obseg proizvodnje samo 80 % obsega potencialne proizvodnje v časovni enoti. To pomeni, da je v našem primeru 20-odstotna stopnja tehnične neučinkovitosti povezana s 25 % višjimi variabilnimi stroški na enoto proizvoda od potencialno najnižjih.

S tem pa vpliv tehnične neučinkovitosti na stroške še ni povsem izčrpan. Upoštevati moramo, da merimo obseg proizvodnje v časovnih enotah (npr. v eni uri). Če pride do zastoja proizvodne linije, se soočimo s problemom neučinkovite izkoriščenosti razpoložljivega časa, zaradi česar je dejanski obseg proizvodnje manjši od potencialnega, četudi so izmerjeni proizvodni koeficienti enaki optimalnim. V tem primeru pride do učinka prek povprečnih fiksnih stroškov, ki obstajajo neodvisno od obsega proizvodnje, a se z rastjo obsega proizvodnje zmanjšujejo.

Za lažje razumevanje predpostavimo, da znašajo fiksni stroški 100 denarnih enot in da je zaradi zastojev obseg proizvodnje manjši za 10 % od potencialnega obsega. Potencialni obseg proizvodnje v časovni enoti znaša 10 enot, torej bo dejanski obseg proizvodnje zaradi zastojev v časovni enoti znašal 9 enot. Izračunali bomo naslednje tri različice stroškov na enoto proizvoda:

- v prvem primeru bomo izračunali najnižje možne stroške na enoto proizvoda,

- v drugem primeru bomo izračunali stroške na enoto proizvoda ob pogoju, da ostajajo proizvodni koeficienti optimalni, vendar je dejanski obseg proizvodnje samo devet enot v časovni enoti,
- v tretjem primeru pa bomo upoštevali oba negativna učinka hkrati – torej dejanski obseg proizvodnje bomo zmanjšali za 10 % zaradi zastojev proizvodne linije in hkrati bomo upoštevali, da so proizvodni koeficienti večji od optimalnih.

Variabilni stroški na enoto proizvoda so enaki 55 denarnih enot. Fiksni stroški skupaj znašajo 100 denarnih enot, kar pomeni 10 denarnih enot na enoto proizvoda, proizvedenega v časovni enoti. Skupaj torej znašajo stroški na enoto proizvoda v pogojih popolne tehnične učinkovitosti 65 denarnih enot. Ker so dejanski proizvodni koeficienti enaki optimalnim, ostajajo povprečni variabilni stroški nespremenjeni – torej najnižji možni in znašajo 55 denarnih enot. Fiksni stroški, ki skupaj znašajo 100 denarnih enot, pa v tem primeru znašajo 11,11 denarne enote na enoto proizvoda, saj v časovni enoti ne proizvedemo 10, ampak samo 9 enot proizvoda. Skupaj torej znašajo stroški na enoto izdelka 66,11 denarne enote in so za 1,7 odstotka višji od potencialno najnižjih. To pomeni, da je 10 % tehnična neučinkovitost povezana s samo 1,7 odstotka višjimi stroški na enoto proizvoda.

S ponazorjeno izpeljavo povprečnih stroškov v okviru enodimenzionalnega proizvodnega sistema smo ponazorili metodološki okvir merjenja stroškovne neučinkovitosti. Ta je definicijsko opredeljena kot razmerje med dejanskimi in potencialno najnižjimi povprečnimi stroški.

Primerjave med optimalnimi in dejanskimi povprečnimi stroški ter stroškovna neučinkovitost so v tabeli 4.1.

Tabela 4.1: Primerjave med optimalnimi in dejanskimi povprečnimi stroški ter stroškovna neučinkovitost

Optimalni	Dejanski	Stroškovna neučinkovitost
$AC^* = 65$	$AC = 66,11$	$\varphi = \frac{AC}{AC^*} = 1,017$

Simboli:

AC – povprečni stroški,

φ – koeficient stroškovne neučinkovitosti, ocenjen na temelju dejanskih in optimalnih povprečnih stroškov.

Opomba: Znak * označuje optimalne vrednosti proizvodnih koeficientov.

4.2 Razvoj stroškovne funkcije v okviru večdimenzionalnega proizvodnega sistema

Kot smo izpostavili že v primeru proizvodnih funkcij, so enodimenzionalni proizvodni sistemi izjema v industrijski praksi. V tem poglavju bomo zato prikazali razvoj mikroekonomskih stroškovnih funkcij v okviru večdimenzionalnega proizvodnega sistema. Pri tem bomo izhajali iz tistega, ki smo ga opisali v poglavju 3.3.

Povprečni stroški merijo znesek stroška na enoto proizvoda in jih izračunamo skladno z naslednjo definicijsko formulo:

$$AC = \frac{TC}{TP}, \quad (4.11)$$

kjer imajo posamezne spremenljivke naslednji pomen:

- AC – povprečni stroški,
- TC – celotni stroški in
- TP– output (obseg proizvodnje).

Če izhajamo iz zgornje enačbe, lahko v našem primeru izračunamo povprečne variabilne stroške kot:

$$AC = a_{1,1} \cdot P_{1,1} + a_{1,2} \cdot P_{1,2} + a_{1,3} \cdot P_{1,3} + a_{1,4} \cdot P_{1,4} + a_{2,1} \cdot P_{2,1} + a_{2,2} \cdot P_{2,2} + a_{3,1} \cdot P_{3,1} + a_{3,2} \cdot P_{3,2} + a_{4,1} \cdot P_{4,1} + a_{4,2} \cdot P_{4,2} + a_{5,1} \cdot P_{5,1} + a_{5,2} \cdot P_{5,2} + a_{5,3} \cdot P_{5,3} + a_{5,4} \cdot P_{5,4} + a_{6,1} \cdot P_{6,1} + a_{6,2} \cdot P_{6,2} + a_{7,1} \cdot P_{7,1} + a_{7,2} \cdot P_{7,2} + a_{8,1} \cdot P_{8,1} + a_{8,2} \cdot P_{8,2} + a_{8,3} \cdot P_{8,3} + a_{9,1} \cdot P_{9,1} + a_{9,2} \cdot P_{9,2}.$$

Koeficienti a namreč merijo obseg porabe posameznega inputa na enoto outputa. Če pomnožimo porabo posameznega inputa na enoto outputa (a) s pripadajočo ceno (P), dobimo denarno vrednost posameznega inputa na enoto outputa. Vsota teh posameznih vrednosti predstavlja variabilne stroške na enoto outputa.

Če torej pomnožimo koeficiente iz tabele 3.3 s pripadajočimi cenami, pretvorimo tehnični vidik proizvodne linije v ekonomski vidik. Rezultati so zbrani v tabeli 4.2.

Tabela 4.2: Povprečni stroški

Skupina inputov	Število različic	Output									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	4	AC _{1,1} AC _{1,2} AC _{1,3} AC _{1,4}									
2	2		AC _{2,1} AC _{2,2}								
3	3			AC _{3,1} AC _{3,2} AC _{3,3}							
4	2				AC _{4,1} AC _{4,2}						
5	4					AC _{5,1} AC _{5,2} AC _{5,3} AC _{5,4}					
6	2						AC _{6,1} AC _{6,2}				
7	2							AC _{7,1} AC _{7,2}			
8	3								AC _{8,1} AC _{8,2} AC _{8,3}		
9	2									AC _{9,1} AC _{9,2}	

Vir: Povzeto po Petek 2010, 30.

Kot smo izpostavili pri teoretični izpeljavi stroškovnih funkcij, je za te značilno, da so inverzne glede na proizvodne funkcije. Spreminjanje koeficientov v tabeli 3.4 mora torej biti skladno s spreminjanjem koeficientov iz tabele 4.2. Upoštevati moramo namreč, da so koeficienti v tabeli 3.4 proizvodni koeficienti, katerih inverzna vrednost je koeficient produktivnosti. Na temelju tega lahko pokažemo veljavnost naslednjega procesa:

$$a \Rightarrow \frac{1}{a}, \text{ kar pomeni, da}$$

$$a \uparrow \Leftrightarrow \frac{1}{a} \downarrow \wedge a \uparrow \Leftrightarrow AC \uparrow, \text{ torej}$$

$$\frac{1}{a} \uparrow \Rightarrow AC \downarrow.$$

Če se torej produktivnost povečuje, se stroški na enoto proizvoda zmanjšujejo, in obratno.

V tabeli 4.2 so prikazani dejanski povprečni stroški, ki nastajajo v realnem času. V izhodišču pa je proces proizvodnje opredeljen z optimalnimi proizvodnimi koeficienti, iz katerih lahko izpeljemo optimalne povprečne stroške. Njihove vrednosti so definirane v tabeli 4.3.

Tabela 4.3: Optimalni povprečni stroški

		Output								
Skupina imunitov	Število različic	1	2	3	4	5	6	7	8	9
		1	4	AC* _{1,1} AC* _{1,2} AC* _{1,3} AC* _{1,4}						
2	2		AC* _{2,1} AC* _{2,2}							
3	3			AC* _{3,1} AC* _{3,2} AC* _{3,3}						
4	2				AC* _{4,1} AC* _{4,2}					
5	4					AC* _{5,1} AC* _{5,2} AC* _{5,3} AC* _{5,4}				
6	2						AC* _{6,1} AC* _{6,2}			
7	2							AC* _{7,1} AC* _{7,2}		
8	3								AC* _{8,1} AC* _{8,2} AC* _{8,3}	
9	2									AC* _{9,1} AC* _{9,2}

S primerjavo matrice dejanskih in optimalnih povprečnih stroškov opredelimo matriko koeficientov, ki merijo stroškovno neučinkovitost.

Tabela 4.4: Koefficienti stroškovne neučinkovitosti

		Output								
	Skupina inimfov števílo razlièic	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	4	$\Phi_{1,1}$ $\Phi_{1,2}$ $\Phi_{1,3}$ $\Phi_{1,4}$								
2	2		$\Phi_{2,1}$ $\Phi_{2,2}$							
3	3			$\Phi_{3,1}$ $\Phi_{3,2}$ $\Phi_{3,3}$						
4	2				$\Phi_{4,1}$ $\Phi_{4,2}$					
5	4					$\Phi_{5,1}$ $\Phi_{5,2}$ $\Phi_{5,3}$ $\Phi_{5,4}$				
6	2						$\Phi_{6,1}$ $\Phi_{6,2}$			
7	2							$\Phi_{7,1}$ $\Phi_{7,2}$		
8	3								$\Phi_{8,1}$ $\Phi_{8,2}$ $\Phi_{8,3}$	
9	2									$\Phi_{9,1}$ $\Phi_{9,2}$

5 REGRESIJSKA ANALIZA – TEHNIČNA IN STROŠKOVNA UČINKOVITOST

V poglavju 3 smo razvili teoretični okvir empirične evalvacije tehnične neučinkovitosti in utemeljili koncept OFE kot tisti aplikativni okvir, ki ga lahko uporabljamo v industrijski praksi za namene merjenja tehnične neučinkovitosti proizvodnje.

V poglavju 4 pa smo prikazali koeficient, ki meri razmerje med dejanskimi povprečnimi in normativnimi povprečnimi stroški kot tisti metodološki okvir, ki ga lahko uporabljamo v industrijski praksi za namene merjenja stroškovne neučinkovitosti proizvodnje.

V tem poglavju opisujemo regresijsko analizo povezave med tehnično in stroškovno neučinkovitostjo, ki je razvita iz študije na primeru livarske proizvodnje (povzeto po Čuk 2009).

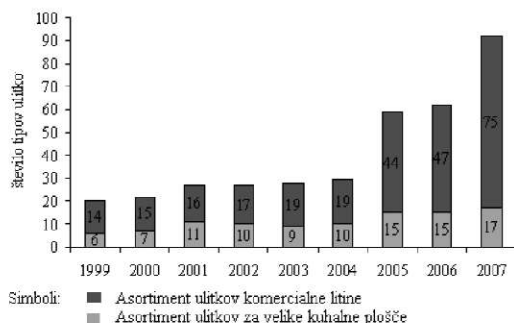
5.1 Model proizvodne linije

Z vidika tipa proizvodnega procesa lahko livarno uvrstimo v serijsko proizvodnjo (Batch process). Glede na proizvodni program pa lahko proizvodni proces razdelimo v tri skupine:

- Najobširnejši je program ulitkov za standardne kuhalne plošče (SKP), ki obsega 6 osnovnih tipov, vsak izmed osnovnih tipov ima še 2 – 4 različice. V celotnem deležu predstavlja program SKP 80% proizvodnje. Ulitke iz te skupine se uporablja za izdelavo kuhalnih plošč za gospodinjstva.
- Naslednji proizvodni program so velike kuhalne plošče (VKP), ki obsegajo asortiment 17 ulitkov. V celotnem deležu predstavlja program VKP 7% proizvodnje. Ulitke iz te skupine se uporablja za izdelavo kuhalnih plošč za velike kuhinje, kot so gostinski lokali.
- Tretja skupina ulitkov je proizvodni program komercialne litine (KOL). Ta skupina je po širini asortimenta največja, saj obsega 75 tipov ulitkov, po deležu pa predstavlja 13% celotne proizvodnje. Ta proizvodni program vsebuje samo končne izdelke, ki jih livarna samostojno trži, za razliko od ostalih dveh proizvodnih programov, ki imata status polizdelkov. Sestavljanje polizdelkov SKP v končne izdelke poteka v livarni, medtem ko sestavljanje VKP poteka na sedežu koncerna Elektro Gerete Oberderdingen (F.G.O.) v Nemčiji.

Asortiment se je po programih različno povečeval. V obdobju od 1999 do 2007 se je asortiment proizvodnega programa VKP povečal za skoraj trikrat, medtem ko se je asortiment proizvodnega programa KOL povečal za več kot petkrat (slika 5.1).

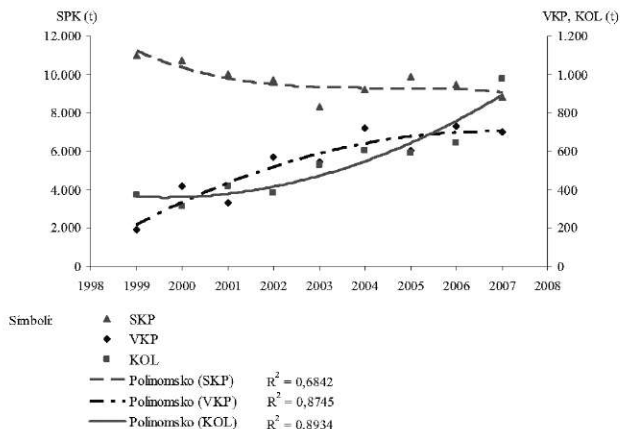
Slika 5.1: Širitev asortimenta v obdobju 1999 – 2007



Na sliki 5.2 pa vidimo gibanje trendov proizvodnih programov.

- Pri SKP je bilo zmanjšanje po letu 1998 močnejše, nakar se je umirilo, se pa po letu 2006 ponovno zazna zmanjševanje. Trend padanja pri SKP bi bil enakomernejši, s stopnjo 3 – 5 odstotkov letno, če ne bi prihajalo do prevzemanja količin na trgu, ki so nastale s propadanjem manjših proizvajalcev, ki niso zdržali nižanja cen. Ustavitev zmanjševanja količin je trajala do leta 2005, kar pomeni, da je koncern E.G.O. pobral celoten tržni delež. Po tem obdobju pa ponovno sledi zmanjševanje povpraševanja na trgu, ki v začetni fazi ni prav močno, se bo pa v prihodnje ta trend verjetno močnejše obrnil navzdol, kar bo dokončen znak zastaranja izdelka. SPK izrivata s trga tako sevalnik (steklokeramična kuhalna plošča) kot indukcijska kuhalna plošča, ki sta prav tako razviti v koncernu E.G.O.
- Trend VKP je naraščal do leta 2006, ko se je začel počasi obračati navzdol. Pri tem programu gre za analogijo z SKP, saj po tehnologiji spada v enako obdobje. Kuhalne plošče iz tega programa prav tako že nadomeščajo sevalniki in indukcijske kuhalne plošče, ki se v tem času izdelujejo še bolj manufakturno v manjših količinah. Pri določeni skupini kupcev (predvsem ruski trg) se sevalnik ni kaj prida uveljavil, zaradi bojazni da steklena plošča nad sevalnikom ne bi zdržala obremenitev velikih težkih posod oz. nepazljivega rokovanja uporabnikov.
- Program KOL je edini v naraščanju, še posebej po letu 2002. Tako so do določene mere zapolnjevali proste kapacitete, ki so nastajale zaradi upadanja povpraševanja po standardni litoželezni kuhalni plošči.

Slika 5.2: Trendi proizvodnih programov



Vir: Interni podatki

5.1.1 Opis proizvodnega procesa

Glavni inputi, ki vstopajo v proizvodni proces, so material, energija in delo. Material bomo obravnavali utežno v kg, energijo v kWh, delo pa v urah.

Material, ki vstopa v proces, ima lahko funkcijo osnovnega ali pomožnega materiala. Osnovni materiali imajo to značilnost, da se vgradijo v izdelek, medtem ko se pomožni ne. Značilnost livarskih procesov, kjer se uliva ulitke v pesek, je, da obstajata dva krožna toka materiala, kar pomeni, da se že uporabljen material vrača v sistem kot input:

- Prvi krožni tok predstavljajo t.i. ulivni sistemi, to je material, ki je po kemični sestavi enak materialu v ulitkih in je nastal s strjevanjem litine v ulivnih kanalih, po katerih litina priteče v livno votlino, kjer se po njej oblikujejo ulitki. Vse te strjene kanale oz. ulivne sisteme vračamo v proces in jih zaradi njihove značilnosti stalnega kroženja imenujemo krožni material.
- Drugi krožni tok predstavlja livarski pesek, v katerega se uliva staljeno kovino. Formo, v katero ulijemo staljeno kovino, oblikujemo na formarskem stroju, kjer so na modelnih ploščah pritrjeni livarski modeli. Pesek se iz zalogovnika na stroju vsuje na modelne plošče, na katere se postavijo livarski okvirji, in stisne s hidravličnimi cilindri pod visokim tlakom. V formi tako nastane odtis oz. negativ modela. Celoto tvorita dve formi, zgornja in spodnja, v katere se ulije tekočo kovino. Danes se v serijski proizvodnji uporabljajo formarske linije s kapaciteto do 500 form/h. Staljeno kovino se lahko uliva v forme ročno iz ponovce, z ulivnim avtomatom ali z ulivno pečjo.

