

Ocjena efikasnosti radnih jedinica u šumarstvu analizom omeđivanja podataka

Mario Šporčić, Ivan Martinić, Ksenija Šegotić

Nacrtač – Abstract

Složenost današnjega poslovnoga okruženja, imperativ ekološke prihvatljivosti i poslovne uspješnosti, nalaže menadžmentu organizacijskih jedinica u šumarstvu stalnu analizu svih relevantnih pokazatelja uspješnosti poslovanja. U takvim okolnostima uspješnost je poslovanja teško ocijeniti tradicionalnim pristupima. U ovom se radu razmatraju dodatne tehnike ocjenjivanja efikasnosti primjenjive pri uspoređivanju organizacija koje upravljaju/gospodare okolišem, pri čemu njihovu uspješnost osim novčane dobiti određuje i ekološka dimenzija poslovanja. Primjenom analize omeđivanja podataka (AOMP) ocijenjena je efikasnost radnih jedinica u šumarstvu u Republici Hrvatskoj uzimajući u obzir njihov poslovni rezultat, ali i količine opasnoga otpada koje pritom proizvode. Osnovnim modelima AOMP određena je razina efikasnosti 13 radnih jedinica mehanizacije koje djeluju u okviru poduzeća Hrvatske šume d.o.o. Zagreb, utvrđene su projekcije neefikasnih jedinica na granicu efikasnosti te izvori i iznosi neefikasnosti. Rezultati pokazuju da analiza omeđivanja podataka može biti vrlo koristan alat na strateškoj i operativnoj razini odlučivanja u šumarstvu. U radu su također prikazane pogodnosti i mogućnosti primjene metode AOMP te ograničenja ovih modela.

Ključne riječi: analiza omeđivanja podataka (AOMP), efikasnost, šumarstvo, radne jedinice, okoliš, opasni otpad

1. Uvod – Introduction

Šume i šumska zemljišta u Republici Hrvatskoj (RH) pokrivaju 2,5 milijuna hektara ili oko 44 % ukupne površine RH. U državnom je vlasništvu 81 % šuma, a preostalih 19 % čine šume privatnih šumovlasnika. Godišnje proizvodne zadaće u gospodarenju šumama (godišnji obujam sječe u državnim šumama iznosi do 4,9 milijuna m³) ostvaruju se mnogobrojnom i raznovrsnom mehanizacijom. Prema podacima za 2006. godinu u državnom šumarstvu RH korišteno je oko 300 nadograđenih poljoprivrednih traktora, 300 skidera i 30 forvardera (Beuk i dr. 2007).

S ekološkoga gledišta upravo se uporaba mehanizacije pri šumskim radovima drži jednim od najvažnijih pritisaka na šumske ekosustave. Ti se pritisci ogledaju kao izravne i neizravne štete i poremećaji svojstava glavnih sastavnica šuma: tla, vode, vegetacije, šumske faune i dr. Na udovoljavanje visokim ekološkim standardima pri izvođenju šumskih radova danas podjednako obvezuju prihvaćeni međunarodni standardi u području očuvanja biološke raz-

novrsnosti i zaštiti okoliša, ali i strateški dokumenti šumarstva RH te načela certifikacije šuma.

Dok se pitanjima ekoloških učinaka mehanizacije pri izvođenju šumskih radova bavilo više autora (Bojanin 1997, Vuletić 1996, Sabo 2000, Sabo 2003, Martinić i dr. 1999), problematika ekoloških standarda pri održavanju mnogobrojne šumarske mehanizacije u Hrvatskoj dosada nije bila predmetom stručnih rasprava ili istraživanja. To je bio razlog da se u okviru istraživanja ekološkoga gledišta planiranja i izvođenja šumskih radova utvrde količine opasnoga otpada koji nastaje pri održavanju šumske mehanizacije. Pritom je metodologijom analize omeđivanja podataka (AOMP) ocijenjena efikasnost radnih jedinica u šumarstvu RH uzimajući u obzir njihov poslovni rezultat, ali i količine opasnoga otpada koje pritom proizvode.

Poslovanje u šumarstvu danas je izuzetno složeno zbog višestrukih ciljeva gospodarenja šumama. Načelo održivoga razvoja pretpostavlja upravljanje i uporabu šuma i šumskoga zemljišta tako da se održava njihova biološka raznolikost, produktivnost, spo-

sobnost obnavljanja, vitalnost i potencijal da bi šume ispunile sada i u budućnosti bitne gospodarske, ekološke i socijalne funkcije. Sve nabrojeno svakodnevno zaoštava uvjete poslovanja u šumarstvu, a menadžmentu organizacijskih jedinica nalaže stalnu analizu svih relevantnih pokazatelja efikasnosti poslovanja. S pozicije složenosti današnjega poslovnoga okruženja, imperativa ekološke prihvatljivosti i poslovne uspješnosti nužna je primjena novih modela i preciznijih metoda analize poslovanja. Primjenom metode AOMP u ocjeni poslovanja i ekološkoga aspekta održavanja šumarske mehanizacije radnih jedinica u istraživanje se uvode tehnike koje u šumarstvu nisu tradicionalno korištene za vrednovanje uspješnosti poslovanja. U mnogim je drugim područjima analiza omeđivanja podataka općeprihvaćena. Primjerice, metoda AOMP primijenjena je u određivanju uspješnosti poslovanja raznih javnih i privatnih organizacija uključujući bankarstvo (Camanho i dr. 1999), telekomunikacije (Sueyoshi 1997), trgovinu (Petrov 2002), industriju željeza i čelika (Oral i dr. 1991) i dr. Temeljiti prikaz teorije i primjene analize omeđivanja podataka dali su Cooper i dr. (2003).

Cilj je ovoga rada primjena metode AOMP pri ocjeni ekološkoga aspekta u rukovođenju organizacijskih jedinica u šumarstvu te donošenja ekološki odgovornih poslovnih odluka. Procjena poslovanja i ekološke obazrivosti pri održavanju šumarske mehanizacije primjer je na kojem su istraživanja provedena te ujedno prikazane i mogućnosti primjene metode AOMP u šumarstvu. Posebna je pozornost usmjerena na zbrinjavanje opasnoga otpada, a potom i uspostavu cjelovitoga sustava gospodarenja otpadom pri održavanju šumarske mehanizacije u servisnim radionicama, koje djeluju u okviru poduzeća za gospodarenje državnim šumama. Razvojem i primjenom analize omeđivanja podataka i drugih modela višekriterijskoga odlučivanja moguće je na strateškoj i operativnoj razini odlučivanja menadžmentu u šumarstvu pružiti vrlo snažnu podršku.