Pesek za izdelavo form je treba predhodno pripraviti. Sestavljen je iz kvarca, bentonita, ki ima funkcijo veziva, in črnine, ki ima funkcijo zagotavljanja ustrezne površine ulitkov. Da ima livarski pesek oblikovalne lastnosti oz. potrebno plastičnost, mu je treba dodati še vodo. Priprava livarskega peska poteka v posebnih mešalcih s predpisanim zaporedjem dodajanja komponent in časom mešanja šarže.

Outputi iz procesa so peskani ulitki, ki imajo lahko status končnega izdelka ali polizdelka.

Končne izdelke pakiramo, nekatere predhodno očistimo livarskega srha in skladiščimo, kjer počakajo na odpremo kupcu. Polizdelke paletiramo in skladiščimo, del teh pa se mimo skladišča pošilja po liniji direktno na mehansko obdelavo, od tam pa v oddelek za sestavljanje kuhalnih plošč.

Za pripravo ustrezne železove litine potrebujemo surovine (osnovni material), kot so razna odpadna jekla, ferolegure in naogljicevalec. Običajni livarski vložek za talilno peč je odvisen od ciljne kemične sestave litine, ki jo želimo izdelati. Najbolj običajen vložek je podan v tabeli 5. 1.

Tabela 5.1: Sestava livarskega vložka za talilno peč

Material	Masa (kg)	Delež (%)
Odpadno jeklo	2750	53
Krožni material	2250	43
Legure - skupaj	216	4
Skupaj vložek/peč	5216	100

V tabeli 5.2 pa je prikazana struktura ferolegur v vložku.

Tabela 5.2: Struktura ferolegur v livarskem vložku

Legura	Masa (kg)	Delež (%)
Naogljicevalec	108	2,0
FeSi (ferosilicij)	61	1,2
FeMn (feromangan)	13	0,2
FeCr (ferokrom)	6	0,1
FeP (ferofosfor)	28	0,5

Za pripravo livarskega peska ustrezne kakovosti, ki ga lahko oblikujemo v formo, potrebujemo surovine, ki so v tem primeru pomožni material, saj se ne vgradijo v izdelek. Omenili smo drugi krožni tok, ki predstavlja stalno krožeči pesek. Pri ulivanju izgori del komponent, del peska pa se izgubi, ker se ga odstrani z ulitkov s peskanjem in gre v odpad. Izgube v enem ciklu predstavljajo do 5 % celotne količine peska v sistemu. Te izgube so po livarnah različne, odvisne so od uporabljene tehnologije in proizvodnih programov. Proces priprave peska poteka na liniji za pripravo peska, ki jo sestavljajo transportni trakovi, separatorji, da se že uporabljeni t.i. povratni pesek očisti in mešalci z dozirnimi sistemi. Povratnemu pesku moramo dodati izgorele komponente in pokriti izgube z novim kvarcem, ki mu moramo prav tako dodati potrebne komponente.

Karakteristična sestava bentonitnega peska je prikazana v tabeli 5.3.

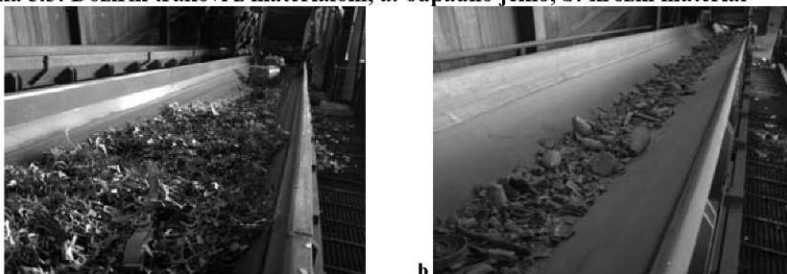
Tabela 5.3: Značilna sestava bentonitnega peska

Komponenta	Delež (%)
Kvarc – kremenčev pesek SiO ₂	85
Bentonit – vezivo	10
Črna – premogov prah z dodatki smol	5
Mešanici dodamo vodo	

5.1.2 Potek procesa proizvodnje ulitkov

Celoten proizvodni proces lahko v grobem razdelimo na: pripravo litine, pripravo peska, ulivanje in čiščenje. Priprava litine je sestavljena iz priprave vložka (šarže), šaržiranja in taljenja. Priprava vložka je avtomatizirana, z dvigali je treba naložiti samo surovine v zalogovnike, nato pa se na našo zahtevo zatehta predpisana količina surovin v šaržirni voz. Liniji za doziranje odpadnega jekla in krožnega materiala sta prikazani na sliki 5.3.

Slika 5.3: Dozirni trakovi z materialom, a: odpadno jeklo, b: krožni material



Vir: Čuk 2009

Ko je voz, ki ima lastno tehtnico, naložen, se vanj stresejo še legure, ki se pripravljajo istočasno na posebni liniji (slika 5.4 a). Po naložitvi vseh materialov ostane voz na čakalni poziciji (slika 5.4 b), od koder ga talilec po potrebi odpokliče.

Slika 5.4: Priprava šarže, a: zalogovniki za legure, b: šaržirni voz pod dozirnimi trakovi

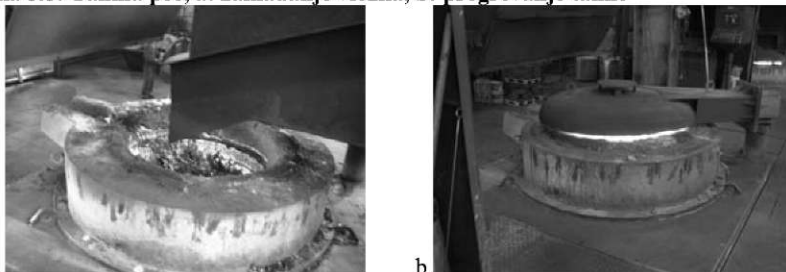


Vir: Čuk 2009

Material, pripravljen v šaržirnem vozu, se izprazni v talilno peč, kar poteka s pomočjo vibratorjev, pritrjenih na vozu. Polnjenje talilne peči izvaja in nadzira talilec prek ročnih komand.

Ko je talilna peč napolnjena s pripravljeno šaržo, se nadaljuje s taljenjem in pregrevanjem taline do izlivne temperature (slika 5.5). Pred praznjenjem je treba narediti kemično analizo litine in jo po potrebi korigirati, tako da v peč dodamo manjkajoče elemente v obliki legur.

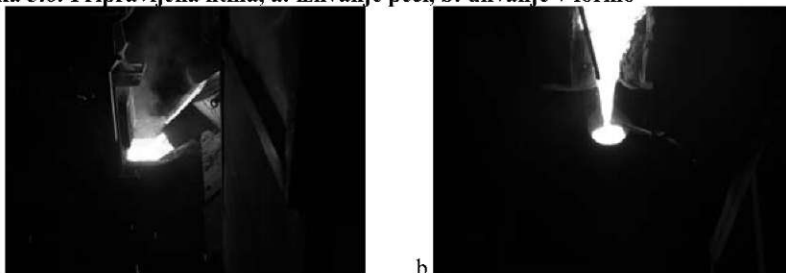
Slika 5.5: Talilna peč, a: zakladanje vložka, b: pregrevanje taline



Vir: Čuk 2009

Ko sta zagotovljeni zahtevana kemična sestava in temperatura litine, se prične z izlivanjem (slika 5.6 a), ki poteka s t.i. transportnimi ponovcami. Te nato transportiramo do ulivnega avtomata, kjer prek vmesne ponovce (slika 5.6 b) ulivamo litino v pečene forme. Tako ulita litina se ohlaja v peččenih formah 30 minut, nato pa se vsebina okvirjev iztrese na iztresni rešetki. Na iztresni rešetki se materiali ločijo, tako da pesek, ki pade skozi rešetke, potuje v regeneracijo, kjer se mu pri ulivanju doda izgubljene deleže komponent, nakar se ga premeša in ponovno uporabi.

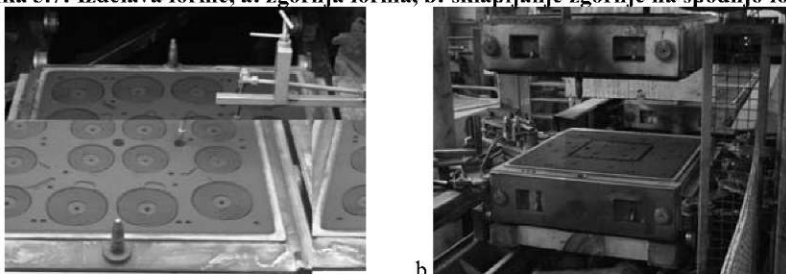
Slika 5.6: Pripravljena litina, a: izlivanje peči, b: ulivanje v formo



Vir: Čuk 2009

Litino se uliva v pečene forme, ki so izdelane v ločenem podprocesu. Forme se izdelujejo na formarskem stroju, in sicer oba dela hkrati, spodnji in zgornji (slika 5.7), nakar se ju na določenem mestu pred ulivno postajo sestavi, kar je prikazano na sliki 5.7 b.

Slika 5.7: Izdelava forme, a: zgornja forma, b: sklapanje zgornje na spodnjo formo

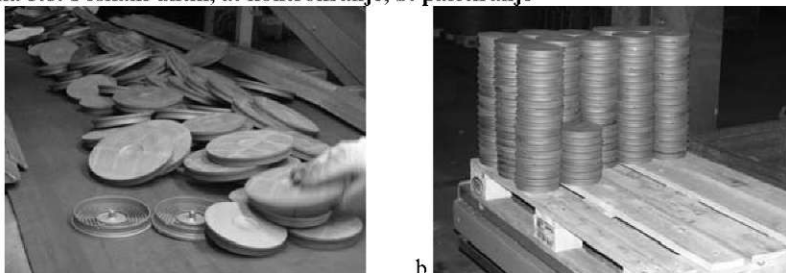


Vir: Čuk 2009

Ulivni sistemi se na iztresni rešetki oddvojijo (slika 5.8 a) in potujejo svojo pot skozi drobilec in nato v skladišče za ponovno uporabo. Kot rečeno, so strjeni ulivni sistemi t.i. krožni material, ki se vsakokrat vrne v ponovno pretaljevanje.

Ulitki iz iztresne rešetke potujejo proti peskalnemu stroju, kjer se na poti hladijo na zraku. V peskalnem stroju se ulitki očistijo, tako da se jim odstrani pesek, ki se jih še drži, in na izstopu dobimo ulitke s kovinskim sijajem (slika 5.8). Na tem mestu se vse ulitke pregleda in slabe izloči. Dobre ulitke se paletira na palete in uskladišči.

Slika 5.8: Peskani ulitki, a: kontroliranje, b: paletiranje



Vir: Čuk 2009

5.2 Uporabljeni podatki

Podatki so zbrani za obdobje 2003 do 2007. Iz računalniške baze v centralni službi za poslovno strategijo smo zbrali podatke o stroških, podatke o porabi materialov, energije in izdelanih količinah pa iz mesečnih proizvodnih evidenc in poročil v delovni enoti livarna.

Tabela 5.4: Stroškovna mesta s podatki

Šifra stroškovnega mesta	Naziv stroškovnega mesta
6103	priprava peska
6104	priprava taline
6105	formanje in ulivanje
6106	peskanje
6210	vodstvo
6240	laboratorij

Vir: Čuk 2009.

Stroški se zbirajo na stroškovnih mestih, ki so podani v tabeli 5.4. Vsako stroškovno mesto je sestavljeno iz kategorij, ki so v skupinah navedene v tabeli 5.5. Kategorije so prikazane v smiselni skupinah, ker bi bilo navajanje vseh preobširno, saj jih stroškovno mesto vsebuje med 45 in 55.

Tabela 5.5: Skupine kategorij znotraj stroškovnih mest

Šifre kategorij stroškov na stroškovnih mestih	Opis skupin kategorij stroškov
400100 – 403900	stroški materiala in rezervnih delov
410100 – 419700	stroški vzdrževanja in storitev
431100 – 434100	amortizacija opreme
443100 – 475100	plače, prehrana in drugi prejemki
480100 – 483100	članarine, takse, štipendije

Vir: Čuk 2009.

5.2.1 Variabilni stroški

Material se deli na osnovni in pomožni. Osnovni material, ki se vgradi v izdelek, sta v našem primeru odpadno jeklo in legure, pomožni material, ki ni vgrajen v izdelku, pa so pesek z dodatki, ognjevarni materiali in razna pomožna livarska sredstva.

Poraba materialov se dnevno evidentira in mesečno kontrolira zaloge ter po potrebi usklajuje knjižno stanje s fizičnim.

Vrednost materiala smo določili tako, da smo mesečne porabe posameznega materiala pomnožili z zadnjo nabavno ceno, to pomeni, da je bila cena enaka za vse mesečne porabe za obdobje 2003 – 2007.

Na enak način kot material smo pridobili podatke za vrednost porabe električne energije. Posebej smo zbrali porabo energije za taljenje in ostale energije. Vrednost materiala in energije smo opredelili kot variabilne stroške (VC).

5.2.2 Fiksni stroški

V skupino fiksnih stroškov smo uvrstili stroške dela, stroške vzdrževanja in amortizacijo. Stroške dela smo zbrali po stroškovnih mestih, kot so navedena v tabeli 5.5 iz kategorij 443100 – 475100, kot je navedeno v tabeli 5.5. Tudi stroške vzdrževanja in amortizacije smo zbrali iz ustreznih kategorij (tabela 5.5) po stroškovnih mestih (tabela 5.4). Stroške dela, vzdrževanja in amortizacije smo za vsak mesec v obravnavanem obdobju sešteli. Nato smo sešteli še mesece za vsako leto in delili z 12, da smo dobili povprečne mesečne fiksne stroške.

5.2.3 Izdelane količine

Output predstavljajo izdelane količine, ki so izražene v kg, kot generaliziran izdelek. Izdelane količine v evidencah obravnavamo kosovno, vendar bi bila taka obravnava neprimerna, ker smo izvajali raziskavo na celotnem asortimentu. Razlika v teži posameznih ulitkov je več kot 1:20, kar pomeni, da posamezen ulitek lahko tehta manj kot 1 kg in več kot 20 kg. Če pa obravnavamo količino izdelka na formo, pa ta nima velikega raztrosa. Najprimerneje je bilo torej obravnavati generaliziran izdelek v kg, ki tehta od 18 – 21 kg.

5.2.4 Podatki za izračun OEE

Razpoložljivi delovni čas smo zbrali iz mesečnih proizvodnih poročil, kjer so navedeni zastoji. Kot zastoj smo vzeli tisti čas, ko se je linija v delovnem času ustavila zaradi okvar ali pomanjkanja materiala. Če smo delali v treh izmenah, je bil mesečni delovni čas 24 ur krat število delovnih dni v mesecu. Temu času smo odšteli prekinitev in tako dobili razpoložljivi delovni čas.

Zmogljivost linije smo izračunali iz števila dejansko izdelanih form v mesecu in nazivne kapacitete, ki jo določimo iz ciklusa, ki predstavlja 21 sekund. To pomeni, da se teoretično vsakih 21 sekund izdela ena forma. Ta cikel pomeni kapaciteto linije $\frac{3600}{21} \approx 171 \text{ form/h}$. Mesečno število izdelanih form smo primerjali s to kapaciteto.

Kakovost smo ugotavljali iz razlike med ulitimi in dobrimi količinami. Za vsak program, ki ga ulivamo, poznamo neto maso ulitkov, in če pomnožimo neto maso ulitkov v formi s številom ulitih form, dobimo količino, ki bi jo morali izdelati. Ker delamo z določenim deležem izmeta, je končna količina manjša kot ulita in na osnovi teh podatkov smo izračunali faktor kakovosti. Podatke o kakovosti smo prav tako zbrali iz mesečnih proizvodnih evidenc.

5.3 Ocena proizvodne funkcije in tehnične učinkovitosti

Proizvodno funkcijo smo ocenili s sistemom naslednjih izokvant:

- Izokvanta 1: »Električna energija – delo«
- Izokvanta 2: »Bruto masa litine – neto masa litine«
- Izokvanta 3: »Livarski vložek – legura«.

5.3.1 Izokvanta »Električna energija – delo«

Prva izokvanta se nanaša na odnos med porabljeno električno energijo in delom.

- Porabo električne energije merimo v kilovatnih urah (kWh). Povprečna mesečna poraba električne energije znaša $1,21 \cdot 10^6$ kWh.
- Porabljeno delo merimo v delovnih urah. Povprečno število delovnih ur na mesec znaša 5501,1.

Tretja spremenljivka v prvem sistemu izokvante je količina izdelka, v tem primeru gre za proizvod »ulitek«. Ulitke izdelujemo v livarskih procesih, ki se medsebojno razlikujejo po materialu, iz katerega so izdelani kalupi, in po tlaku, s katerim polnimo tekočo kovino v kalup. Glede na tlak polnjenja ločimo ulivanje na gravitacijsko, vakuumsko, nizkotlačno in visokotlačno. Stalni ali kovinski kalupi se uporabljajo za tlačno in gravitacijsko litje. Enkratni kalupi so primerni za vse ulitke ali grozde ulitkov s skupnim ulivnim in napajalnim sistemom. Pri enkratnih kalupih se lahko uporablja stalne ali enkratne modele. Stalni modeli so izdelani iz lesa, kovine in plastičnih mas, enkratni modeli pa so izdelani iz voska, polistirena ali drugih polimernih materialov. Najširše uporabljani so naslednji štirje procesi izdelave ulitkov (Ravi 2005, 3 in 5):

- Ulitki, izdelani v peščenih kalupih (Sand Casting). V tem procesu se uporablja mešanica peska, veziva in vode, ki jo nabijemo okrog modela, ki je lesen ali kovinski,

nakar model izvlečemo, po potrebi vstavimo jedra ter vanj ulijemo tekočo kovino. Ko se ulitki strdijo in ohladijo, kalup razbijemo in odstranimo ulitke. Ta proces je primeren za ulivanje širokega spektra zlitin, oblik in količin.

- Ulitki, izdelani z iztaljivimi modeli (Investment Casting). Vosek injiciramo v kovinski kalup, da izdelamo modele. Voščene modele nato spojimo s skupnim lijakom v grozd ter vse skupaj večkrat potopimo v keramično malto. Ko se ta strdi, iztalimo voščene modele iz kalupa, ga predgrejemo in vanj ulijemo tekočo kovino. Po strditvi in ohladitvi ulitkov kalup razbijemo in ločimo ulitke. Proces je primeren za manjše zapletene oblike in tanke stene ulitkov.
- Gravitacijsko litje v kovinske kokile, imenovan tudi litje v stalne kalupe (Gravity Die Casting). Tekočo kovino ulijemo v kalup, ki je omočen s keramičnim premazom. Jedra, če so potrebna, so lahko narejena iz peska ali kovine. Po strditvi kovine se kalup odpre in ulitek odstranimo. Proces je primeren za ulivanje ulitkov iz neželeznih zlitin, srednje zahtevnih oblik in debelin sten.
- Tlačno litje (Pressure Die Casting). Tekočo kovino se pod tlakom vbrizga v jekleno vodno hlajeno kokilo. Kovinska jedra znotraj kokile se uporabljajo za izdelavo lukenj oz. votlih predelov ulitka. Po strditvi ulitka se kokila odpre in izbijalne igle izbijejo ulitek. Proces je primeren za izdelavo ulitkov iz neželeznih zlitin, manjše in srednje velikosti, različne kompleksnosti in debeline sten.

Da lahko predstavimo izokvanto v dvorazsežnem koordinatnem sistemu, moramo preračunati porabo posameznega inputa na enoto outputa. V tabeli 5.6 so predstavljene opisne statistike. Pri tem smo uporabili naslednje oznake za dejavnike v izokvanti:

E – električna energija (kWh),

D – delovne ure (ure),

Q – output, količina izdelanih ulitkov (kg),

$\frac{E}{Q}$ – povprečna poraba električne energije (kWh/kg),

$\frac{D}{Q}$ – povprečna poraba dela (ure/kg).

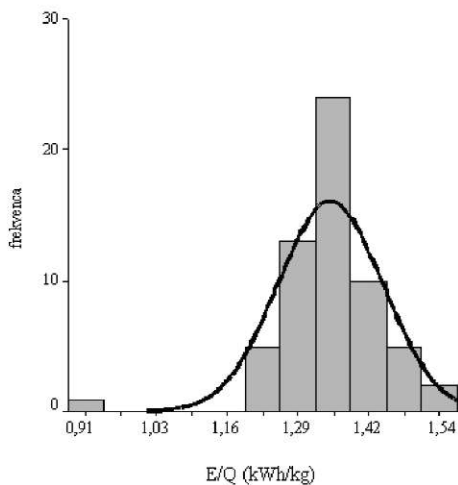
Tabela 5.6: Statistike povprečne porabe električne energije in dela

	Velikost vzorca	Najmanjša vrednost	Največja vrednost	Srednja vrednost	Standardni odklon	Mera asimetrije
$\frac{E}{Q}$	60	0,912	1,573	1,347	0,094	-1,213
$\frac{D}{Q}$	60	0,005	0,023	0,006	0,002	5,766

Vir: lastni izračuni

Povprečna poraba električne energije se približa normalni porazdelitvi, vendar je zmerno asimetrična v levo, kar lahko razberemo tudi iz poševnosti (Skewness; - 1,213) in je razvidna iz slike 5.9.

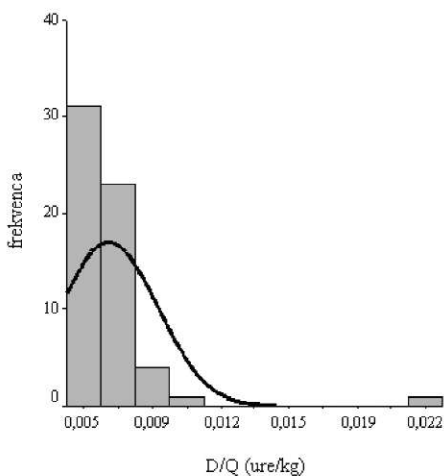
Slika 5.9: Porazdelitev povprečne porabe električne energije



Na abscisi merimo porabo električne energije na enoto proizvoda, na ordinati pa pogostost posameznih primerov izmerjene porabe energije (frekvenc a).

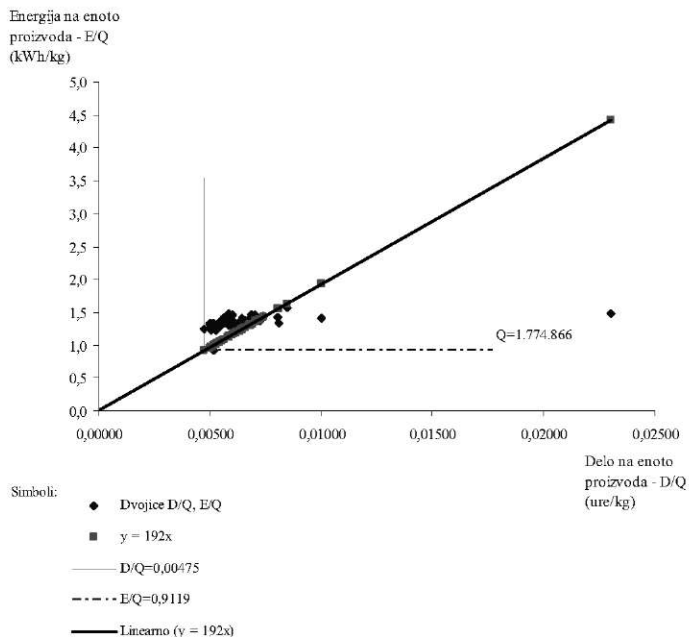
Večjo asimetričnost lahko vidimo pri porazdelitvi povprečne količine dela (slika 5.10), ki je asimetrična v desno s stopnjo 5,766.

Slika 5.10: Porazdelitev povprečne količine dela



Obravnavane podatke predstavljajo dvojice $\frac{D}{Q}$ in $\frac{E}{Q}$ na sliki 5.11 v obliki izokvante, ki je značilna za komplementarne proizvodne dejavnike.

Slika 5.11: Izokvanta »Električna energija – delo« in najučinkovitejša tehnika



Naklon krivulje na sliki 5.11 je določen z razmerjem najmanjših vrednosti povprečne porabe energije ($\frac{E}{Q}$) in povprečne porabe dela ($\frac{D}{Q}$), pomnoženim s povprečno porabo dela ($\frac{D}{Q}$).

$$Naklon = \frac{\min \frac{E}{Q}}{\min \frac{D}{Q}} \cdot \frac{D}{Q} \quad (5.1)$$

Gibanje po krivulji $\frac{D}{Q}=0,00475$ navzgor pomeni povečevanje povprečne porabe električne energije pri najmanjši povprečni količini dela. Gibanje po krivulji $\frac{E}{Q}=0,9119$ v desno pa predstavlja povečevanje povprečne količine dela pri najmanjši povprečni porabi električne energije. Najugodnejša poraba električne energije in časa je v točki $\frac{D}{Q}, \frac{E}{Q}$ (0,00475, 0,9119). Najugodnejše razmerje povprečne porabe električne energije in časa nam da output 1.774.866 kg.

5.3.2 Izokvanta »Bruto masa litine – neto masa litine«

Druga izokvanta se nanaša na odnos med celotno količino litine v formi in količino litine, ki predstavlja samo ulitke v formi. Porabo količin merimo v kilogramih (kg), vendar jo bomo zaradi velikih števil podali v tonah (t):

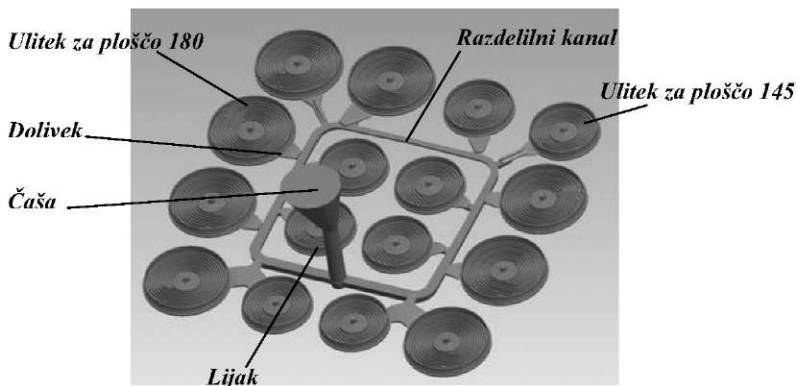
- Povprečna mesečna poraba litine znaša 1.316 t.
- Povprečna količina ulitkov na mesec znaša 909 t.

Poraba litine predstavlja celotno proizvedeno količino, medtem ko količina ulitkov pomeni maso izdelanih ulitkov, skupaj z izmetnimi, brez krožnega materiala. Krožni material je pri procesih izdelave ulitkov neizbežen, ker nastane s strditvijo litine v kanalih, po katerih priteče tekoča kovina v livno votlino.

Od oblike kanalov, imenovanih ulivni sistem, je v veliki meri odvisna kakovost ulitkov. Tu mislimo predvsem na ulitke brez livarskih napak, ki jih mora dobro oblikovan ulivni sistem preprečiti oz. zmanjšati njihov delež.

Na sliki 5.12 je prikazan 3D CAD model bruto mase ulitka v formi.

Slika 5.12: 3D CAD model ulitkov za kuhalne plošče z ulivnim sistemom



Vir: Čuk 2009

Model predstavlja dejanski program s kombinacijo dveh tipov ulitkov po 8 kosov, ki se ulivajo na livarski liniji v livarni ETA. Neto masa je 20 kg, bruto pa 27,5 kg. Tak model nam služi kot vhodni podatki za preračun simulacije ulivanja in strjevanja.

Danes so na razpolago orodja, kot je simulacija ulivanja in strjevanja, s katerimi je možno v kratkem času, brez prekinitve proizvodnje zaradi preizkusov, doseči znatne rezultate pri redukciji mase ulivnih sistemov in količine izmeta. Tako ulivni sistemi kot izmet predstavljajo dodatne stroške, ki se kažejo v dodatni porabi energije, dela, pomožnega materiala in delno tudi osnovnega materiala, čeprav se ta reciklira.

Stroški v livarni naraščajo z večanjem razlike med maso porabljene litine in končnimi očiščenimi ulitki. Za kontrolo stroškov je vitalnega pomena poraba litine, ki jo izražamo kot odstotni izkoristek. Pomembno je razlikovati med različnimi pomeni tega termina v livarskem managementu (Beeley, 2001, 111-112):

- Izkoristek lahko pomeni količino ulitkov za prodajo (ki jih dobimo, ko od celotnega šaržiranega materiala odštejemo celoten krožni material; amer. sold as castings), izraženih v odstotku od celotnega šaržiranega materiala v talilni agregat. Označimo ga kot »celoten izkoristek«, ki je kazalnik relativne uspešnosti porabe litine v vseh točkah proizvodnega cikla. Ta vrednost je izjemno pomembna v primerih, ko so legure, ki jih dodajamo osnovni talini (da zagotovimo ciljno kemično sestavo litine), izjemno drage in so tako stroški litine visoki v primerjavi s stroški delovnih operacij.
- Očiščene ulitke (ki jim odstranimo napajalnike, čaše, ulivne sisteme in srh na delilni ravnini; amer. fettled castings) lahko izražamo v odstotku od celotne bruto mase, ki vključuje napajalnike, čaše in ulivne sisteme.

Izkoristek ulitka izračunamo z enačbama:

$$IC = \frac{F}{M} \cdot 100\% \quad (5.2)$$

$$IU = \frac{N}{G} \cdot 100\% \quad (5.3)$$

Simboli pomenijo:

- IC – izkoristek celotni,
- IU – izkoristek ulitka,
- F – ulitki za prodajo,
- M – celoten šaržiran material,
- N – očiščeni ulitki (neto masa litine v formi v kg),
- G – bruto masa ulitka (bruto masa litine v formi v kg).

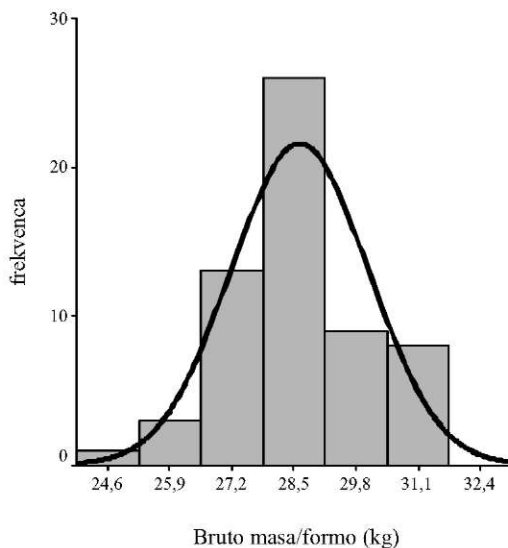
Tabela 5.7: Statistike količine litine v formi

	Velikost vzorca	Najmanjša vrednost	Največja vrednost	Srednja vrednost	Standardni odklon	Mera asimetrije
G	60	24,90	31,70	28,618	1,423	0,047
N	60	17,70	20,80	19,757	0,572	-0,752

Povprečni izkoristek ulitka (*IU*) v formi je 69 %, kar pomeni, da je povprečna masa ulitkov v formi skoraj 20 kg, dobrih 8,5 kg pa odpade na ulivni sistem oz. t.i. krožni material. Porazdelitev vzorcev se dokaj približa normalni porazdelitvi, kar potrjuje statistika poševnosti.

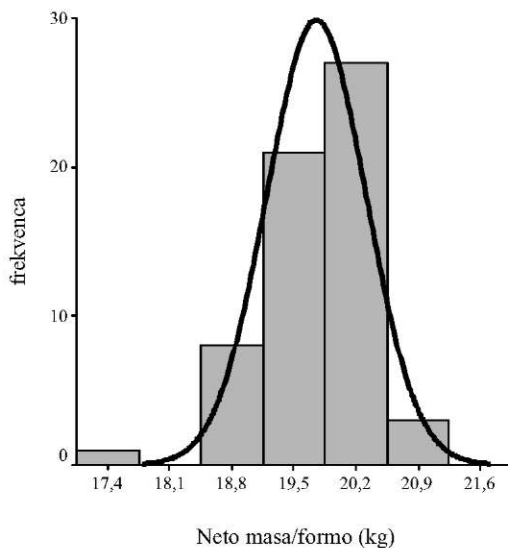
Poševnost znaša za bruto maso v formi 0,047, kar pomeni, da so podatki rahlo asimetrični v desno (slika 5.13).

Slika 5.13: Porazdelitev bruto mase litine v formi



Za neto maso v formi pa znaša poševnost $-0,752$, kar pomeni da so podatki asimetrični v levo (slika 5.14). Absolutno je asimetrija večja pri neto masi litine v formi, kar kaže na to, da imajo nekateri lažji ulitki slabši izkoristek.

Slika 5.14: Porazdelitev neto mase litine v formi

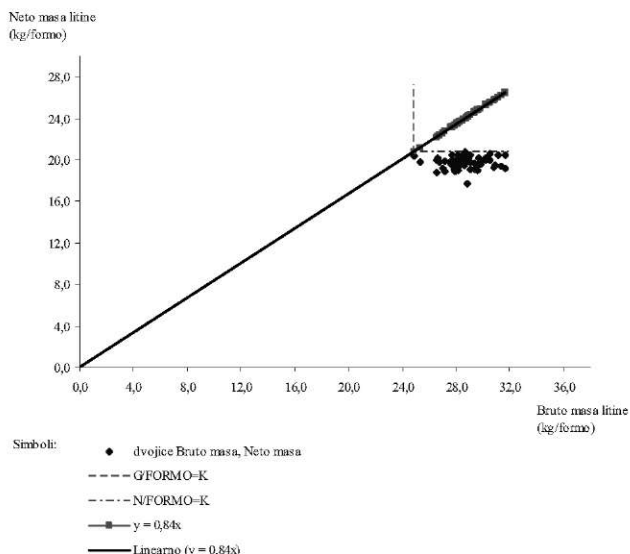


Naklon krivulje na sliki 5.15 predstavlja razmerje med največjo neto maso litine (N) in najmanjšo bruto maso litine (G) pomnoženo z bruto maso litine v formi.

$$Naklon = \frac{\max.N}{\min.G} \cdot G. \quad (5.4)$$

Funkcija $y = 0,84x$ je linearna funkcija in predstavlja maksimalen izkoristek litine.

Slika 5.15: Izokvanta »Bruto masa litine - neto masa litine« v formi



Dvojice »Bruto masa litine - neto masa litine« na sliki 5.15 predstavljajo medsebojni odnos dejanskih podatkov. Če bi se s proizvodnjo ulitkov gibal po krivulji, ki jo opišemo z omenjeno funkcijo, bi imeli vedno maksimalen izkoristek litine v formi in bi znašal IU = 84%. To istočasno pomeni najmanjšo porabo energije, dela in materiala, če vemo, da razliko med bruto in neto litino, t.i. krožni material, ponovno pretalimo, za kar porabljamo energijo, opravljamo določeno delo in porabimo material.

Krivulja $G=K$ (K – konstanta) na sliki 5.15 pomeni povečevanje neto mase ulitka pri konstantni bruto masi. Če bi se gibal po tej krivulji navzgor, bi povečevali izkoristek ulitka. Krivulja $N=K$ pa pomeni povečevanje bruto mase pri konstantni neto masi ulitka. Gibanje po tej krivulji v desno pomeni zmanjševanje izkoristka ulitka.

5.3.3 Izokvanta »Livarski vložek – legure«

Pri tej izokvanti smo želeli ugotoviti najboljše razmerje med livarskim vložkom in legurami. Taka izokvanta naj bi ponazarjala minimalni delež legur na maksimalni delež livarskega vložka.