2. Održavanje šumske mehanizacija i opasni otpad – *Maintenance of forest mechanisation and hazardous waste*

Prema Zakonu o šumama Hrvatske šume d.o.o. Zagreb (u daljnjem tekstu HŠ) gospodare državnim šumama u Republici Hrvatskoj. Za sječu, izradu, pri-

vlačenje i prijevoz drva te za gradnju šumskih prometnica HŠ se u značajnoj mjeri oslanjaju na vlastite kapacitete, organizirane u 13 radnih jedinica mehanizacije (u daljnjem tekstu RJM) u okviru samih HŠ. Prema podacima za 2002. godinu HŠ su svojim kapacitetima obavile 57 % privlačenja drva i 29 % prijevoza drva. Ostali dio poslova obavile su poduzetničke firme izvan HŠ. Sve RJM svoja mehanizirana sredstva održavaju u vlastitim servisnim radionicama.

Posebno značajne okolnosti u odnosu šumska mehanizacija – okoliš nastupile su od 1. siječnja 2004. stupanjem na snagu Zakona o otpadu (NN, 151/03, NN, 178/04, NN, 153/05) koji je sve djelatnosti obvezao na propisno zbrinjavanje opasnoga¹ i drugoga otpada, te su sve RJM HŠ bile dužne uskladiti zbrinjavanje svih vrsta otpada sa zakonom. Za ljudsko zdravlje i okoliš posebno je štetan opasni otpad. Procjenjuje se (Milanović i dr. 2002) da u Republici Hrvatskoj nastaje oko 200 000 tona ili 45 kg po stanovniku opasnoga otpada godišnje. Zakon propisuje značajan broj i opseg obveza vezanih uz gospodarenje, postupanje i zbrinjavanje opasnoga otpada. Provođenje tih propisa izravno kontroliraju ovlaštene državne ustanove i inspekcije.

Ekološke su posljedice neodgovornoga i nepri-
mjerena zbrinjavanja opasnoga otpada gotovo nesagledive. Brojni su dokazi teškoga onečišćenja voda, tla i zraka nekontrolirano odbačenim automobilskim otpadom.

U vozilima (kamioni, traktori, forvarderi, buldožeri i dr.) te strojnim uređajima koji se koriste u šumarstvu nalazi se niz opasnih tvari: motorna i hidraulična ulja, anitifriz, rashladne tekućine, akumulator, katalizator, plin iz klimatskih uređaja, uljni filtri, teške kovine i dr., koji pri neodgovornom odbacivanju u prirodu uzrokuju teška oštećenja okoliša i ugrožavaju zdravlje ljudi. I sami su konstrukcijski dijelovi vozila (karoserije, nadgradnje, podvozja i dr.) opasan otpad u slučajevima kada od njih nisu izdvojene neke od prije navedenih tzv. problematičnih tvari ili elektronički sklopovi.

Motorna ulja i uljni filtri moraju se zbrinjavati kao opasne tvari. Poznata je tvrdnja da jedna litra motornoga ulja može zagaditi milijun litara pitke vode. Motorna ulja mogu sadržavati različite dodatke (aditive) koji su osobito opasni za okoliš.

Autogume su automobilske otpad koji zahtijeva posebnu pozornost. U prirodu odbačena autoguma

¹ Opasnim se otpadom u smislu predmetnoga zakona smatra svaki otpad koji ima neko od ovih svojstava: eksplozivnost, reaktivnost, zapaljivost, nadražljivost, štetnost, toksičnost, infektivnost, kancerogenost, mutagenost, teratogenost, ekotoksičnost, svojstvo oksidiranja, svojstvo nagrizanja i svojstvo otpuštanja otrovnih plinova kemijskom reakcijom ili biološkom razgradnjom. Komunalni, industrijski, ambalažni, građevni, električni i elektronički otpad i otpadna vozila svrstavaju se u opasni otpad, ako imaju neko od svojstava opasnoga otpada.

razgrađuje se 100 i više godina. Na skupljalištima i privremenim odlagalištima autogume zauzimaju velik prostor. Otpadna autoguma, uz ispravno odvojeno prikupljanje, može se materijalno i energijski potpuno reciklirati. S tim ciljem u razvijenim je državama izričito zabranjeno odlaganje autoguma.

Otpadna i stara vozila i strojni sklopovi nisu komunalni otpad koji će preuzeti komunalna tvrtka. Taj se problem pokušava riješiti na različite načine, od kojih se ekološki najprihvatljivijom drži predaja starih vozila i dijelova u tvrtke koje ih rastavljaju i iskorištavaju pojedine dijelove. Postoje i postrojenja za reciklažu neiskoristivih olupina.

Akumulatori i baterije mogu sadržavati teške kovine koje izravno ugrožavaju okoliš i zdravlje ljudi. Teške kovine povećavaju rizik od kancerogenih bolesti.

Sredstva protiv smrzavanja (antifriz) koriste se u velikim količinama, pri čemu se često zaboravlja da njihovo izlijevanje u kanalizacije ili prirodne vodotoke uzrokuje ozbiljno onečišćenje.

3. Metode rada – *Methodology*

S namjerom da se utvrde okvirne količine opasnoga otpada u RJM koje djeluju u okviru HŠ i da se utvrdi razina spoznaje o općim pitanjima zbrinjavanja otpada, provedena je anketa o zbrinjavanju opasnoga otpada u RJM. Upitnikom je obuhvaćeno svih 13 RJM u HŠ. Upitnik je kreiran u Zavodu za šumarske tehnike i tehnologije Šumarskoga fakulteta u Zagrebu. U definiranju vrste podataka koji će se obuhvatiti upitnikom konzultirani su stručnjaci Ministarstva zaštite okoliša, prostornoga uređenja i graditeljstva RH. Prije upućivanja upitnika u RJM njegovi su najvažniji detalji i telefonski obrazloženi odgovornim osobama RJM. Po svršetku skupljanja podataka upitnike su ovjerile odgovorne osobe RJM te su oni dostavljeni na Šumarski fakultet gdje su i obrađeni. Naknadno su prikupljena i analizirana poslovna izvješća i ostali dokumenti evidencije poslovanja RJM.

Obrada je obuhvatila razvrstavanje podataka, matematički izračun odnosa relevantnih pokazatelja i grafičku vizualizaciju rezultata. Ispitivanje efikasnosti uključilo je definiranje inputa i outputa za promatrane RJM, njihovu statističku obradu i verifikaci-

ju te skaliranje radi iskazivanja u obliku pogodnom za analizu. Analizom omeđivanja podataka određena je, prema odabranim kriterijima, razina efikasnosti promatranih organizacijskih jedinica u šumarstvu.

Analiza omeđivanja podataka² posljednjih je godina postala središnja tehnika u analizama produktivnosti i efikasnosti, korištena pri uspoređivanju organizacija (Sheldon 2003), tvrtki (Galanopoulos i dr. 2005) te regija i zemalja (Vennesland 2005). U određivanju efikasnosti poslovanja primijenjena je u bankarstvu (Davosir 2006), poljoprivredi (Bahovec i Neralić 2001), drvnoj industriji (Diaz-Balteiro i dr. 2006), školstvu (Glass i dr. 1999) i dr. U šumarstvu je AOMP prvi put primijenio Rhodes (1986). Međutim, broj radova temeljenih na mjerenju efikasnosti neparametarskim tehnikama, kao što je AOMP, u šumarskoj je literaturi još uvijek vrlo ograničen.

Analiza omeđivanja podataka, koju su razvili Charnes i dr. (1978), dobro je poznata neparametarska metoda za procjenu relativne efikasnosti usporedivih entiteta/donositelja odluke³ s više inputa i outputa (Cooper i dr. 2003). Modeli AOMP na temelju podataka o korištenim inputima i ostvarenim outputima svih donositelja odluke linearnim programiranjem određuju empirijsku granicu efikasnosti (granica proizvodnih mogućnosti). Pritom se izračunava razina efikasnosti svake proizvodne jedinice, te omogućuje razlikovanje efikasnih i neefikasnih jedinica. Najuspješnije jedinice (engl. *best practice units*), one koji određuju granicu efikasnosti, dobivaju ocjenu '1', a stupanj tehničke neefikasnosti ostalih jedinica računa se na osnovi udaljenosti njihova omjera inputa i outputa u odnosu na granicu efikasnosti (Coelli i dr. 1998).

Model AOMP problema linearnoga programiranja izgleda kao:

$$\text{Max } \Theta_0 = \sum_{j=1}^s w_j y_{j,k0}$$

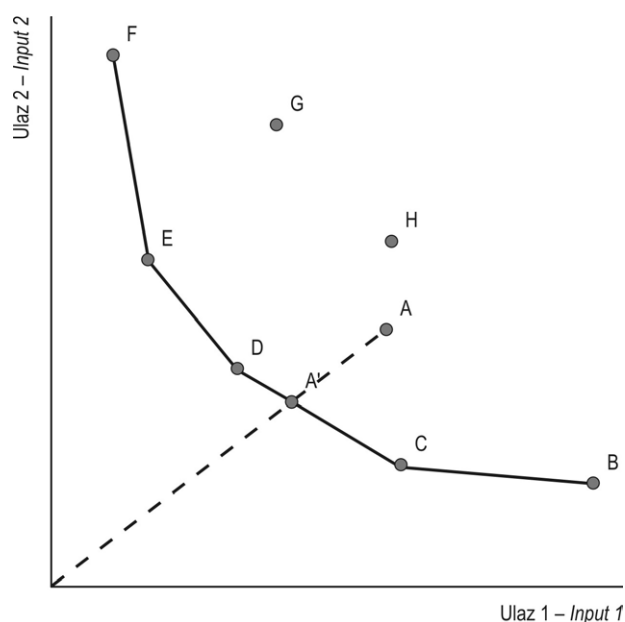
$$\text{uz ograničenja: } \sum_{i=1}^m v_i x_{i,k0} = 1$$

$$\sum_{j=1}^s w_j y_{jk} \leq \sum_{i=1}^m v_i x_{ik}, \quad k = 1, \dots, n; \quad w, v \geq 0$$

gdje je n broj jedinica, m broj inputa, s broj outputa, w_j težina outputa y_j , v_i težina inputa x_i .

² Analiza omeđivanja podataka – eng. *Data envelopment analysis*

³ Donositelj odluke – od engl. *Decision making unit (DMU)*, bilo koja proizvodna ili neproizvodna jedinica koja koristi određene inpute da bi ostvarila određene outpute. Pri tome pod *inputima* smatramo varijable kojima je najčešće poželjan smjer smanjenje, a *outputima* varijable kojima je poželjan smjer povećanje, uz držanje ostalih varijabli nepromijenjenih.



Slika 1. Prikaz granice efikasnosti u modelu AOMP (primjer s 2 inputa)

Fig. 1 Illustration of the frontier in the DEA analysis (2 input case)

Središte analize leži u pronalaženju »najbolje« virtualne jedinice za svaku realnu jedinicu. Ako je virtualna jedinica bolja od originalne, bilo da postiže više outputa s istim inputima ili da ostvaruje iste outpute s manje inputa od stvarne, tada je ona neefikasna. Osnovna je pretpostavka pritom da ako određena jedinica može s x inputa proizvesti y outputa, isto bi trebale moći učiniti i ostale jedinice ako rade efikasno. I dok se tipični statistički pristupi (regresijska analiza) temelje na prosječnim vrijednostima, AOMP se temelji na ekstremnim opažanjima te uspoređuje svaku proizvodnu jedinicu samo s onom najboljom. Efikasnost se određuje relativno u odnosu na ostale jedinice u promatranom skupu.

Otkada su AOMP prvi put primijenili Charnes, Cooper i Rhodes (1978), razvijeno je više modela koji se razlikuju po izboru prinosa na opseg djelovanja (konstantni, varijabilni), geometriji granice proizvodnih mogućnosti (linearna, log-linearna ili Cobb-Douglasova), orijentaciji modela inputima ili outputima i dr.

U ovom su radu primijenjeni osnovni CCR⁴ i BCC⁵ modeli. Za rješavanje problema korišten je programski paket DEA Excel Solver⁶.

Tablica 1. Pregled RJ mehanizacije prema sjedištu s osnovnim podacima

Table 1 Overview of OU mechanization at different locations with basic data

Radna jedinica Operating unit	Zaposlenici Employees	Broj mehaniziranih sredstava za rad Number of mechanized means of work	Otpadne gume Waste tyres	Kruti otpad Solid waste	Otpadno ulje Waste oil
	N	N	Tona – Ton		
Delnice	106	58	11	3	0,5
Đurđevac	95	48	5	15	4
Bjelovar	88	42	18	10	5
Karlovac	60	34	5	15	2,5
Ogulin	95	29	27	2	3
Senj	58	28	23	10	5
Gospić	42	22	7	2	2
Nova Gradiška	35	21	6	10	2
Našice	51	21	9	16,5	4,5
Vinkovci	62	20	15,5	2	3
Kutina	38	19	12,5	16	2
Požega	46	15	8	6	3,5
Osijek	27	10	7	30	3
Ukupno – Total	803	367	154,0	137,5	40,0

⁴ CCR – Charnes-Cooper-Rhodesov model

⁵ BCC – Banker-Charnes-Cooperov model

⁶ Program je priložen uz knjigu: W. W. Cooper, L. M. Seiford, K. Tone: *Data Envelopment Analysis – A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*, Kluwer Academic Publishers, 2003.