- Livarski vložek je osnovna surovina za taljenje in pripravo litine. Običajno je sestavljen iz jeklenega odpada in krožnega materiala. Jekleni odpad, ki se uporablja v livarstvu za vložek, ni posebej standardiziran. Kakovost je običajno dogovorjena med dobaviteljem in porabnikom na osnovi internega standarda livarne.
- Od legur (zlitin) bomo omenili samo tiste ferolegure, ki jih v našem procesu uporabljamo. To so ferosilicij (FeSi), ferokrom (FeCr), feromangan (FeMn), ferofosfor (FeP) in naogljičevalec (C). Delež legirnega elementa v leguri je določen z ISO standardom.

Pri tem pa moramo izpostaviti dve omejitvi.

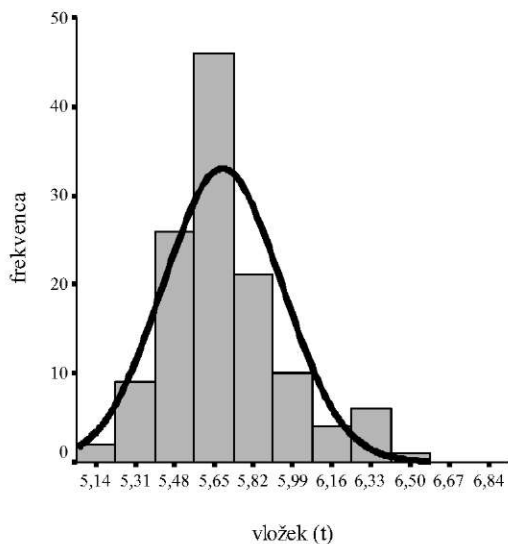
Prva omejitev je, da je količina vložka na talilni agregat konstantna, spreminja se toliko, kot se večja volumen talilnega lonca zaradi odgora ognjevarne obzidave. Vložek variira med 5120 in 6518 kg (tabela 5.8).

Tabela 5.8: Statistike količine vložka (kg) na talilno peč

	Velikost vzorca	Najmanjša vrednost	Največja vrednost	Srednja vrednost	Standardni odklon	Mera asimetrije
Masa vložka	125	5120	6518	5682	256	0,872

Višje vrednosti vložka normalno niso možne, ker se zaradi pretanke ognjevarne obzidave peč obnovi (stara obzidavo poruši in izdela novo). Volumen lonca je najmanjši v ciklu življenjske dobe ene obzidave ter sprejme maksimalno 5120 kg vložka. Povprečna masa vložka je enaka 5682 kg. Iz histograma na sliki 5.16 je vidna porazdelitev, ki je zelo blizu normalni,

Slika 5.16: Porazdelitev teže vložka na talilno peč



Drugo omejitev predstavlja kemična sestava litine, ki jo je treba urediti za proizvodnjo ulitkov. Različne so lahko tudi kemične sestave livarskih vložkov, kar pomeni, da je lahko poraba legur na enako količino vložka različna.

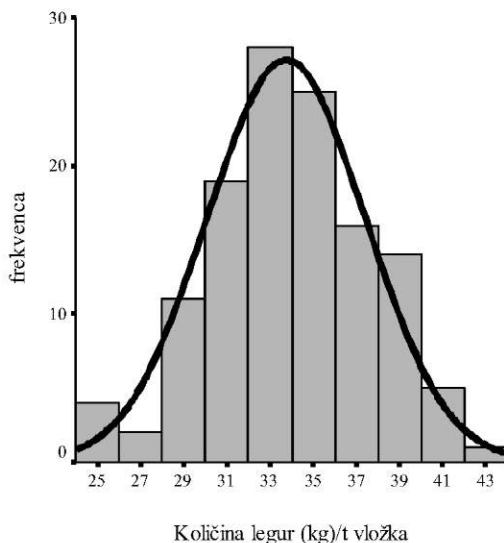
Na 1000 kg vložka je treba dodati med 24 in dobrih 42 kg legur (tabela 5.9), da se doseže željeno kemično sestavo litine.

Tabela 5.9: Količina legur na 1 t litine

	Velikost vzorca	Najmanjša vrednost	Največja vrednost	Srednja vrednost	Standardni odklon	Mera asimetrije
Legure (kg/t)	125	24	42	33,5	3,7	- 0,104

Porazdelitev dodatkov legur je zelo blizu normalni porazdelitvi, kar potrjuje zelo majhna mera asimetrije (- 0,104). To je videti tudi v sliki 5.17.

Slika 5.17: Porazdelitev količine legur, dodane na 1t vložka



Iz navedenih omejitev lahko ugotovimo, da je obravnava izokvante »Livarski vložek – legure« nesmiselna, ker je povečevanje faktorja vložek tehnološko omejeno, prav tako pa je omejeno zmanjševanje faktorja legure zaradi tehnoloških zahtev.

5.3.4 Tehnična učinkovitost

Tehnično učinkovitost bomo merili s parametrom (OEE), ki smo ga že pojasnili in je definiran kot:

$$OEE = A \times P \times Q \quad (5.5)$$

V našem izračunu OEE pa smo dodali še en faktor, in sicer razmerje med dobrimi formami in vsemi izdelanimi formami. Imenovali smo ga kakovost forme (Q_f) in ga izračunali iz razmerja:

$$Q_f = \text{ulite forme} / \text{izdelane forme} \quad (5.6)$$

Dobre forme so tiste, ki so brez napak in so primerne za ulivanje. Nekatere forme so izdelane z vidno napako (t.i. »trganje forme«) in takih form se ne ulije, kar zagotovimo s pritiskom na določeno tipko na liniji in tako ulivni avtomat ne ulije litine v poškodovano formo. V takem primeru prihranimo litino, ne pa tudi pomožnega materiala. Če je zaporedoma več poškodovanih form, izločimo iz ulivanja samo dve, sicer bi se litina v vmesni ponvi preveč ohladila in bi kljub dobri formi povzročili izmet. Tretjo formo torej ulijemo, tudi če smo ugotovili, da je poškodovana, zato da preprečimo preveliko ohladitev litine v ponovci in s tem napake na večji količini ulitkov, ki se bodo pojavljale, dokler se temperatura v ponovci ponovno ne dvigne z dolivanjem litine iz transportnega lonca. S preprečevanjem ulitja slabe

forme zmanjšujemo tudi skupno kapaciteto linije. Izdelamo lahko na primer 1100 form na delovno izmeno, ulijemo pa jih le 98% ali 1078 form na delovno izmeno.

V izraz (5.5) smo tako vpeljali kakovost forme in izračunali **drugo različico parametra OEE** (OEE2), ki korektno meri stopnjo kakovosti:

$$OEE2 = A \times P \times Q \times Q_f \quad (5.7)$$

Nujnost vpeljave novega faktorja (Q_f) smo preverili z analizo varianc. V Excelu smo izvedli t – test in preverili, če so med vzorcema razlike (tabela 5.10). Postavili smo ničelno hipotezo, da med variancama populacij ni razlik (H_0 : med variancama ni razlik).

Tabela 5.10: t - test varianc za vzorca OEE in OEE2

t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances		
	<i>OEEkg</i>	<i>OEE2kg</i>
Mean	0,768041548	0,751162364
Variance	0,003938099	0,003971737
Observations	60	60
Pooled Variance	0,003954918	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	118	
t Stat	1,470088023	
P(T< t) one-tail	0,072099645	
t Critical one-tail	1,657869523	
P(T<=t) two-tail	0,14419929	
t Critical two-tail	1,980272226	

Vir: Lastni izračuni na osnovi internih podatkov

Ničelno hipotezo zavrnemo, ker je $t < t_{\text{Critical}}$ in je $P > 0,05$. Med variancama ni razlike, zato bomo v ocenah tehnične učinkovitosti obravnavali OEE2, ki celoviteje prikazuje tehnično učinkovitost. Čeprav ni razlik, bomo v analizo vključili faktor Q_f , saj na končni rezultat ne bo bistveno vplival. Ker pa s tem faktorjem ocenjujemo kakovost forme, s čimer so povezani stroški, je končna ocena bolj natančna.

5.3.5 Analiza parametrov OEE

Analizirali smo štiri parametre, ki določajo tehnično učinkovitost. Poleg razpoložljivosti (A), zmogljivosti (P) in kakovosti (Q) smo dodali še kakovost izdelane peščene forme (Q_f). Vpliv smo ugotavljali s povezanostjo med spremenljivkami razpoložljivost (A), zmogljivost (P), kakovost (Q), kakovost forme (Q_f) in korektno merjena tehnična učinkovitost (OEE2).

Tabela 5.11: Korelacijska matrika spremenljivk tehnične učinkovitosti

	<i>A</i>	<i>P</i>	<i>Q</i>	<i>Q_f</i>	<i>OEE2</i>
A	1				
P	0,233574	1			
Q	0,432049	0,19839	1		
Q _f	0,097941	-0,20119	0,181413	1	
OEE2	0,711638	0,745394	0,565994	0,253664	1

Vir: Čuk 2009

Če opazujemo navedene štiri parametre s stališča vpliva na OEE2, lahko ugotovimo, da ima največji vpliv zmogljivost (P), najmanjšega pa kakovost forme (Q_f).

Tabela 5.12: Statistike kazalnikov OEE

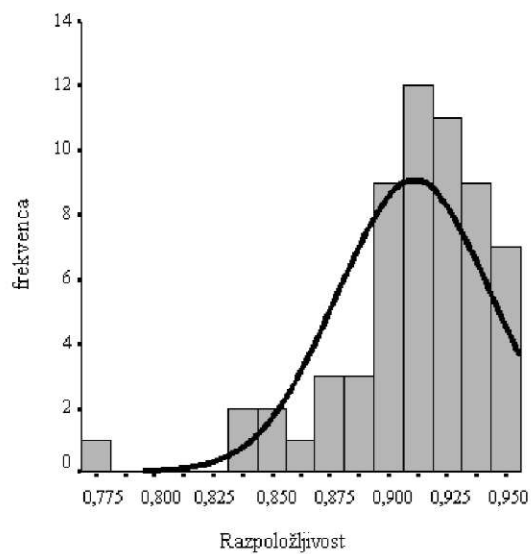
	Asime- trija	Min vredn.	Max vredn.	Variacij. razmik	Srednja vrednost	Stand. odklon	Varianca vzorca
Razpoložljivost (A)	-1,57	0,7784	0,9561	0,1777	0,9107	0,0329	0,00108
Zmogljivost (P)	0,30	0,7665	0,9997	0,2332	0,8811	0,0515	0,00265
Kakovost (Q)	-2,71	0,8569	0,9813	0,1244	0,9562	0,0186	0,00035
Kakovost forme (Q _f)	-5,96	0,8090	0,9991	0,1901	0,9781	0,0243	0,00059
OEE2	-1,07	0,5200	0,8600	0,3308	0,7518	0,0634	0,00397

Vir: Čuk 2009

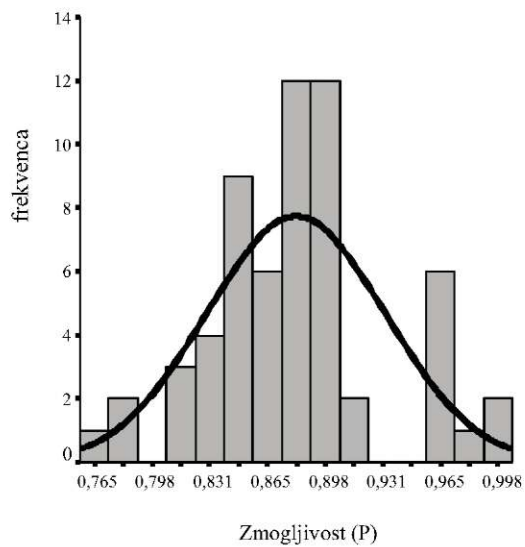
Iz tabele 5.12 je razvidno, da ima zmogljivost (P) najnižjo srednjo vrednost, medtem ko imata faktorja kakovosti najvišji srednji vrednosti. Variabilnost posameznega faktorja lahko ugotovimo z variacijskim razmikom in varianco. Variacijski razmik je največji pri zmogljivosti, najmanjši pa pri kakovosti. Enako velja za varianco, saj je pri zmogljivosti največja, najmanjša pa pri kakovosti. Iz tega lahko zaključimo, da k nizki vrednosti OEE največ prispeva zmogljivost, najmanj pa kakovost. Razpoložljivost se po vrednosti nahaja nekje na sredini, toda bliže zmogljivosti.

Vsi kazalniki, z izjemo zmogljivosti, so dokaj asimetrični v levo, med njimi najbolj izstopa kakovost forme, z mero asimetrije skoraj – 6.

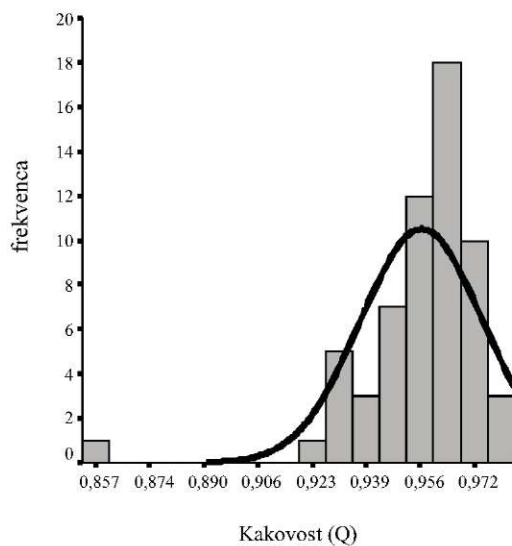
Slika 5.18: Porazdelitev kazalnika Razpoložljivost (A)



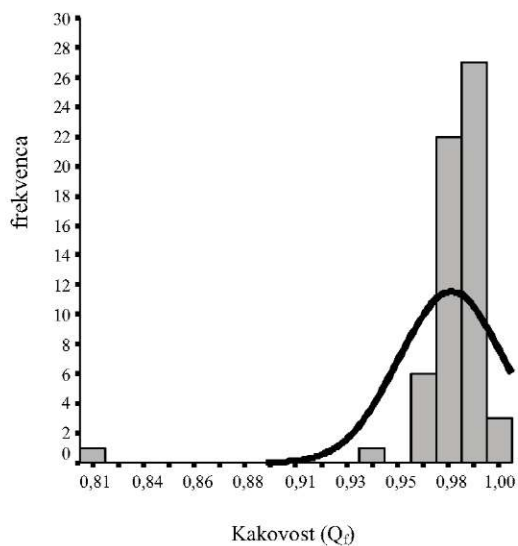
Slika 5.19: Porazdelitev kazalnika Zmogljivost (P)



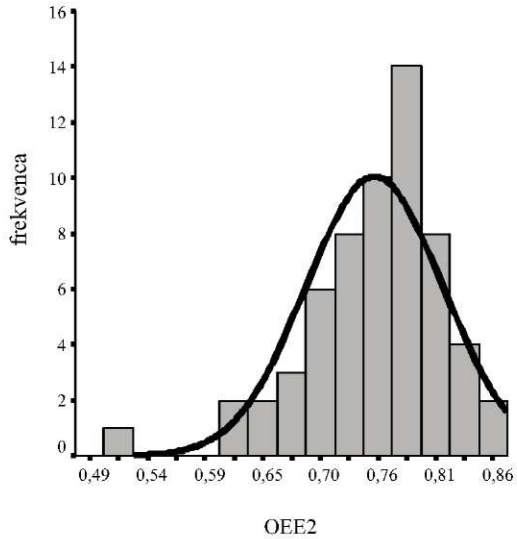
Slika 5.20: Porazdelitev kazalnika Kakovost (Q)



Slika 5.21: Porazdelitev kazalnika Kakovost forme (Q_f)



Slika 5.22: Porazdelitev tehnične učinkovitosti (OEE2)



5.4 Ocena stroškovne funkcije in stroškovne učinkovitosti

Za merjenje stroškovne učinkovitosti smo uporabili razmerje med dejanskimi in optimalnimi povprečnimi stroški.

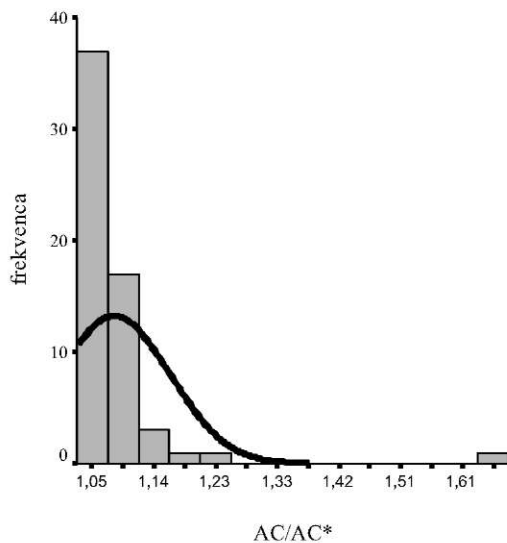
Največjo stroškovno učinkovitost dosežemo, kadar je razmerje $\frac{AC}{AC^*} = 1$. V takem primeru so dejanski stroški enaki optimalnim, praviloma pa so dejanski stroški vedno večji od optimalnih, kar pomeni, da delamo z nižjo tehnično učinkovitostjo kot je optimalna.

Tabela 5.13: Statistike razmerja med dejanskimi in optimalnimi povprečnimi stroški

	Asime- trija	Min vredn.	Max vredn.	Variacij. razmik	Srednja vrednost	Stand. odklon	Varianca vzorca
AC/AC*	6,0303	1,03488	1,6652	0,6303	1,0812	0,0837	0,0070

Povprečno razmerje AC/AC* znaša 1,0812. To pomeni, da so dejanski stroški za 8,12% višji od optimalnih, kar predstavlja stopnjo stroškovne neučinkovitosti.

Slika 5.23: Porazdelitev vrednosti parametra stroškovne učinkovitosti

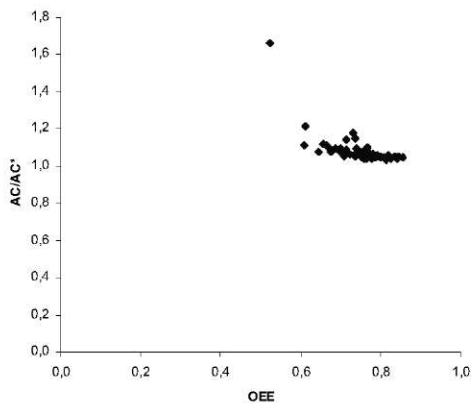


Krivulja porazdelitve je močno asimetrična v desno (slika 5.23), kar kaže, da je najbolj pogost pojav stroškovne neučinkovitosti na ravni 5%.