4. Rezultati istraživanja – Results of research

4.1 Empirijski podaci za analizirane radne jedinice – Data set for analysed operating units

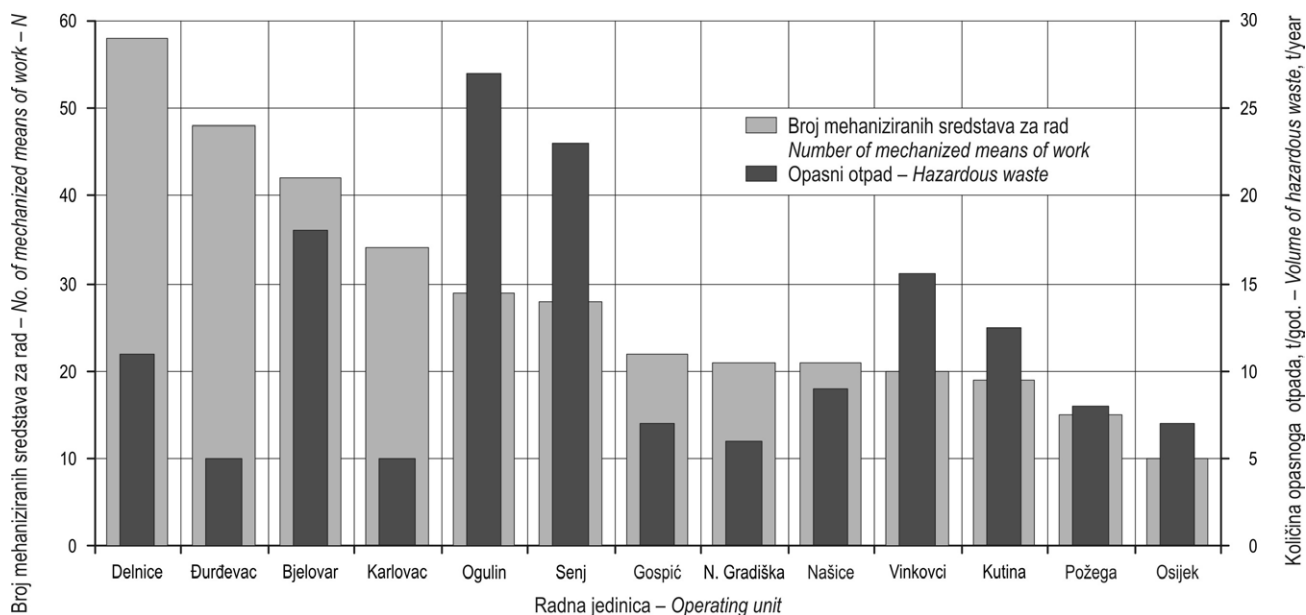
Šumarstvo ne pripada djelatnostima u kojima je posebno naglašeno stvaranje otpada. Kao takvo ono nije ni posebno izdvojeno u pravilniku o vrstama otpada RH koji utvrđuje djelatnosti kod kojih nastaje otpad, već su pojedini dijelovi šumarske djelatnosti uključeni u neke od 20 glavnih skupina djelatnosti. U tablici 1 prikazani su osnovni podaci za promatrane radne jedinice.

To potvrđuju i utvrđene količine otpada (tablica 1) koje, okvirno izračunato, na godišnjoj razini iznose manje od 500 tona, što je manje od 0,25 % udjela u ukupnoj godišnjoj količini opasnoga otpada u RH (procijenjeno na 200 000 tona/god.). Po jednom mehaniziranom sredstvu rada godišnje se odlaže 420 kg guma, 375 kg krutoga otpada i 109 litara motornih i hidrauličnih ulja. Ti su odnosi na razini pojedine RJM grafički prikazani na slici 2. Uočljive razlike objašnjavaju se različitom strukturom (npr. neke RJM održavaju i značajan broj osobnih vozila za potrebe opće šumarske službe), vrstama i/ili tehničkim stanjem (broj godina u uporabi, ispravnost i dr.) mehanizacije u pojedinoj RJM. Dio je razlika uzrokovan i načinom evidencije količina, pri čemu je ona nekad vezana uz kalendarsku godinu, a nekad uz ciklus predaje pojedinih vrsta otpada ovlaštenim skupljačima.

4.2 Određivanje relativne efikasnosti metodom AOMP – Efficiency evaluation using DEA

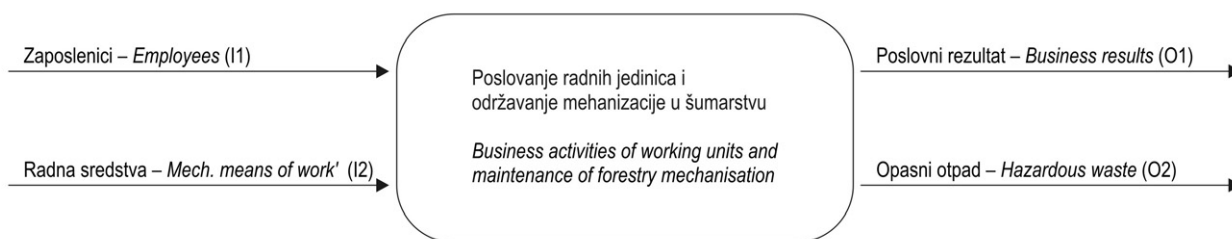
Da bismo modelima AOMP odredili efikasnost RJM, potrebno je definirati inpute i outpute koji će biti ulazi za analizu. Odabrane su po dvije varijable i za inpute i za outpute. Kao inputi u model su uključeni broj zaposlenika i broj radnih sredstava. Ukupan broj zaposlenika obuhvaća sve proizvodne radnike, administrativno osoblje, mehaničare te rukovodeće stručno osoblje u radnim jedinicama. Drugi se input odnosi na ukupan broj mehaniziranih sredstava rada kojima raspolažu radne jedinice (traktori, forvarderi, kamioni, građevinska mehanizacija i dr.). Outputi su predstavljeni količinom opasnoga otpada nastalog pri održavanju mehanizacije te iznosom novčane dobiti/gubitka koji su RJM ostvarile u promatranoj godini. U opasnom su otpadu količine otpadnih guma, krupnoga otpada i otpadnih ulja iskazane zajedno. Iznosom novčane dobiti/gubitka izražen je financijski rezultat poslovanja radnih jedinica.