5.5 Ocena faktorja povezanosti med stroškovno in tehnično učinkovitostjo

Obravnavali bomo dve spremenljivki in njuno medsebojno povezanost. Neodvisna spremenljivka (x) bo OEE, odvisna spremenljivka (y) pa bo $\frac{AC}{AC^*}$. Povezanost med spremenljivkama bomo najprej ocenili s pomočjo razsevnega diagrama v sliki 5.24.

Slika 5.24: Razsevni diagram za oceno povezanosti med spremenljivkama OEE in $\frac{AC}{AC^*}$.



Na osnovi zgornjih navedb lahko za točke $\frac{OEE}{\frac{AC}{AC^*}}$ na sliki 5.24 rečemo, da točke kažejo na možno negativno korelacijo, zato bomo z regresijsko analizo ocenili parametre v modelu in izračunali determinacijski koeficient R^2 , ki nam bo povedal, kolikšna je pojasnjevalna moč modela.

Preizkusili bomo več modelov in s primerjavo ugotovili najprimernejšega.

5.5.1 Matematična izhodišča

Odnos med $\frac{AC}{AC^}$ in OEE*

Na začetku moramo postaviti pogoje, katerim mora matematični model ustrezati. Neodvisna spremenljivka (OEE) se nahaja na intervalu od >0 do 1. Začetek intervala mora biti >0 , ker bi vrednost 0 pomenila, da linija stoji ali pa deluje s 100% izmetom, kar ne bi imelo smisla, zato bi jo morali ustaviti in odpraviti napake. Končna vrednost intervala je teoretično lahko največ 1, kar pomeni, da linija deluje s 100% izkoriščenostjo. Odvisna spremenljivka se mora nahajati na intervalu od 1 do ∞ . Najmanjša vrednost je lahko 1, kar pomeni, da so dejanski povprečni stroški (AC) enaki teoretičnim povprečnim stroškom (AC^*). Funkcija ima limito $f(x)$, ko gre x proti 0, kar zapišemo, $\lim_{x \rightarrow 0} f(x)$.

Izbrana funkcija mora ustrezati naslednjim pogojem:

- funkcijska vrednost $f(x_0)$ pri $x_0 = 1$, mora biti 1,
- funkcijska vrednost $f(x_1)$ pri $x_1 = 0$, mora biti ∞ ,
- konstanta funkcije b_0 mora biti 0,
- krivulja funkcije mora biti padajoča.

Odnos med Presežkom in OEE

Za primerjavo bomo obravnavali tudi odnos med stroškovnim presežkom in OEE. Presežek je v tem primeru razlika med povprečnimi dejanskimi in povprečnimi teoretičnimi stroški.

$$\text{Presežek} = AC - AC^*$$

Po zgornjem zgledu bomo poiskali krivuljo, ki bi se najbolje prilegala parom podatkov. Neodvisna spremenljivka je OEE, odvisna pa Presežek. Neodvisna spremenljivka ima enak interval kot v zgornjem primeru, medtem ko se interval odvisni spremenljivki spremeni, tako da se prične z nič. Presežek z vrednostjo nič pomeni delovanje proizvodnega procesa z najvišjo stroškovno učinkovitostjo, naraščanje presežka pa predstavlja povečevanje stroškovne neučinkovitosti.

Izbrana funkcija mora ustrezati naslednjim pogojem:

- funkcijska vrednost $f(x_0)$ pri $x_0 = 1$ mora biti 0,
- funkcijska vrednost $f(x_1)$ pri $x_1 = 0$ mora biti ∞ ,
- konstanta funkcije b_0 mora biti 0,
- krivulja funkcije mora biti padajoča.

Obravnavane funkcije

- linearna funkcija: $y = b_0 + b_1 \cdot x$,
- logaritemska funkcija: $y = b_0 + b_1 \cdot \ln(x)$,
- inverzna funkcija: $y = b_0 + \frac{b_1}{x}$,
- potenčna funkcija: $y = b_0 \cdot x^{b_1}$, oz.: $\ln(y) = \ln(b_0) + b_1 \cdot \ln(x)$,
- funkcija S-krivulje: $y = e^{\frac{b_0}{x}}$, oz.: $\ln(y) = b_0 + \frac{b_1}{x}$,
- eksponentna funkcija: $y = b_0 \cdot e^{b_1 \cdot x}$, oz.: $\ln(y) = b_1 \cdot x$.

5.5.2 Empirični rezultati

Podatke bomo ocenili v SPSS, in sicer z oceno krivulj, brez upoštevanja konstante v enačbi. Nato bomo funkcijo, ki bo najbolj zadostila zgornjim pogojem, ocenili še z orodjem za statistično analizo podatkov STATA.

Ocena regresijskega modela $\frac{AC}{AC^*}$ in OEE

V modelu je OEE neodvisna (pojasnjevalna) spremenljivka, $\frac{AC}{AC^*}$ pa odvisna spremenljivka.

Tabela 5.14: Ocena parametrov regresijskih modelov za spremenljivki $\frac{AC}{AC^*}$ in OEE

Matematični model	R ²	d.f.	F	Statistična značilnost	b ₁
Linearni	0,979	59	2712,05	0,000	1,4219
Logaritemski	0,939	59	913,69	0,000	-3,4760
Inverzni	0,996	59	15446,90	0,000	0,8037
Potenčni	0,757	59	184,29	0,000	-0,2857
S-krivulja	0,653	59	110,95	0,000	0,0595
Eksponentni	0,523	59	64,71	0,000	0,0951

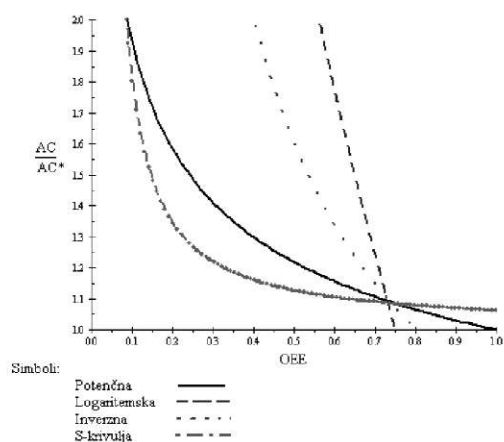
- Linearna funkcija ocenjene krivulje: $y = 1,422 \cdot x$. Model ne ustreza pogojem, ker je funkcija naraščajoča.
- Logaritemska funkcija ocenjene krivulje: $y = -3,476 \cdot \ln(x)$. Model ne ustreza pogojem, ker je vrednost y pri vrednosti $x = 1$ enaka 0.
- Inverzna funkcija ocenjene krivulje: $y = \frac{0,8037}{x}$. Model ne ustreza, ker vrednost y pri $x = 1$ ni enaka 1.
- Potenčna funkcija ocenjene krivulje: $y = x^{-0,2857}$, oz.: $\ln(y) = -0,2857 \cdot \ln(x)$. Model ustreza, ker je y pri vrednosti $x = 1$ enak 1 in je parameter b_1 negativen, kar pomeni, da

je krivulja padajoča.

- Funkcija S-krivulje ocenjene krivulje: $y = e^{\frac{0,0595}{x}}$, oz.: $\ln(y) = \frac{0,0595}{x}$. Model ne ustreza, vendar je napaka precej majhna. Vrednost y je pri $x = 1$ enaka 1,06.
- Eksponentna funkcija ocenjene krivulje: $y = e^{0,0951 \cdot x}$, oz.: $\ln(y) = 0,0951 \cdot x$. Model ne ustreza, ker je funkcija naraščajoča.

Na sliki 5.25 so prikazane krivulje modelov, ki ustrezajo kriteriju, da morajo biti padajoče.

Slika 5.25: Krivulje ocenjenih regresijskih modelov odnosa $\frac{AC}{AC^*}$ in OEE



Ocena regresijskega modela $AC-AC^*$ in OEE

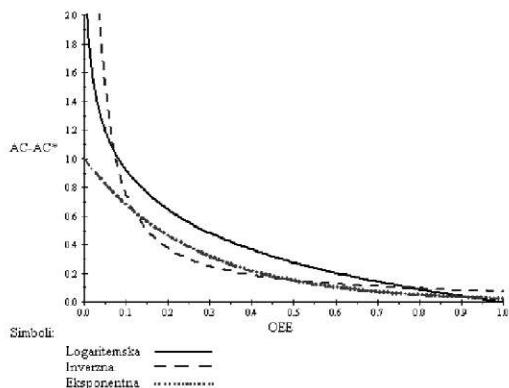
V modelu je neodvisna (pojasnjevalna) spremenljivka OEE, $AC-AC^*$ pa je odvisna spremenljivka.

Tabela 5.15: Ocena parametrov regresijskih modelov za spremenljivki Presežek in OEE

Matematični model	R ²	d.f.	F	Statistična značilnost	b ₁
Linearni	0,135	59	9,18	0,004	0,1056
Logaritmski	0,312	59	26,78	0,000	-0,4011
Inverzni	0,219	59	16,52	0,000	0,0754
Potenčni	0,766	59	193,48	0,000	8,5759
S-krivulja	0,893	59	494,81	0,000	-2,0790
Eksponentna	0,951	59	1137,04	0,000	-3,8281

Pogojem v celoti ustreza samo logaritmski model, vendar je njegova jakost dokaj šibka, saj je vrednost determinacijskega koeficienta samo 0,312, kot je razvidno iz tabele 5.15. Pogojem se precej približata tudi inverzni in eksponentni model, vendar pri $x = 1$ njuna vrednost $y \neq 0$.

Slika 5.26: Krivulje ocenjenih regresijskih modelov razmerja med stroškovno in tehnično učinkovitostjo



Na sliki 5.26 vidimo potek krivulj, ki ponazarjajo dvojice podatkov AC-AC* in OEE. Kot rečeno, modeli ne zadostijo pogojem, če pa že, je pojasnjevalna moč modela nizka.

Ocena najustrežnejšega modela

Iz ocen regresijskih modelov lahko ugotovimo, da postavljenim pogojem ustreza potenčna funkcija, zato bomo tej funkciji ocenili parameter b_1 še z orodjem STATA.

Tabela 5.16: Ocena parametrov regresijskega modela

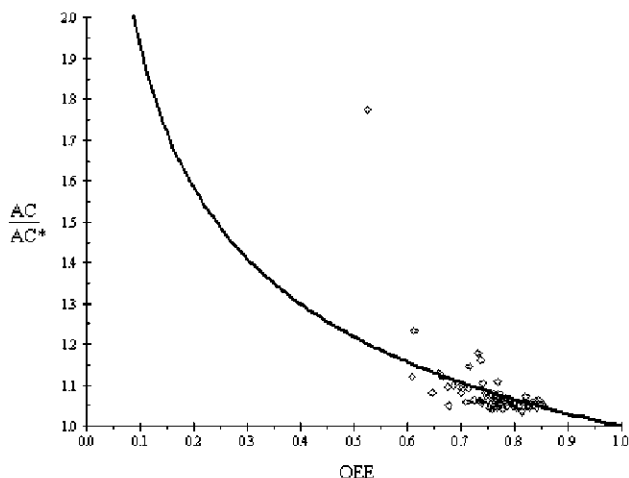
Matematični model	b_1	t	Statistična značilnost	F	R^2	Popravljeni R^2
Potenčni	-0,2852062	-13,44	0,000	180,66	0,7538	0,7496

S pojasnjevalno spremenljivko, vključeno v model, lahko pojasnimo dobrih 75% variance odvisne spremenljivke. Pojasnjevalna spremenljivka je statistično značilna, ker je njena vrednost $<0,05$. Poleg obravnavanega so v tabeli 5.16 navedene še druge statistike, ki jih računalniški program izpiše v rezultatih, vendar jih ne bomo posebej interpretirali. Ker poznamo matematično obliko in smo ocenili parameter b_1 , lahko zapišemo matematični model.

$$\frac{AC}{AC^*} = OEE^{-0,2852}$$

Na sliki 5.27 so podane krivulja matematične funkcije in točke empiričnih parov podatkov.

Slika 5.26: Krivulja razmerja med stroškovno in tehnično učinkovitostjo



Čuk (2009) je s tem modelom pojasnil 75 odstotkov variance odvisne spremenljivke in s tem utemeljil potenčno funkcijo kot primeren empirični model za transformacijo izmerjene tehnične (ne)učinkovitosti v stroškovno (ne)učinkovitost.

Vendar pa ima ta empirični model bistveno vsebinsko lastnost. Povezavo med stroškovno in tehnično (ne)učinkovitostjo gradi na regresijski zvezi, ki vključuje slučajni odklon, ne pa na funkcijski zvezi. Skozi izpeljano teoretično utemeljitev mikroekonomskih proizvodnih in stroškovnih funkcij ter tehnične in stroškovne učinkovitosti pa smo jasno pokazali, da je ta zveza funkcijska in ne dopušča prostora za slučajne odklone.

Kot bomo pokazali v nadaljevanju, ta problem premošča t. i. OCE algoritem, ki je bil prvič opredeljen v Novak (2007) in je detajlno razvit v pričujoči monografiji.

6 OCE MODEL TEHNIČNE IN STROŠKOVNE UČINKOVITOSTI ZA MANAGEMENT PRODUKTIVNOSTI

6.1 Izhodišča

Novak in Žižmond (2011) sta na temelju izhodiščenega modela OCE (Overall Cost Efficiency), razvitega v Novak (2007), zasnovala celovit teoretični model tehnične in stroškovne učinkovitosti. V tej monografiji je model izpopolnjen in dokončno razvit.

Jedro tega modela je OCE algoritem, ki je v bistvu deterministična cenilka stroškovne neučinkovitosti na temelju izmerjene tehnične učinkovitosti.

Izhodišče pri razvoju OCE modela predstavljajo **tehnični koeficienti**:

$$a_i = \frac{X_i}{TP},$$

kjer imajo spremenljivke naslednji pomen:

a_i – tehnični koeficient,

X_i – input,

TP – output.

Pripadajoča inverzna vrednost zgoraj opredeljenega tehničnega koeficienta je koeficient produktivnosti:

$$AP_X = \frac{TP}{X_i},$$

kjer velja:

AP_X – povprečna produktivnost inputa X ,

TP – output,

X_i – input.

Skladno z definicijsko enačbo za celotne stroške so le-ti izračunani kot:

$$TC = \sum_{i=1}^n (X_i \cdot p_i),$$

pri čemer so:

TC – celotni stroški,

X_i – input,

p_i – cena inputa.

Od tod nadaljujemo z enačbo za izračun povprečnih stroškov:

$$AC = \frac{TC}{TP},$$

pri čemer so:

AC – povprečni stroški,

TC – celotni stroški,

TP – output.

Konceptualni okvir torej temelji najprej na definiranju povprečnih stroškov. Nato vpeljemo OEE metodologijo za merjenje tehnične učinkovitosti, ki smo jo predstavili v poglavju 3.4. Sedaj pa vpeljemo **dve novi spremenljivki**.

Prvo spremenljivko imenljemo **stopnja tehnične učinkovitosti (TER)** in ji pripišemo naslednjo definicijsko enačbo:

$$TER = \frac{AP}{AP_{\max}}$$

z naslednjim pomenom posameznih spremenljivk
TER – stopnja tehnične učinkovitosti, $0 \leq TER \leq 1$,
AP – dejanska povprečna produktivnost,
AP_{max} – potencialna povprečna produktivnost.

Če se dejanska povprečna produktivnost sklada s potencialno povprečno produktivnostjo, je stopnja tehnične učinkovitosti enaka 1, kar odraža t. i. popolno (100-odstotno) tehnično učinkovitost.

Drugo spremenljivko pa imenljemo **stopnja stroškovne neučinkovitosti (CIR)**, ki ima naslednjo matematično opredelitev:

$$CIR = \frac{AC}{AC_{\min}}$$

z naslednjim pomenom posameznih spremenljivk
CIR – stopnja stroškovne učinkovitosti, $1 \leq CIR \leq \infty$,
AC – dejanski povprečni stroški,
AC_{min} – potencialni povprečni stroški.

Če se dejanski povprečni stroški skladajo s potencialno najnižjimi povprečnimi stroški, je vrednost koeficienta *CIR* enaka 1, kar implicira ničelno stopnjo stroškovne neučinkovitosti oziroma popolno stroškovno učinkovitost.

Vpeljava spremenljivk *TER* in *CIR* omogoča ohranjanje oziroma opozarjanje na inverzno zvezo med tehnično učinkovitostjo in stroškovno neučinkovitostjo tudi na terminološki ravni. Če se namreč stopnja tehnične učinkovitosti (*TER*) povečuje, kar je doseženo skozi približevanje dejanske povprečne produktivnosti potencialni povprečni produktivnosti, potem se stopnja stroškovne neučinkovitosti (*CIR*) zmanjšuje, kar je uresničeno skozi približevanje dejanskih povprečnih stroškov potencialno najnižjim povprečnim stroškom. V skrajnem primeru, ko je dejanski obseg proizvodnje enak 0 in s tem dejanska povprečna produktivnost enaka 0, se soočimo na eni strani z ničelno stopnjo tehnične učinkovitosti, na drugi strani pa z neskončno stopnjo stroškovne neučinkovitosti.

Z opredelitvijo definicijskih enačb za stopnjo tehnične učinkovitosti (*TER*) in za stopnjo stroškovne neučinkovitosti (*CIR*) lahko definiramo zaloge vrednosti pripadajočih spremenljivk:

- Zaloga vrednosti za spremenljivko *TER* je interval [0, 1]. Stopnja 0 je dosežena, ko je dejanski obseg proizvodnje enak 0, stopnja 1 pa je dosežena, ko je dejanski obseg proizvodnje enak potencialnemu obsegu proizvodnje.
- Zaloga vrednosti za spremenljivko *CIR* pa je interval [1, ∞). Stopnja 1 je dosežena, ko se dejanski povprečni stroški skladajo s potencialno najnižjimi povprečnimi stroški. Navzgor pa vrednost koeficient *CIR* ni omejena, saj so lahko dejanski stroški neskončno-krat večji od potencialno najnižjih.

Po utemeljitvi spremenljivk *TER* in *CIR* povzamemo znane definicijske opredelitve iz teorije stroškovnih funkcij. To, kar je pomembno za razumevanje poteka razvoja OCE algoritma, je definicijska enačba za povprečne stroške:

$$AC = \frac{TC}{TP} = \frac{FC + VC}{TP} = \frac{FC}{TP} + \frac{VC}{TP} = AFC + AVC,$$

kjer imajo spremenljivke naslednji pomen:

AC – povprečni stroški,

TC – celotni stroški,

TP – output,

FC – fiksni stroški,

VC – variabilni stroški,

AFC – povprečni fiksni stroški,

AVC – povprečni variabilni stroški.

Pri izpeljavi algoritma OCE na temelju parametra OEE moramo upoštevati, da imajo spremembe v razpoložljivosti (A), zmogljivosti (P) in kakovosti (Q), ki vzajemno določajo OEE, različen vpliv na stroške. Na temelju diverzifikacije med povprečnimi fiksnimi in povprečnimi variabilnimi stroški utemeljujemo vpliv posameznega parametra OEE na povprečne stroške na sledeč način:

- Zmanjševanje razpoložljivosti (A) povečuje povprečne fiksne stroške, pri čemer ostajajo povprečni variabilni stroški nespremenjeni. To izhaja iz teoretične opredelitve stroškovnih funkcij, saj ostajajo fiksni stroški v času nespremenjeni, zniževanje razpoložljivosti pa znižuje obseg proizvodnje, kar povečuje povprečne fiksne stroške. Povprečni variabilni stroški zaradi spreminjanja razpoložljivega časa za proizvodnjo ostajajo nespremenjeni, saj se zaradi zmanjšane časa proizvodnje ustrezno zmanjša poraba variabilnih inputov. Variiranje razpoložljivosti se torej prenaša v spreminjanje povprečnih stroškov prek spreminjanja povprečnih fiksnih stroškov.
- Zmanjševanje zmogljivosti (P) proizvodne linije ima prav tako vpliv zgolj na povprečne fiksne stroške. Če zmanjšamo hitrost proizvodne linije, pomeni, da znotraj razpoložljivega časa ne dosegamo potencialnega obsega proizvodnje. Poraba variabilnih inputov se sicer prilagaja temu zmanjšanju obsega proizvodnje, vendar se zaradi zmanjševanja obsega proizvodnje povečujejo povprečni fiksni stroški in s tem povprečni stroški. Vpliv nihanja zmogljivosti proizvodne linije na povprečne stroške je torej enak vplivu nihanja razpoložljivosti proizvodne linije.
- Zmanjševanje kakovosti (Q) pa ima vpliv na rast povprečnih stroškov tako prek rasti povprečnih fiksnih kot prek povprečnih variabilnih stroškov. Zniževanje parametra kakovosti namreč pomeni, da se povečuje delež slabih kosov v celoti vseh proizvedenih kosov. Ker je treba slab kos izločiti iz prodaje, pomeni, da moramo vse stroške variabilnih inputov, ki so v tem slabem kosu, prenesti v breme dobrega kosa. Če bi na primer proizvedli samo dva kosa, od tega enega dobrega in enega slabega, bi

morali vse stroške materiala slabega kosa prenesti v breme dobrega kosa. Povprečni variabilni stroški na enoto proizvoda bi bili tako dvakratnik potencialno najnižjih. Dodaten vpliv proizvodnje kosov neustrezne kakovosti pa je na povprečne fiksne stroške. S tem ko proizvedemo nekakovosten kos, smo neproduktivno porabili čas proizvodnje, saj je bil rezultat neustrezen izdelek. Dejanski obseg proizvodnje je zaradi prisotnosti nekakovostnih izdelkov manjši od potencialnega obsega, kar povečuje povprečne fiksne stroške.

6.2 Razvoj algoritma OCE

Z utemeljitvijo vpliva posameznih parametrov tehnične neučinkovitosti na povprečne stroške je zaključen vsebinski okvir, na katerem temelji OCE algoritem. Njegovo izpeljavo povzemamo v nadaljevanju, pri tem pa na tem mestu definiramo vsebino uporabljenih spremenljivk in simbolov:

- TP – output,
- A – stopnja razpoložljivosti,
- P – stopnja zmogljivosti,
- Q – stopnja kakovosti,
- TC – celotni stroški,
- VC – variabilni stroški,
- FC – fiksni stroški,
- AC – povprečni stroški,
- AFC – povprečni fiksni stroški,
- AVC – povprečni variabilni stroški,
- min – minimum,
- max – maksimum.

Izhodišče algoritma je definicijska enačba za stopnjo stroškovne neučinkovitosti (CIR), ki jo je mogoče razširiti v:

$$CIR = \frac{AC}{AC_{\min}} = \frac{\left(\frac{FC}{TP}\right) + \left(\frac{VC}{TP}\right)}{\left(\frac{TC_{\min}}{TP_{\max}}\right)} = \frac{\left(\frac{FC}{TP}\right) + \left(\frac{VC}{TP}\right)}{\left(\frac{FC}{TP_{\max}}\right) + AVC_{\min}}$$

Opomba: pogoj AVC_{\min} implicira 100-odstotno kakovost ($Q = 1$).

Če vpeljemo v zgornjo enačbo OEE, lahko preoblikujemo CIR v novo spremenljivko, poimenovano OCE (Overall Cost Efficiency). OCE algoritem meri t.i. stroškovno učinkovitost proizvodnje in transformira izmerjeno tehnično neučinkovitost v stroškovno neučinkovitost:

$$OCE = \frac{\left(\frac{FC}{TP_{\max} \cdot OEE} \right)}{\left(\frac{TC_{\min}}{TP_{\max}} \right)} + \left(\frac{AVC}{AFC_{\min} + AVC_{\min}} \right)$$

$$OCE = \frac{\left(\frac{AFC_{\min}}{OEE} \right)}{AC_{\min}} + \left(\frac{AVC}{AFC_{\min} + AVC_{\min}} \right)$$

$$= \frac{1}{OEE} \cdot \frac{AFC_{\min}}{AC_{\min}} + \frac{AVC}{AC_{\min}}$$

Izpeljana enačba predstavlja prvo definicijsko enačbo algoritma, ki je razvit za namene transformacije meritev tehnične neučinkovitosti na temelju OEE v meritve stroškovne neučinkovitosti s kazalnikom OCE. Pri tem prvi člen

$$\frac{1}{OEE}$$

ponazarja zahtevano inverzno zvezo med tehnično učinkovitostjo in stroškovno neučinkovitostjo.

V zgornji enačbi lahko AVC izrazimo tudi drugače:

$$AVC = \frac{VC}{TP} = \frac{AVC_{\min} \cdot TP_{\max} \cdot A \cdot P}{TP_{\max} \cdot A \cdot P \cdot Q} = \frac{AVC_{\min}}{Q}$$

in s substitucijo tega in zgornjega izraza dobimo:

$$OCE = \frac{1}{OEE} \left[\frac{AFC_{\min}}{AC_{\min}} + \frac{\left(\frac{AVC_{\min}}{Q} \right)}{AC_{\min}} \right] = \frac{1}{OEE} \left[\frac{AFC_{\min}}{AC_{\min}} \right] + \frac{1}{Q} \left[\frac{AVC_{\min}}{AC_{\min}} \right]$$

Izpeljana enačba je končni model za sprotno merjenje stroškovne učinkovitosti. Gre za deterministično enačbo, ki omogoča transformacijo izmerjene tehnične neučinkovitosti v stroškovno neučinkovitost v realnem času.

6.3 Analiza povezave med OEE in OCE

Zgoraj povzeta enačba OCE je osrednji algoritem, ki je namenjen transformaciji tehnične učinkovitosti v stroškovno učinkovitost. Izpeljava je temeljila na substituciji različnih formulacij matematičnih enačb, ki izražajo zakonitosti proizvodnih in stroškovnih funkcij. Če torej uresničimo analizo posameznega člena OEE na stroškovno učinkovitost, lahko izpeljemo vsebinski pomen posameznega člena v zgornji enačbi. Gre za štiri člene:

- $\frac{1}{OEE}$,
- $\left[\frac{AFC_{\min}}{AC_{\min}} \right]$,
- $\frac{1}{Q}$,
- $\left[\frac{AFC_{\min}}{AC_{\min}} \right]$.

6.3.1 Analiza povezave med OEE in OCE – prvi člen: $\frac{1}{OEE}$,

Prvi člen $\frac{1}{OEE}$, je inverzna vrednost parametra OEE ($0 \leq OEE \leq 1$). Če se OEE znižuje proti vrednosti 0, se bo inverzna vrednost tega parametra povečevala proti vrednosti ∞ . Če se bo vrednost parametra OEE povečevala proti vrednosti 1, se bo tudi njegova inverzna vrednost zniževala proti vrednosti 1.

Če želimo povezati vpliv OEE na OCE , se moramo na tem mestu spomniti, da smo stroškovno neučinkovitost merili v izhodišču s parametrom CIR . Vemo tudi, da se rast tehnične učinkovitosti odraža skozi rast OEE proti vrednosti 1 (dejanski obseg proizvodnje se toraj povečuje proti potencialnemu obsegu proizvodnje) in vpliva na zmanjševanje koeficienta

$$CIR = \frac{AC}{AC_{\min}}$$

proti vrednosti 1. Ker je OCE algoritem, izpeljan iz definicijske enačbe za CIR , to nujno tudi pomeni, da bo rast OEE proti 1 povzročala zniževanje OCE proti 1. In ko bo $OEE = 1$, bo $OCE = 1$.

Dokaz za to lahko izpeljemo tudi analitično. OEE bo dosegel vrednost 1 le, če bodo dosegli to vrednost vsi njegovi parcialni parametri – razpoložljivost, zmogljivost in kakovost. Veljati mora torej:

$$OEE \Rightarrow 1 \Leftrightarrow A \Rightarrow 1 \wedge P \Rightarrow 1 \wedge Q \Rightarrow 1,$$

kjer velja:

- OEE – tehnična učinkovitost,
- A – koeficient razpoložljivosti,
- P – koeficient zmogljivosti,
- Q – koeficient kakovosti.

Zgornji pogoj približevanja OEE vrednosti ena pa implicira tudi, da se v tem primeru tudi inverzna vrednost koeficienta kakovosti približuje vrednosti 1:

$$OEE \Rightarrow 1 \wedge Q \Rightarrow 1 \Leftrightarrow \frac{1}{Q} \Rightarrow 1,$$

pri čemer sta:

OEE – tehnična učinkovitost,
 Q – koeficient kakovosti.

Če torej združimo

$$OEE \Rightarrow 1 \Leftrightarrow A \Rightarrow 1 \wedge P \Rightarrow 1 \wedge Q \Rightarrow 1$$

in

$$OEE \Rightarrow 1 \wedge Q \Rightarrow 1 \Leftrightarrow \frac{1}{Q} \Rightarrow 1,$$

lahko sprejmemo sklep, da velja:

$$OCE = \frac{1}{OEE} \left[\frac{AFC_{\min}}{AC_{\min}} \right] + \frac{1}{Q} \left[\frac{AVC_{\min}}{AC_{\min}} \right], \text{ kjer } OEE \Rightarrow 1 \text{ in } \frac{1}{Q} \Rightarrow 1,$$

zato

$$OCE = \frac{1}{1} \left[\frac{AFC_{\min}}{AC_{\min}} \right] + \frac{1}{1} \left[\frac{AVC_{\min}}{AC_{\min}} \right] = \frac{AFC_{\min} + AVC_{\min}}{AC_{\min}} = \frac{AC_{\min}}{AC_{\min}} = 1.$$

pri čemer so:

OCE – stroškovna učinkovitost,
 AFC – povprečni fiksni stroški,
 AC – povprečni stroški,
 AVC – povprečni variabilni stroški,
 min – minimum.

Sklep je torej enoličen: če se povečuje tehnična učinkovitost, se povečuje tudi stroškovna učinkovitost, da pa je to doseženo, se morajo posamezni parametri tehnične učinkovitosti vzajemno približevati vrednosti 1. Če pa se vsaj en parameter tehnične učinkovitosti oddaljuje od vrednosti 1 proti vrednosti 0, se bo vrednost parametra tehnične učinkovitosti približevala vrednosti nič, kar povzroča rast kazalnika OCE proti ∞ .

V nadaljevanju analiziramo posebej vpliv zmanjševanja razpoložljivosti (A), zmogljivosti (P) in kakovosti (Q) na stroškovno učinkovitost.

Najprej analiziramo vpliv razpoložljivosti (A) na stroškovno učinkovitost v okoliščinah, ko se koeficient razpoložljivosti približuje vrednosti 1 ob pogojih, da sta koeficienta zmogljivosti in kakovosti enaka 1. V tem primeru velja:

$$OCE = \frac{1}{OEE} \left[\frac{AFC_{\min}}{AC_{\min}} \right] + \frac{1}{Q} \left[\frac{AVC_{\min}}{AC_{\min}} \right],$$

kjer $OEE \Rightarrow 0$, $A \Rightarrow 0$, $P=1$ in $Q=1$,

zato

$$\frac{1}{OEE} > 1$$

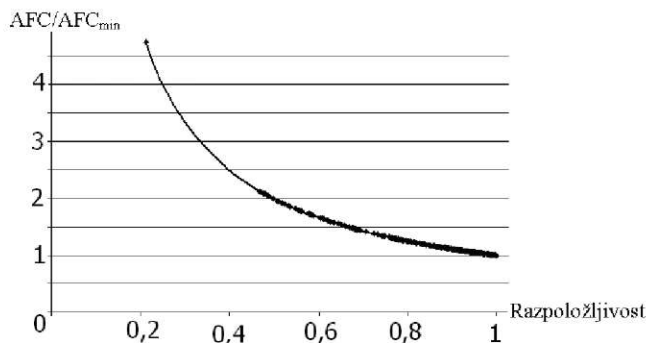
in posledično

$$OCE > 1.$$

OCE – stroškovna učinkovitost,
OEE – tehnična učinkovitost,
AFC – povprečni fiksni stroški,
AC – povprečni stroški,
AVC – povprečni variabilni stroški,
A – stopnja razpoložljivosti,
P – stopnja zmogljivosti,
Q – stopnja kakovosti,
min – minimum.

Rast tehnične neučinkovitosti zaradi zmanjševanja razpoložljivosti proizvodne linije povečuje rast stroškovne neučinkovitosti, kar se udejanja prek povečevanja dejanskih povprečnih stroškov nad potencialno najnižje povprečne stroške. Pojasnili smo že, da lahko povprečne stroške izrazimo kot vsoto povprečnih fiksnih stroškov in povprečnih variabilnih stroškov. Pojasnili smo tudi, da variiranje razpoložljivosti vpliva zgolj na variiranje povprečnih fiksnih stroškov. Empirično analizo povezave med vrednostjo parametra razpoložljivosti in razmerjem med dejanskimi povprečnimi fiksnimi stroški glede na potencialno najnižje povprečne fiksne stroške je uresničil med drugim Ferko (2009).

Slika 6.1: AFC/AFC_{min} in razpoložljivost



Vir: prirrejeno po Ferko 2009, 101.

Vsebina za ponazorjeno zvezo v sliki 6.1 je eksaktna in deterministična (Ferko 2009, 100):
 »... – če se povečuje razpoložljivost proizvodne linije, se pri nespremenjeni zmogljivosti in kakovosti dejanski obseg proizvodnje približuje potencialnemu obsegu proizvodnje. Posledično se vrednost števca približuje (znižuje proti) vrednosti imenovalca.«

Analitično to zakonitost opišemo kot :

$$AFC = \frac{FC}{TP}, \text{ in } AFC_{\min} = \frac{FC}{TP_{\max}},$$

če

$$TP \Rightarrow TP_{\max} \Leftrightarrow AFC \Rightarrow AFC_{\min}.$$

pri čemer so:

AFC – povprečni fiksni stroški,

TP – output,

min – minimum.

Nadaljujemo lahko z analizo vpliva zmogljivosti (*P*) na stroškovno učinkovitost v okoliščinah, ko se vrednost parametra zmogljivosti približuje vrednosti 0 ob pogoju, da zavzameta parametra razpoložljivost in kakovost vrednost 1. V tem primeru torej velja:

$$OCE = \frac{1}{OEE} \left[\frac{AFC_{\min}}{AC_{\min}} \right] + \frac{1}{Q} \left[\frac{AVC_{\min}}{AC_{\min}} \right],$$

kjer

$$OEE \Rightarrow 0, P \Rightarrow 0, A=1 \text{ in } Q=1,$$

zato

$$\frac{1}{OEE} > 1$$

in posledično

$$OCE > 1.$$

Pri tem so:

OCE – tehnična učinkovitost,

OEE – stroškovna učinkovitost,

AFC – povprečni fiksni stroški,

AC – povprečni stroški,

AVC – povprečni variabilni stroški,

A – stopnja razpoložljivosti,

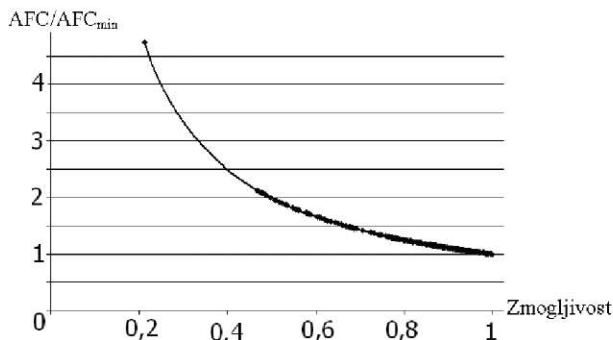
P – stopnja zmogljivosti,

Q – stopnja kakovosti,

min – minimum.

Vpliv zmogljivosti proizvodne linije na stroškovno učinkovitost je enak vplivu razpoložljivosti proizvodne linije na stroškovno učinkovitost. Udejanja se skozi povečevanje dejanskih povprečnih fiksnih stroškov nad potencialno najnižje povprečne fiksne stroške.

Slika 6.2: AFC/AFC_{min} in zmogljivost



Vir: prirejeno po Ferko 2009, 102.