Ocjenom efikasnosti obuhvaćeno je svih 13 RJM koje djeluju u sklopu HŠ. U osnovnim AOMP modelima broj radnih jedinica (tj. entiteta koji se uspoređuju) mora biti najmanje 3 – 5 puta veći od ukupnoga broja varijabli inputa i outputa. Zbog toga je ukupan broj inputa i outputa ograničen na navedena četiri pokazatelja. Slika 3 prikazuje odnose između inputa i outputa koji su ulazi za primijenjene modele AOMP.



Slika 2. Odnos brojnosti mehaniziranih sredstava i ukupne količine opasnoga otpada

Fig. 2 Number of mechanised means versus quantity of hazardous waste



Slika 3. Grafički prikaz inputa i outputa te uspoređivanih jedinica (RJM) za model AOMP

Fig. 3 A graphical representation of inputs and outputs and benchmarking units for DEA model

Prema Farrellu (1957) relativna tehnička efikasnost predstavlja sposobnost proizvodne jedinice da postigne maksimum outputa sa zadanim setom inputa i tehnologijom (orijentacija outputima) ili da, u drugom slučaju, postigne najviše moguće smanjenje u količini inputa uz zadržavanje iste razine outputa (orijentacija inputima). U ovom je istraživanju orijentacija outputima prihvatljivija. Naime, smislenijim se čini postizanje, s istim inputima, boljšeg financijskoga rezultata uz istodobno smanjenje količina opasnoga otpada. Skaliranje podataka o količinama opasnoga otpada kao nepoželjnoga outputa bit će objašnjeno u sljedećem poglavlju.

Ocjena efikasnosti RJM provedena je osnovnim CCR i BCC modelima, koji su i najčešće primjenjivani modeli AOMP. Izbor modela ovisi o karakteristikama podataka i poslovanja koje se želi analizirati. Ako povećanje inputa rezultira proporcionalnim povećanjem outputa, tada poslovanje karakteriziraju stalni prinosi s obzirom na opseg djelovanja i može se koristiti CCR model. Ako poslovanje karakteriziraju varijabilni prinosi, tada se može koristiti BCC model. Ako *a priori* nije poznato svojstvo prinosa, tada je preporučljivo napraviti analizu s oba modela i usporediti rezultate. Ako ne postoje velike razlike u rezultatima, tada efekt obujma nije izražen i može se koristiti CCR model. Ako postoje znatne razlike, moguće ih je pripisati efektu prinosa s obzirom na opseg djelovanja i tada BCC model bolje opisuje analizirano poslovanje.

4.2.1 Skaliranje podataka i inicijalni rezultati – Data scaling and initial results

U prvom razmatranju modela podaci o inputima i outputima obuhvaćeni su u originalnim, nepromijenjenim veličinama. Dakle, utjecaj strukturnih karakteristika RJM na količine opasnoga otpada i financijski rezultat poslovanja uzeti su za temeljne ishodišne točke analize. U tablici 2 prikazani su iznosi inputa i outputa kakvi su inicijalno prikupljeni. U prvoj su koloni navedene uspoređivane radne jedinice mehanizacije. Druga i treća kolona prikazuju broj zaposleni-

ka i mehaniziranih sredstava rada pojedinih RJM. Zadnje dvije kolone prikazuju financijski rezultat odnosno količine otpada kao posljedicu rada i poslovanja RJM. Negativne vrijednosti novčanih pokazatelja iskazuju gubitak u poslovanju RJM. Ekološki nepovoljniji rezultati iskazani su većim količinama opasnoga otpada kao nepoželjnoga outputa.

Analiza omeđivanja podataka zahtijeva da podaci ne budu negativni za outpute i da budu isključivo pozitivni za inpute. Metoda AOMP također pretpostavlja da se vrijednosti inputa popravljaju ako se njihov iznos smanjuje, odnosno da se vrijednosti outputa poboljšavaju ako njihov iznos raste. Prema tomu, inicijalne je podatke potrebno skalirati iz dvaju razloga. Prvi se razlog odnosi na eliminiranje negativnih vrijednosti u obuhvaćenim podacima. Drugi je razlog osigurati takve ulazne podatke koji će imati karakteristike da su manje vrijednosti preferirane kod inputa odnosno da su veće vrijednosti preferirane kod outputa. Oba se razloga odnose na outpute. Vrijednosti su inputa pozitivne i već imaju obilježje »manja je vrijednost boljša«.

Skaliranje je podataka provedeno uvećanjem dobiti/gubitka svih RJM jednakim iznosom da bi i najlošiji rezultati bili svedeni na pozitivnu vrijednost. To je postignuto zbrajanjem vrijednosti dobiti/gubitka pojedinih RJM s proizvoljno velikim brojem (3500 u ovom slučaju). Podatke o količinama opasnoga otpada kao nepoželjnoga outputa skalirali smo uzimanjem inverznoga oblika njihove izvorne vrijednosti. Tako je postignuto da su veće vrijednosti poželjnije (zapravo znače manje količine opasnoga otpada), a zadržane su jednake relacije kao i između izvornih podataka. U tablici 3 prikazani su podaci prilagođeni za primjenu metode AOMP. Mogućnosti i načine skaliranja podataka za potrebe AOMP detaljnije su opisali Sarkis i Weinrach (2001).

U tablici 4 dana je statistika inputa i outputa. Za svaku varijablu prikazane su srednje vrijednosti, standardna devijacija, najveće, najmanje, ukupne vrijednosti prema skaliranim podacima.