Tudi v tem primeru je zveza sistematična in enolična. Povečevanje zmogljivosti proizvodne linije vpliva pri nespremenjeni razpoložljivosti in kakovosti na približevanje dejanskega obsega proizvodnje potencialnemu obsegu proizvodnje. Posledično se vrednost števca približuje (znižuje proti) vrednosti imenovalca (prirejeno po Ferko 2009). V analitični obliki pa ima ta sklep naslednjo formulacijo (Novak in Žižmond 2011):

Če velja

$$P \Rightarrow 1 \Leftrightarrow TP \Rightarrow TP_{\max},$$

potem velja

$$AFC \Rightarrow AFC_{\min}.$$

Pri tem so:

P – stopnja zmogljivosti,

TP – output,

AFC – povprečni fiksni stroški,

max – maksimum,

min – minimum.

Zadnji znotraj te analize pa je parcialni vpliv parametra kakovosti (*Q*) na stroškovno učinkovitost. Analitično lahko obravnavamo vpliv variranja kakovosti na stroškovno učinkovitost tako, da hkrati upoštevamo razmerje med količnikoma

$$\frac{AVC}{AVC_{\min}} \text{ in } \frac{AFC}{AFC_{\min}},$$

v okolju, ko se parameter kakovosti približuje vrednosti 1, in pri pogoju, da je vrednost parametrov razpoložljivost in zmogljivost enaka 1:

$$OCE = \frac{1}{OEE} \left[\frac{AFC_{\min}}{AC_{\min}} \right] + \frac{1}{Q} \left[\frac{AVC_{\min}}{AC_{\min}} \right],$$

kjer

$$OEE \Rightarrow 0, Q \Rightarrow 0, A=1 \text{ in } P=1,$$

zaradi tega velja

$$\frac{1}{OEE} > 1$$

in

$$\frac{1}{Q} > 1,$$

torej

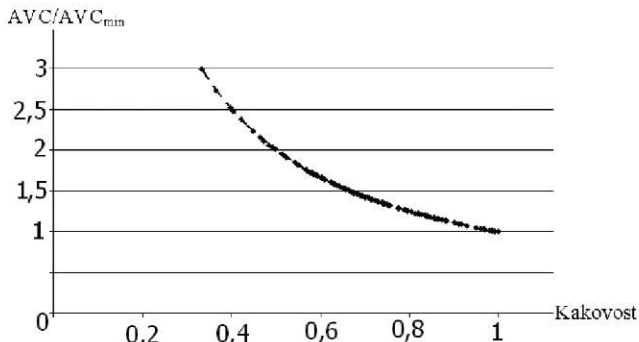
$$OCE > 1.$$

Pri tem so:

- OCE – tehnična učinkovitost,*
- AFC – povprečni fiksni stroški,*
- AC – povprečni stroški,*
- AVC – povprečni variabilni stroški,*
- A – stopnja razpoložljivost,*
- P – stopnja zmogljivosti,*
- Q – stopnja kakovosti,*
- min – minimum.*

Opozorili smo že, da se vpliv kakovosti udejanja tako skozi vpliv na povprečne fiksne kot na povprečne variabilne stroške. Začnimo najprej s povezavo med parametrom kakovosti ter razmerjem med dejanskimi povprečnimi variabilnimi stroški in potencialno najnižjimi povprečnimi variabilnimi stroški. Eno izmed empiričnih analiz razmerja med dejanskimi povprečnimi variabilnimi stroški in najnižjimi dosegljivimi povprečnimi variabilnimi stroški v povezavi z variiranjem parametra kakovosti je uresničil Ferko (2009).

Slika 6.3: AVC/AVC_{min} in kakovost



Vir: prirejeno po Ferko 2009, 99.

Iz ponazorjene empirične zveze izhaja deterministična in enolična povezava med razmerjem

$$\frac{AVC}{AVC \min}$$

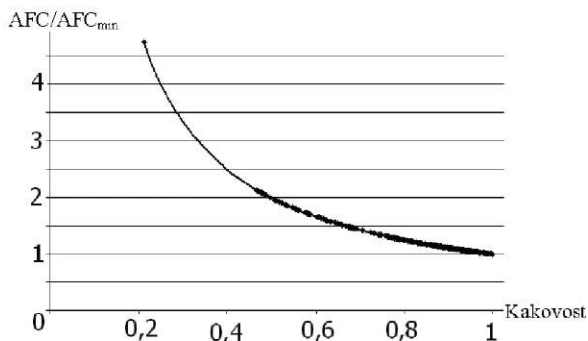
in vrednostjo parametra kakovosti. Ferko (2009, 98): »Zaradi tehničnih dejstev in zaradi deterministične zveze med parametrom kakovosti ter razmerjem med povprečnimi variabilnimi stroški in dosegljivimi najnižjimi povprečnimi variabilnimi stroški obstaja enolično določena matematična funkcija, ki povezuje ti dve spremenljivki na način, kot je to pokazano v sliki 6.3. Ta matematična funkcija je naslednja:

$$\frac{AVC}{AVC \min} = \frac{1}{K}$$

Ker vemo, da je najvišja vrednost spremenljivke K lahko 1, pomeni, da se s povečevanjem K proti 1 zmanjšuje razlika med dejanskimi povprečnimi variabilnimi stroški in dosegljivimi najnižjimi povprečnimi variabilnimi stroški. V primeru 100 % kakovosti, ko bi torej bila vrednost K 1, bi ta razlika izginila. Nasprotno pa se s približevanjem K proti vrednosti 0, ko torej trošimo surovine in materiale, vendar ne proizvedemo uporabnega proizvoda, odstopanje dejanskih povprečnih variabilnih stroškov glede na dosegljive najnižje povprečne variabilne stroške približuje vrednosti neskončno.«

Ferko (2009) je prav tako analiziral zvezo med kakovostjo in razmerjem med dejanskimi povprečnimi fiksnimi stroški glede na potencialno najnižje povprečne fiksne stroške.

Slika 6.4: AFC/AFC_{min} in kakovost



Vir: prirejeno po Ferko 2009, 99.

Tudi v tem primeru se izkaže, da je zveza enolična deterministična in enolična. Ferko (2009, 99): »Znano teoretično dejstvo je, da so povprečni fiksni stroški najnižji v točki največjega dosegljivega obsega proizvodnje. Z zmanjševanjem kakovosti, to je s približevanjem relativnega koeficienta vrednosti 0, se stopnjuje odstopanje dejanskega obsega proizvodne od potencialnega, zaradi česar se povečuje presežek dejanskih povprečnih fiksnih stroškov nad potencialno najnižjimi povprečnimi fiksnimi stroški. Za opazovani primer je to razmerje ponazorjeno v sliki 6.4, pri čemer tehnična povezava ustreza matematični funkciji

$$\frac{AFC}{AFC_{\min}} = \frac{1}{K} \ll$$

Analično moramo torej združiti vpliv variiranja parametra kakovosti na povprečne fiksne stroške in vpliv variiranja parametra kakovosti na povprečne fiksne stroške. Imamo torej dva dela (Novak in Žižmond 2011):

Če velja

$$Q \Rightarrow 1 \Leftrightarrow TP \Rightarrow TP_{\max},$$

potem velja

$$AFC \Rightarrow AFC_{\min}$$

in če velja

$$AFC = \frac{VC}{TP}, \quad AFC_{\min} = \frac{VC_{\min}}{TP}$$

in

$$Q = \frac{TP}{TP_{\max}},$$

pri pogoju

$$Q \Rightarrow 1 \Leftrightarrow TP \Rightarrow TP_{\max},$$

potem velja

$$VC \Rightarrow VC_{\min} \Leftrightarrow AFC \Rightarrow AFC_{\min}.$$

Pri tem so:

AFC – povprečni variabilni stroški,

VC – variabilni stroški,

TP – output,

Q – stopnja kakovosti,

max – maksimum,

min – minimum.

Do te točke smo uresničili parcialno analizo vzročno-posledične zveze med posameznimi konstitutivnimi členi kazalnika tehnične učinkovitosti OEE in stroškovno neučinkovitostjo, merjeno s kazalnikom CIR. Kot smo izpostavili zgoraj, pa je to zgolj prva skupina vplivov, ki jih proučujemo.

6.3.2 Analiza povezave med OEE in OCE – drugi člen: $\left[\frac{AFC_{\min}}{AC_{\min}} \right]$,

Drugi vpliv $\left[\frac{AFC_{\min}}{AC_{\min}} \right]$, pa je kontroliran prek deleža fiksnih stroškov v celotnih stroških.

Zaloga vrednosti koeficienta, ki meri delež fiksnih stroškov v celotnih stroških, je v intervalu [0, 1]. Vrednost 0 zavzame v primeru, če so fiksni stroški enaki 0 in se celotni stroški skladajo z variabilnimi stroški. Vrednost 1 zavzame v primeru, ko so celotni stroški hkrati fiksni

stroški. To sta skrajni maji. Povečevanje tega deleža pa pomeni, da se povečuje vpliv tehnične neučinkovitosti na stroškovno neučinkovitost.

6.3.3 Analiza povezave med OEE in OCE – tretji člen: $\frac{1}{Q}$,

Tretji vpliv $\frac{1}{Q}$, je določen z inverzno vrednostjo stopnje kakovosti (Q). Zaloga vrednosti inverzne vrednosti tega parametra je interval $[1, \infty)$. Vrednost 1 doseže v primeru popolne kakovosti.

6.3.4 Analiza povezave med OEE in OCE – četrti člen: $\left[\frac{AVC_{\min}}{AC_{\min}} \right]$.

Četrti vpliv $\left[\frac{AVC_{\min}}{AC_{\min}} \right]$, pa je kontroliran prek deleža variabilnih stroškov v celotnih stroških.

Zaloga vrednosti tega koeficienta je interval $[0, 1]$. S povečevanjem vrednosti koeficienta proti vrednosti 1 se povečuje vpliv kakovosti kot dejavnika tehnične učinkovitosti na stroškovno učinkovitost.

S tem je deterministična zveza med stroškovno in tehnično učinkovitostjo utemeljena in popolna. Ker obstajajo štiri skupine dejavnikov, ki v medsebojno povezanih vplivih določajo stroškovno učinkovitost pri dani tehnični učinkovitosti, se soočimo z dejstvom, da je ista raven tehnične učinkovitosti povezana z različno ravniyo stroškovne učinkovitosti. Na ta način je podana rešitev, ki jo je sprožila regresijska analiza te povezave. OCE algoritem nam torej omogoča natančno in sprotno metjenje stroškovne učinkovitosti proizvodnje v realnem času. Hkrati pa je ta algoritem tudi enostaven za empirično evalvacijo, kar je predmet naslednjega poglavja.

7 EMPIRIČNA EVALVACIJA OCE MODELA – ŠTUDIJA PRIMERA

7.1 Opis proizvodne linije in operacionalizacija OCE algoritma

Empirična evalvacija modela OCE je bila uresničena na izbrani proizvodni liniji v podjetju Iskra Avtoelektrika. Meritve tehnične in stroškovne učinkovitosti se navezujejo na časovno obdobje od 1.1.2010 do 30.4.2010. Gre za 88 opazovanj. Rezultati meritev so razčlenjeni v naslednje sklope:

- prvi sklop so meritve razpoložljivosti proizvodne linije,
- drugi sklop so meritve zmogljivosti proizvodne linije,
- tretji sklop so meritve kakovosti proizvodov na izhodu proizvodne linije,
- četrti sklop so meritve tehnične učinkovitosti (OEE) proizvodne linije kot celote,
- peti sklop so meritve stroškovne učinkovitosti (OCE).

Izhodišče pri merjenju tehnične učinkovitosti je razpoložljivost proizvodne linije. V sklopu našega opazovanja je bil delovni dan razčlenjen na tri izmene. Znotraj vsake izmene je potencialni razpoložljivi delovni čas 28.799 sekund. Odstopanje dejanskega razpoložljivega časa od potencialnega pa je manjše zaradi dveh skupin vzrokov:

- zaradi tržne omejitve (ni naročila),
- zaradi planiranih in neplaniranih zastojev.

Ključno pri pričetju empirični evalvaciji je merjenje posameznih parametrov OEE. Za ta namen smo morali uresničiti t. i. informatizacijo (to je operacionalizacijo) OCE algoritma. Ta obsega naslednje zaporedje:

- [01] RAZPOLOŽLJIVI ČAS (480 sekund)
- [02] TRŽNA OMEJITEV (vsota časov, ko delovni nalog ni prijavljen)
- [03] EFEKTIVNI RAZPOLOŽLJIVI ČAS ($03 - 02 - 01$)
- [04] PLANIRANI ZASTOJI (evidentirano sproti)
- [05] NEPLANIRANI ZASTOJI (evidentirano sproti)
- [06] PRODUKTIVNI ČAS ($06 = 03 - 04 - 05$)
- [07] ČAS CIKLA PO NORMATIVU (določeno sproti)
- [08] ŠTEVILO DOBRIH KOSOV (evidentirano sproti)
- [09] ŠTEVILO SLABIH KOSOV (evidentirano sproti)
- [10] DEJANSKI ČAS CIKLA ($06 / (08 + 09)$)
- [11] POTENCIALNI OBSEG PROIZVODNJE ($03 / 07$)
- [12] RAZPOLOŽLJIVOST ($06 / 03$)
- [13] ZMOGLJIVOST ($10 / 07$)
- [14] KAKOVOST ($08 / (08 + 09)$)
- [15] OEE ($12 \times 13 \times 14$)
- [16] NORMATIVNI STROŠEK NA ENOTO (določeno sproti po kalkulaciji lastne cene)
- [17] DELEŽ FIKSNIH STROŠKOV (določeno sproti po kalkulaciji lastne cene)
- [18] DELEŽ VARIABILNIH STROŠKOV (določeno sproti po kalkulaciji lastne cene)
- [19] KONTROLA ($17 + 18 - 1$)
- [20] OCE ($((1 / 15) \times 17 + (1 / 14) \times 18)$)

Informatizacija OCE algoritma torej zahteva 20 korakov. V nadaljevanju prikazujemo rezultate uresničenega merjenja proizvodnje v realnem času.

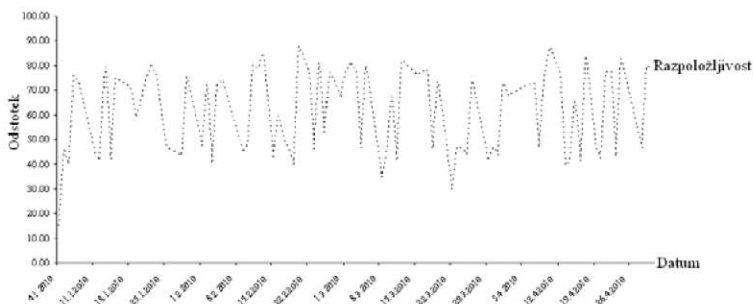
7.2 Rezultati merjenja

Razpoložljivost

Prvi izmed relevantnih rezultatov je merjenje razpoložljivosti izbrane proizvodne linije. Uresničene meritve razpoložljivosti v obravnavanem obdobju kažejo:

- Najnižja stopnja razpoložljivosti je znašala 15,03 %.
- Najvišja stopnja razpoložljivosti je znašala 87,73 %.
- Povprečna stopnja razpoložljivosti je znašala 60,86 %. V povprečju je bil torej v opazovanem obdobju zaradi zmanjševanja razpoložljivosti proizvodne linije dejanski obseg proizvodnje za 39,14 % manjši od potencialnega obsega proizvodnje.

Slika 7.1 Meritve razpoložljivosti

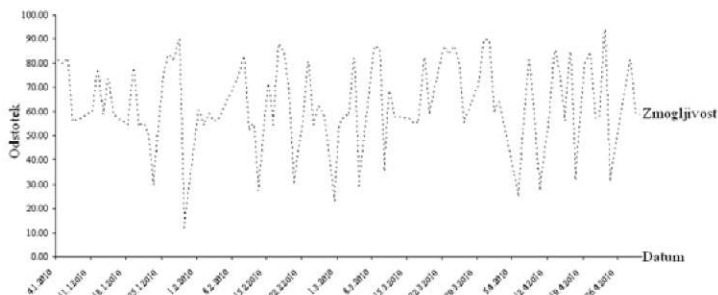


Zmogljivost

Druga iteracija v merjenju tehnične učinkovitosti je merjenje zmogljivosti proizvodne linije. Z njo merimo hitrost proizvodne linije, pri čemer parameter zmogljivosti meri, za koliko odstotkov je bila dejanska hitrost proizvodne linije manjša od potencialne hitrosti proizvodne linije. Uresničene meritve zmogljivosti v obravnavanem obdobju kažejo:

- Najnižja stopnja zmogljivosti je znašala 12,00 %.
- Najvišja stopnja zmogljivosti je znašala 93,87 %.
- Povprečna stopnja zmogljivosti je znašala 63,47 %. Zaradi zniževanja hitrosti proizvodne linije je dosegal v povprečju dejanski obseg proizvodnje zgolj 63,47 % potencialnega obsega proizvodnje.

Slika 7.2 Meritve zmogljivosti

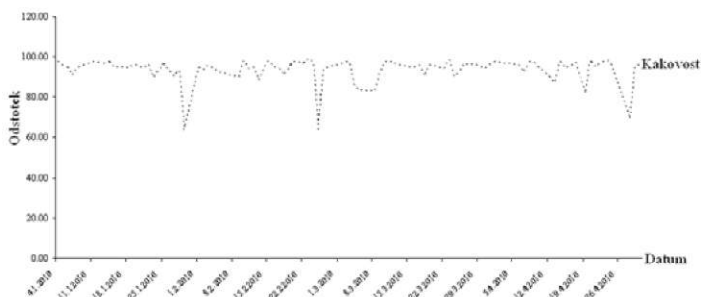


Kakovost

Tretji parameter v algoritmu merjenja tehnične učinkovitosti je parameter kakovosti. S tem kazalnikom merimo delež proizvodov z ustrežno kakovostjo v vseh proizvedenih proizvodih. Uresničene meritve kakovosti v obravnavanem obdobju kažejo:

- Najnižja stopnja kakovosti je znašala 63,40 %.
- Najvišja stopnja kakovosti je znašala 98,73 %.
- Povprečna stopnja kakovosti je znašala 93,35 %. To pomeni, da je bil v povprečju zaradi variiranje kakovosti proizvodov dejanski obseg proizvodnje na ravni 93,35 % potencialnega obsega proizvodnje.