Tablica 2. Neskalinirani podaci za input i output varijable promatranih radnih jedinica**Table 2** Unscaled data set of results for input and output factors regarding different Operating Units

RJM DMU	Inputi – Inputs		Outputi – Outputs	
	Zaposlenici, N Employees, N	Radna sredstva, N Means of work, N	Dobit/Gubitak, 10 ³ kn Financial result, 10 ³ kn	Otpad, tona Waste, ton
	(I1)	(I2)	(O1)	(O2)
Delnice	106	58	-3359	11
Đurđevac	95	48	561	5
Bjelovar	88	42	-53	18
Karlovac	60	34	-1109	5
Ogulin	95	29	-124	27
Senj	58	28	4409	23
Gospić	42	22	1841	7
Nova Gradiška	35	21	-1546	6
Našice	51	21	-1202	9
Vinkovci	62	20	-3355	15,5
Kutina	38	19	622	12,5
Požega	46	15	2631	8
Osijek	27	10	336	7

Tablica 3. Skalirani podaci za input i output varijable promatranih radnih jedinica**Table 3** Scaled data set of results for input and output factors regarding different Operating Units

RJM DMU	Inputi – Inputs		Outputi – Outputs	
	Zaposlenici, N Employees, N	Radna sredstva, N Means of work, N	Dobit/Gubitak, 10 ³ HRK Financial result, 10 ³ HRK (+3.500)	Otpad, tona Waste, ton (1/t x 10)
Delnice	106	58	141	0,909
Đurđevac	95	48	4061	2,000
Bjelovar	88	42	3447	0,556
Karlovac	60	34	2391	2,000
Ogulin	95	29	3376	0,370
Senj	58	28	7909	0,435
Gospić	42	22	5341	1,429
Nova Gradiška	35	21	1954	1,667
Našice	51	21	2298	1,111
Vinkovci	62	20	145	0,645
Kutina	38	19	4122	0,800
Požega	46	15	6131	1,250
Osijek	27	10	3836	1,429

4.3 Relativna efikasnost radnih jedinica – Operating units' relative efficiency

Rezultati određivanja efikasnosti RJM osnovnim modelima AOMP prikazani su u tablici 5. Iz njih se može uočiti da prosječna CCR efikasnost promatra-

nih radnih jedinica iznosi 0,608. To znači da prosječna (pretpostavljena) RJM, ako želi poslovati na granici efikasnosti, treba uz korištenu razinu inputa proizvoditi 64,5 % više outputa⁷, odnosno ostvariti utoliko manju količinu otpada i veću dobit. Prema

⁷ Lako se dobije da je $64,5\% = (1 - 0,608) / 0,608$

Tablica 4. Statistika inputa i outputa uključenih u model AOMP**Table 4** Statistics of inputs and outputs involved in DEA model

	Inputi – Inputs		Outputi – Outputs	
	Zaposlenici Employees	Radna sredstva Means of work	Dobit/Gubitak Financial result	Otpad Waste
srednja vrijednost mean	62,77	28,23	3473,23	1,12
stand. devijacija standard deviation	24,987	13,314	2115,47	0,539
maks. vrijednost maximum	106	58	7909	2
min. vrijednost minimum	27	10	141	0,370
ukupna vrijednost total	803	367	45152	14,600

BCC modelu efikasnost prosječno iznosi 0,792, što znači da prosječna RJM, ako želi biti efikasna, treba uz jednake inpute proizvoditi 26,3 % više outputa⁸ (povećanje dobiti, tj. smanjenje otpada).

Relativno su efikasne dvije RJM prema CCR modelu (15,4 %), odnosno 7 RJM (53,8 %) prema BCC modelu. Osim toga vidljivo je da se uz relativno visoke srednje vrijednosti oko 60 %, tj. 80 % s obzirom na korišteni model (CCR ili BCC), najmanja razina relativne efikasnosti kreće od 0,162 (CCR) do 0,387 (BCC). To upućuje prvo da promatrane RJM mogu smanjiti inpute 39,2 % (20,8 %), a da se razina outputa ne promijeni. I drugo, da postoje značajne razlike u poslovanju i ekološkom utjecaju održavanja mehanizacije između analiziranih RJM. Nekoliko RJM nalazi se na granici efikasnosti ili je blizu nje, no ipak oko 50 % RJM iskazuje neefikasnost veću od 40, tj. 20 posto.

Ako efikasnost razdvojimo po jedinicama, omogućujemo izravnu usporedbu među pojedinim RJM.

Tablica 5. Rezultati CCR i BCC modela usmjerenih outputima**Table 5** Results of CCR and BCC output oriented models

	CCR model	BCC model
broj RJM – number of DMUs	13	13
broj relativno efikasnih RJM – no. of efficient DMUs, N	2	7
relativno efikasne RJM (u %) – efficient DMUs, %	15,4	53,8
prosječna relativna efikasnost E – mean relative efficiency, E	0,608	0,792
najveća vrijednost – maximum	1,000	1,000
najmanja vrijednost – minimum	0,162	0,387
broj RJM koje imaju relativnu efikasnost manju od E DMUs with efficiency lower than mean efficiency (E)	6	6