Slika 7.3 Meritve kakovosti



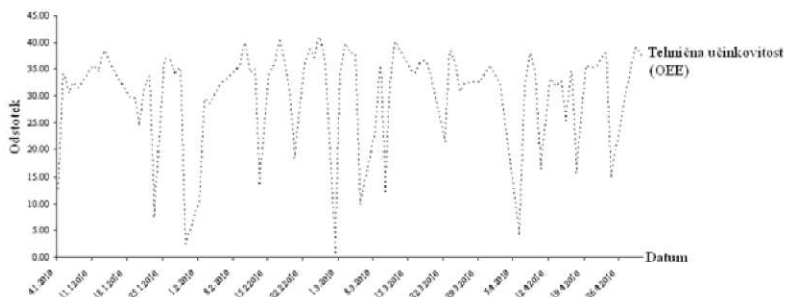
OEE

Vzajemna povezava (multiplikacija) parametrov razpoložljivosti, zmogljivosti in kakovosti odraža vrednost dosežene ravni tehnične učinkovitosti. Ta meritev je zaokrožena v kazalcu OEE. Uresničene meritve tehnične učinkovitosti v obravnavanem obdobju kažejo:

- Najnižja stopnja tehnične učinkovitosti je znašala 0,40 %.
- Najvišja stopnja tehnične učinkovitosti je znašala 41,00 %.
- Povprečna stopnja tehnične učinkovitosti je znašala 30,71 %. Zaradi raznih dejavnikov neučinkovitosti, ki vplivajo na razpoložljivost proizvodne linije, na zmogljivost

proizvodne linije in na kakovost proizvodov, je dejanski obseg proizvodnje dosegal le dobrih 30 % potencialnega obsega proizvodnje.

Slika 7.4 Meritve OEE



Pogosto je razmejevanje meritev OEE v empiričnih analizah v štiri intervale:

- Prvi interval je interval velikega odstopanja $0 \leq OEE \leq 0,25$.
- Drugi interval je interval srednje velikega odstopanja $0,25 < OEE \leq 0,50$.
- Tretji interval je interval srednje malega odstopanja $0,50 < OEE \leq 0,75$.
- Četrti interval je interval malega odstopanja $0,75 < OEE < 1$.

V našem primeru se povprečna vrednost parametra OEE umešča v interval srednje velikega odstopanja. Vprašanje pri tem pa je, kako se je nihanje tehnične učinkovitosti prelivalo v nihanje stroškovne učinkovitosti.

OCE

Za namen uresničitve empiričnih ocen, ki merijo, kako se variiranje tehnične učinkovitosti preliva v nihanje stroškovne učinkovitosti, smo uporabili predstavljeni in opisani OCE algoritem:

$$OCE = \frac{1}{OEE} \left[\frac{AFC_{\min}}{AC_{\min}} \right] + \frac{1}{Q} \left[\frac{AVC_{\min}}{AC_{\min}} \right].$$

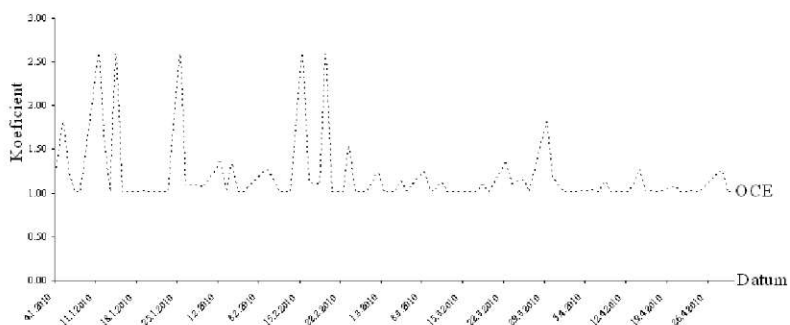
Da lahko uresničimo empirično evalvacijo tega algoritma, potrebujemo ob že znanih meritvah OEE in Q še deleže povprečnih fiksnih stroškov in povprečnih variabilnih stroškov v povprečnih stroških pri izpolnjevanju normativov. Ker se empirična analiza nanaša na konkretno podjetje Iskra Avtoelektrika, podatki o stroških pa so poslovna skrivnost, bomo za potrebe te analize ti vrednosti privzeli. Pri tem bomo sledili izkustvenim ugotovitvam, da sta najpogostejša deleža naslednja (Novak 2007):

$$\frac{AFC_{\min}}{AC_{\min}} = 0,30,$$

$$\frac{AVC_{\min}}{AC_{\min}} = 0,70.$$

Na temelju teh dveh predpostavk in ob znanih vrednostih parametra OEE in njegovih konstitutivnih členov smo izdelali empirične preračune (slika 7.5).

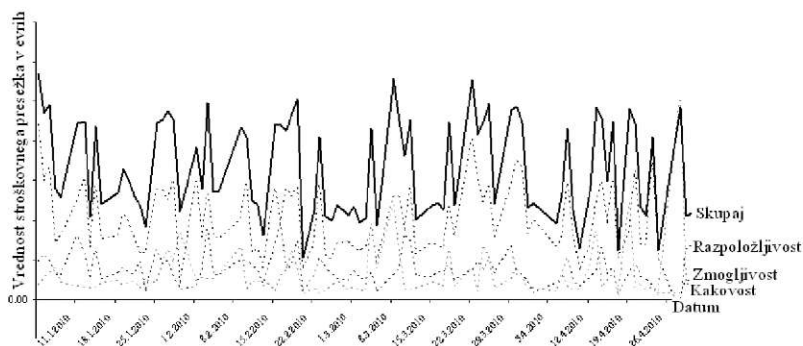
Slika 7.5 Meritve OCE



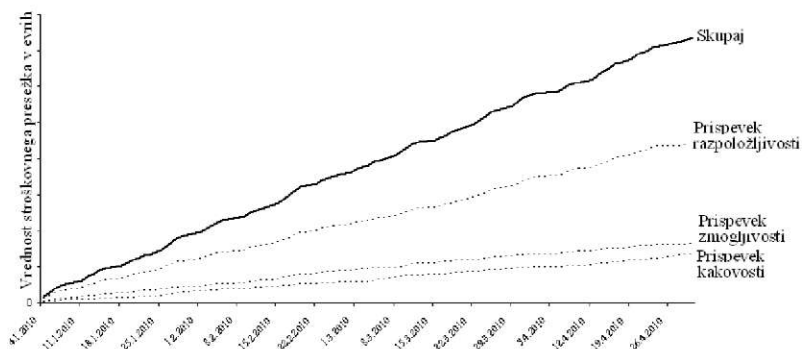
Pri ponazoritvi rezultatov v zgornji sliki smo morali zaradi tehničnih omejitev skalo na ordinatni osi iz odstotkov spremeniti v vrednosti relativnega koeficienta. OCE vrednost torej ni izražena v odstotkih, ampak kot relativni koeficient, ki meri, za koliko odstotkov so dejanski povprečni stroški višji od potencialno najnižjih povprečnih stroškov. Kot vidimo, so dosežene v posameznih primerih vrednosti, ki so več kot 2-kratnik. To pomeni, da so dejanski povprečni stroški za več kot 100 % večji od potencialno najnižjih. Če odštejemo vse odklone, ki merijo odstopanje dejanskih povprečnih stroškov nad potencialno najnižjimi povprečnimi stroški, ki presegajo vrednost 100 %, dobimo povprečno vrednost 20 %. To pomeni, da je enota proizvoda v opazovanem obdobju v povprečju za 20 % dražja, kot bi lahko bila v primeru popolne tehnične učinkovitosti.

Kazalnik OCE, ki meri stroškovno učinkovitost, je izražen relativno, kar je morda za namene managementa produktivnosti premalo oprijemljivo. Bolje je, če opredelimo konkretne vrednosti. Ker imamo meritve OEE na dnevni ravni in ker poznamo kalkulacijo lastne cene, lahko izračunamo t. i. **stroškovni presežek** (slika 7.6 in slika 7.7).

Slika 7.6 Dekompozicija stroškovnega presežka



Slika 7.7 Rast stroškovnega presežka



Stroškovni presežek je ekonomska kategorija, ki meri, za koliko denarnih enot so dejanski stroški večji od potencialno najnižjih stroškov, ki bi bili dosegljivi v pogojih popolne tehnične učinkovitosti. V konkretnem primeru smo zaradi varovanja poslovne skrivnosti sicer zakrili konkretne vrednosti. Pomembna je vsebinska moč izračunov. OCE metodologija nam namreč omogoča denarno ovrednotenje dejavnikov zmogljivosti, razpoložljivosti in kakovosti. S tem pa lahko management produktivnosti sproti uresničuje presojo o tem, kateri ukrepi izboljševanja tehnične učinkovitosti bodo najbolj in za koliko povečali dobiček poslovanja.

LITERATURA

Artič, M. 2010. *Empirična analiza tehnične in strokovne učinkovitosti avtomatizirane proizvodnje kondenzatorjev : diplomska naloga*. Koper: Fakulteta za management Koper.

Badiger, A. S. in R. Gandhinathan. 2008. *A proposal: evaluation of OEE and impact of sixbig losses on equipment earning capacity*. *International Journal of Process Management and Benchmarking* 2 (3): 234–248.

Beeley, P.R. 2001. *Foundry Technology*. Oxford: Butterworth_Heinemann.

Bergin, J. 2005. *Microeconomic Theory*. Oxford: University Press.

Braglia, M., M. Frosolini in F. Zammori. 2009. Overall equipment effectiveness of a manufacturing line (OEEML): An integrated approach to assess systems performance. *Journal of Manufacturing Technology Management* 20 (1): 8–29.

Brown, S., R. Lamming, J. Bessant in P. Jones. 2000. *Strategic operations management*. Oxford [etc.]: Butterworth Heinemann.

Coelli, T. 2006. *An introduction to efficiency and productivity analysis*. New York: Springer.

Čuk, B. 2009. *Verifikacija modela tehnične in stroškovne učinkovitosti za serijsko proizvodnjo*. Magistrska naloga, Univerza na Primorskem, Fakulteta za management Koper.

Dal, B., P. Tugwell in R. Greatbanks. 2000. Overall equipment effectiveness as a measure of operational improvement: a practical analysis. *International journal of operations and productivity management* 20 (12): 1488–1502.

De Ron, A. J. in J. E. Rooda. 2006. OEE and equipment effectiveness: an evaluation. *International Journal of Production Research* 44 (23): 4987–5003.

Dilworth, J. B. 2000. *Operations management: providing value in goods and services*. Fort Worth [etc.]: Dryden: Harcourt College.

Ferko R. 2009. *Management produktivnosti in strateško-operativno odločanje v organizaciji*. Doktorska disertacija, Fakulteta za management Koper.

García-Cebrián, L.I. and López-Viñecla, L. 2002. “The use of scorecard in the management of production operations”, *Industrial Management and Data Systems* 102 (1): 39–46.

Greasley, A. 2006. *Operations management*. Chichester: Wiley.

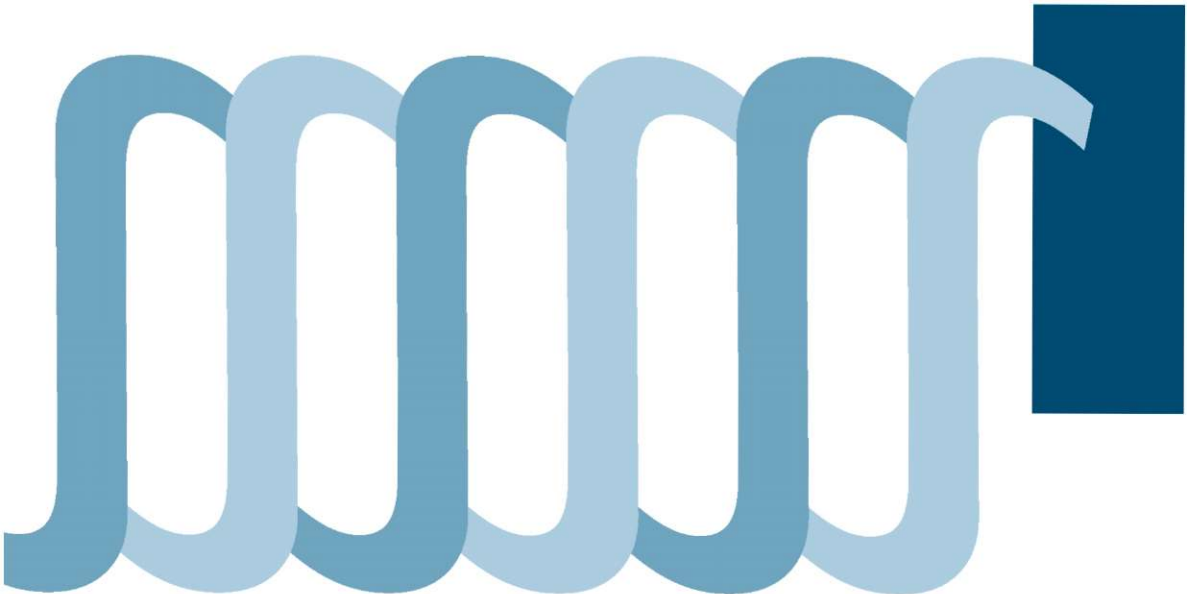
Heizer, J. in B. Render. 2004. *Operations management*. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall.

Huang, S. H., J. P. Dismukes, J. Shi, Q. Su, M. A. Razzak, R. Bodhale in D. E. Robinson. 2003. Manufacturing productivity improvement using effectiveness metrics and simulation analysis. *International Journal of Production Research* 41 (3): 513–527.

- Jehle, G. A. in P. J. Reny. 2000. *Advanced microeconomic theory*. Boston: Addison Wesley.
- Jeong, K in D. T. Phillips. 2001. Operational efficiency and effectiveness measurement. *International Journal of Operational and Productivity Management* 21 (1): 1404–1416.
- Jonsson, P. in M. Lesshammar. 1999. Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems – the role of OEE. *International Journal of Operations and Production Management* 19 (1): 55–78.
- Kumar Sharma, R., D. Kumar in P. Kumar. 2006. Manufacturing excellence through TPM implementation: a practical analysis. *Industrial Management & Data Systems* 106 (2): 256–280.
- Lazim, H. M., T. Ramayah in A. Norzieirani. 2008. Total productive and performance: A Malaysian SME experience. *International Review of Business Research Papers* 4 (4): 237–250.
- Leem, C.S. and Kim, I. 2004. “An integrated evaluation system based on the continuous improvement model of IS performance”, *Industrial management and data systems*, 104 (2): 115–28.
- McKenzie, Richard B. and Dwight R. Lee. 2006. *Microeconomics for MBAs. The Economic Way of Thinking for Managers*. Cambridge University Press.
- Mishra, R. P., G. Anand in R. Kodali. 2008. A SWOT analysis of total productive maintenance frameworks. *International Journal Management Practice* 3 (1): 51–81.
- Nakajima, S. 1988. *Introduction to TPM: total productive maintenance*. Cambridge: Productivity Press.
- Novak, M. 2007. Učinkovito upravljanje produktivnosti kot sinergija med teoretičnim znanjem in potrebami v praksi. V: *Cimosov forum : 3. zbornik referatov, 16. november 2007*:444–450 Koper: Cimos.
- Novak, M. 2009. *Thesis on convergence theory : frontiers of real convergence of a transition economy*. Saarbrücken: VDM Verlag Dr. Müller.
- Novak, M. in Žižmond, E. 2011. Production optimisation : measuring technical and cost efficiency. V: Savolainen, M. (ur.). *Proceedings of TIIM2011 conference : 28-30 June, 2011 Oulu Finland*. Oulu: TIIM, 2011, 17 str.
- Petek, B. 2010. *Verifikacija modela tehnične in stroškovne učinkovitosti za management produktivnosti : magistrska naloga*. Koper: Fakulteta za management Koper.
- Pomorski, T. R. 2004. Total productive maintenance (TPM) concepts and literature review. Brooks Automation, April 30. [Http://www.brooks.com/documents.cfm?documentID=2110&filetype=pdf](http://www.brooks.com/documents.cfm?documentID=2110&filetype=pdf) (avgust 2004).
- Ravi, B. 2005. *Metal Casting: Computer - Aided Design and Analysis*. New Delhi. Prentice-Hall of Indija.

- Reyes, J. A. G. 2005. *Recognizing the potential use of simulation to determine the most effective strategy for calculating and defining the optimum value of OEE*. The University of Manchester, Colloquium of Mexican Students in the United Kingdom, 22–23 July.
- Ritzman, L. P. in L. J. Krajewski. 2003. *Foundations of operations management*. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Sen, A. 2005. *Microeconomics. Theory and application*. Oxford: Oxford University Press.
- Shahin, A. in A. M. Mahbod. 2007. Prioritization of key performance indicators: An integration of analytical hierarchy process and goal setting. *International Journal of Productivity & Performance Management* 56 (3): 226–240.
- Sharma, K.R., Kumar D. and Kumar P. 2006. “Manufacturing excellence through TPM implementation: a practical analysis”, *Industrial Management and Data Systems*, 106 (2): 256–280.
- Smith, M. 2005. *Performance measurement & management: A strategic approach to management accounting*. London: Sage.
- Sumanth, J. D. 1998. *Total productivity management*. Boca Ration: Snt. Louis.
- Tzu-Chuan, C., Li-Ling, H., Ying-Jung, Y., Chin-Tsang, H. 2005. “Towards a framework of the performance evaluation of SMEs’ industry portals”, *Industrial Management and Data Systems*, 105 (4): 527–544.
- Wang, C., Luxhoj, J.T. and Johansen J. 2004. “Applying a knowledge management modelling tool for manufacturing vision (MV) development”, *Industrial Management and Data Systems*, 104 (9): 735–743.
- Žižmond, E. in Novak, M. 2006. Sectoral reallocation of labour as a limit on total factor productivity growth in Slovenia. *Post-communist econ. (Print)*, june 2006, let. 18, št. 2, str. 205-225.
- Žižmond, E. in Novak, M. 2007. Controversies of technology convergence within the European Union. *Ind. manage. data syst.*, 2007, no. 5, vol. 107, str. 618-635.

an



ISBN 978-961-266-114-4

Univerza na Primorskem
Fakulteta za management
www.fm-kp.si