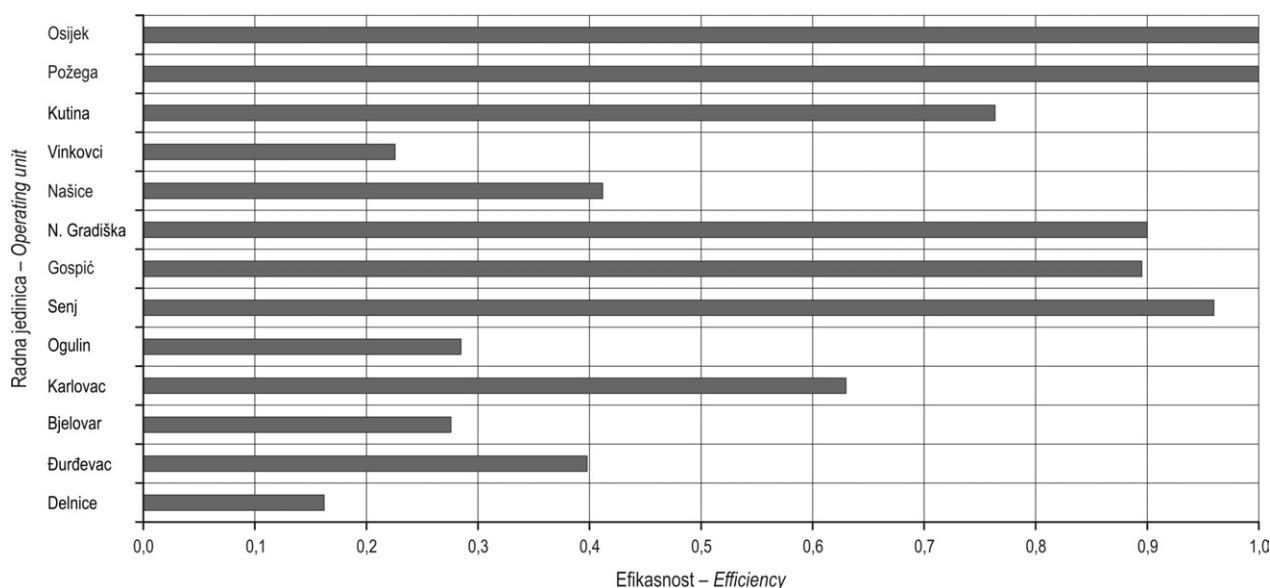
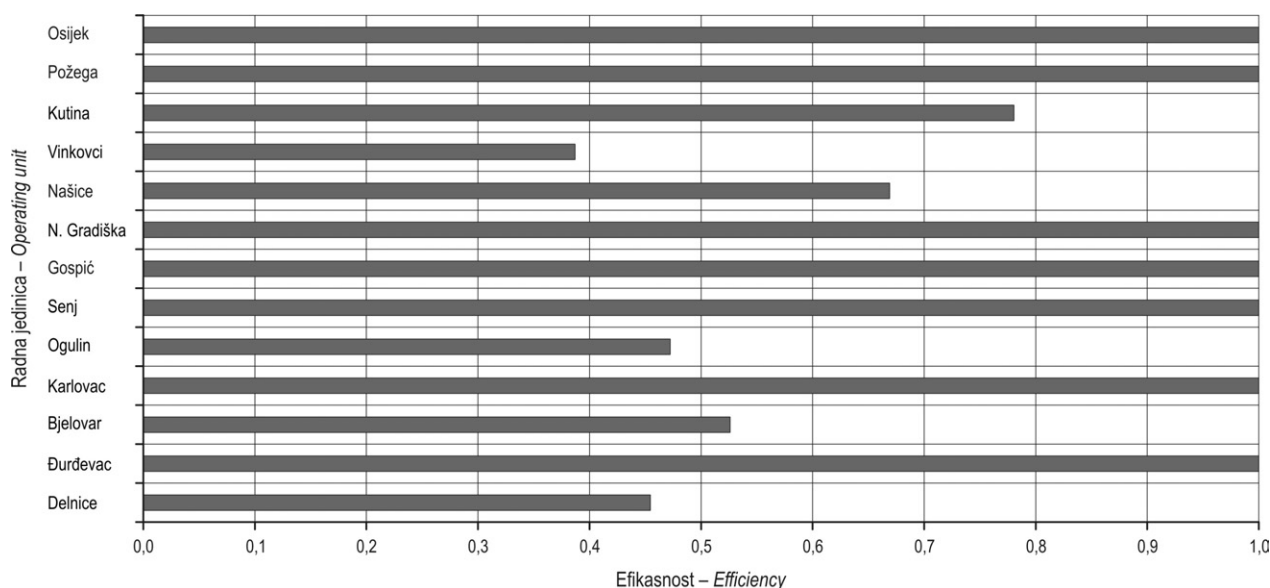
Prema CCR modelu (slika 4) efikasne su RJM Požega i Osijek. Efikasnost samo jedne RJM (Karlovac) kreće se oko prosječne vrijednosti ($E = 0,867$), dok se ostale RJM izdvajaju u dvije skupine, od kojih je jedna znatno ispod granice efikasnosti, a druga s efikasnošću oko 90 % značajnije iznad prosječne vrijednosti.

Rangiranje po BCC modelu nije toliko izraženo (slika 5). Naime, primjenom BCC modela mnogo veći broj promatranih entiteta postaje efikasan, što pokazuje da model uz odabrane inpute i outpute ne razlikuje pravilno efikasne i neefikasne jedinice. Problem izlazi iz broja efikasnih entiteta (oni s rezultatom 1,0). U ovom slučaju uz entitete koji su efikasni prema CCR modelu još je pet RJM ocijenjeno relativno efikasnim. Ukupno sedam RJM ima ocjenu '1'. Takvi rezultati također mogu biti korisni ako se primijene dodatni modeli odlučivanja te rezultati primjene AOMP u tom slučaju posluže kao prvi filter neefikasnih entiteta.

Izborom orijentacije outputima određena je i putanja projekcije neefikasnih entiteta na granicu efikasnosti. Usporedbom empirijskih i projiciranih vrijednosti moguće je identificirati izvore neefikasnosti i njihovu veličinu. Što je manji postotak projiciranih vrijednosti inputa u empirijskim vrijednostima (negativni udjeli), to je taj input prosječno veći izvor neefikasnosti, a što je veći postotak projiciranih vrijednosti outputa u empirijskim vrijednostima outputa, to je taj output veći izvor neefikasnosti (tablica 6). Rezultati s 0,00 posto znače da ne postoji razlika između projiciranih i empirijskih vrijednosti inputa i/ili outputa, tj. kao takvi nisu izvor neefikasnosti.

Iz tablice 6 može se zaključiti da neznatno veći utjecaj na neefikasnost RJM ima prvi output O1 (dobit/gubitak) od drugoga outputa O2 (otpad). RJM

⁸ Lako se dobije da je 26,3 % = $(1 - 0,792)/0,792$

**Slika 4.** Efikasnost RJM prema CCR modelu**Fig. 4** Efficiency of DMUs according to CCR model**Slika 5.** Efikasnost RJM prema BCC modelu**Fig. 5** Efficiency of DMUs according to BCC model

su prosječno u promatranom razdoblju trebale ostvariti 263,01 % više od postignute količine outputa O1 i 255,93 % više od postignute količine, inverzno izražene vrijednosti, drugoga outputa O2. Isto tako, trebale su upotrijebiti 98,52 % korištene količine inputa I1 i 81,32 % korištene količine inputa I2. Tada bi poslovale CCR efikasno. Veći utjecaj outputa na neefikasnost od inputa unaprijed je određen izborom orijentacije modela. Najizraženije razlike između

projiciranih i empirijskih vrijednosti outputa upravo su kod RJM s najvećim količinama otpada i negativnim financijskim rezultatom poslovanja.

Za postizanje BCC efikasnosti potrebno je prosječno ostvariti 175,32 % više od postignute količine outputa O1 i 43,39 % više od postignute količine outputa O2. Prosječno je trebalo upotrijebiti 86,04 % korištene količine inputa I1 i 89,64 % korištene količine inputa I2.

Tablica 6. Postotni udio projiciranih u empirijskim vrijednostima inputa i outputa po RJM**Table 6** Data on relative shares projected to empiric values of inputs and outputs

RJM DMU	CCR model				BCC model			
	I1	I2	O1	O2	I1	I2	O1	O2
Delnice	0,00	-32,31	999,90	516,93	-43,40	-41,38	999,90	120,00
Đurđevac	0,00	-26,70	232,36	151,32	0,00	0,00	0,00	0,00
Bjelovar	0,00	-22,40	262,71	738,10	-44,49	-56,93	90,12	90,12
Karlovac	0,00	-34,64	256,52	58,73	0,00	0,00	0,00	0,00
Ogulin	-6,39	0,00	251,10	552,50	-44,36	-22,66	111,70	111,70
Senj	0,00	-23,28	4,19	605,82	0,00	0,00	0,00	0,00
Gospić	0,00	-29,29	11,72	55,56	0,00	0,00	0,00	0,00
N. Gradiška	0,00	-38,27	154,48	11,11	0,00	0,00	0,00	0,00
Našice	0,00	-10,05	215,31	142,86	-15,01	0,00	49,45	49,45
Vinkovci	-12,90	0,00	999,90	342,86	-34,27	0,00	999,90	158,33
Kutina	0,00	-25,93	30,98	151,32	0,00	-13,75	28,12	34,49
Požega	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Osijek	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ukupno – Total	-1,48	-18,68	263,01	255,93	-13,96	-10,36	175,32	43,39

Važno je napomenuti da su projicirane vrijednosti ostvarive jer su ih neke RJM uključene u analizu uspjele ostvariti.

5. Rasprava i zaključci – Discussion and conclusions

Ocjenjivanje uspješnosti poslovanja u šumarstvu u Hrvatskoj uglavnom se temelji na ocjeni dosega u ispunjavanju općih ciljeva gospodarenja šumama poduzeća Hrvatske šume d.o.o. na državnoj razini, odnosno na rezultatima standardiziranih financijskih pokazatelja poslovanja toga poduzeća i njegovih podružnica. I dok se za najširu javnost ovakvo ocjenjivanje poslovanja može činiti dovoljnim, višestruki ciljevi gospodarenja šumama menadžmentu organizacijskih jedinica nalažu stalnu analizu svih/ostalih relevantnih pokazatelja uspješnosti poslovanja. Pritom su redovito naglasci na ulaznim resursima, troškovima i rezultatima šumarske proizvodnje koji trebaju sada i u budućnosti podržavati bitne gospodarske, ekološke i socijalne funkcije šume. U takvim su okolnostima od velike važnosti metode i tehnike koje mogu pridonijeti pouzdanijemu planiranju i objektivnijemu odlučivanju s jedne strane, te modeli objektivne analize i ocjenjivanja uspješnosti poslovanja s druge strane.

Ovaj rad pruža uvid u neklasične tehnike ocjenjivanja efikasnosti primjenjive pri uspoređivanju organizacija koje upravljaju/gospodare okolišem, pri čemu njihovu uspješnost osim novčane dobiti određuje i ekološka dimenzija poslovanja. Mogućnost

primjene analize omeđivanja podataka predstavljena je s pozicije višekriterijskoga vrednovanja okolišne i financijske učinkovitosti organizacijskih jedinica u šumarstvu. Na primjeru prikazanom u radu, temeljem stvarnih podataka, metodom AOMP ocijenili smo ekološki aspekt održavanja mehanizacije i rezultat poslovanja radnih jedinica koje djeluju u sklopu Hrvatskih šuma d.o.o. Zagreb. Na temelju dobivenih rezultata CCR i BCC modela utvrđene su projekcije neefikasnih RJM na granicu efikasnosti, te izvori i iznosi neefikasnosti. Utvrđeno je da prosječna efikasnost iznosi 0,608 (CCR) odnosno 0,792 (BCC). Relativno su efikasne dvije RJM prema CCR modelu (15,4 %), odnosno 7 RJM (53,8 %) prema BCC modelu. Kao nešto značajniji izvor neefikasnosti pokazala se dobit odnosno financijski gubitak koji su ostvarile pojedine radne jedinice. Pritom se smatra da je opasnomu otpadu kao drugomu uspoređivanom outputu potrebno pridati osobitu važnost i pozornost. Naime, utvrđene količine opasnog otpada i odnos prema okolišu kao elementu poslovne strategije upućuju na izostajanje sustavne skrbi za zaštitu okoliša na razini matične tvrtke te izostanak cjelovitoga koncepta gospodarenja otpadom u većem broju RJM.

Suvremena rješenja za sve veće količine, obujam i štetnost otpada obuhvaćaju sustav mjera i aktivnosti iz tzv. *cjelovitoga sustava gospodarenja otpadom*. Najznačajnije se mjere odnose na:

- ⇒ nadzor tijeka otpada, od mjesta nastanka do mjesta konačne obrade
- ⇒ izbjegavanje i smanjivanje otpada

- ⇒ recikliranje i obnavljanje kroz ponovljenu uporabu za istu namjenu
- ⇒ obradu te materijalno i energijsko iskorištavanje otpada
- ⇒ minimalno odlaganje obrađenoga otpada.

Izbor metode AOMP za ocjenu efikasnosti poslovanja, osim što je uglavnom metodološka novina u šumarstvu, opravdavamo njezinom pogodnošću za procjenu efikasnosti većega broja entiteta. Osim određivanja najuspješnijih jedinica ovaj postupak menadžmentu pruža vrijedne spoznaje. Koristeći najbolje jedinice kao referentne vrijednosti, neefikasne jedinice vide koje su promjene u resursima potrebne da unaprijede svoje poslovanje. Važno je napomenuti da su projicirane vrijednosti ostvarive jer ih neke jedinice uključene u analizu ostvaruju. Naime, efikasnost se određuje relativno, uspoređivanjem svake proizvodne jedinice samo s onom najboljom u promatranom skupu. Na taj je način moguće metodom AOMP utvrditi objektivno moguće najveće doseg u poslovanju za svaki segment i ukupno, ali i ukazati na resurse čije je korištenje nedovoljno učinkovito. Osim toga ovakvo istraživanje omogućuje otkrivanje mjesta mogućih poboljšanja u poslovanju, ali i izvora neuspješnosti poslovanja.

Nedostatak je metode u tome što je osjetljiva na ekstremna opažanja i slučajne pogreške. Osnovna je pretpostavka da slučajne pogreške ne postoje i da sva odstupanja od efikasne granice predstavljaju neefikasnost. Rezultati dobiveni analizom omeđivanja podataka jako su osjetljivi na vrstu ulaznih podataka i skaliranje podataka ako je ono potrebno. Utvrđivanje ulaznih podataka (određivanje inputa i outputa), uz odabir osnovnoga modela, trebalo bi biti jedini element unošenja subjektivnosti u AOMP. To je osnovno ograničenje u primjeni metode AOMP kao alata odlučivanja. Analitičari, istraživači, donositelji odluka trebaju biti svjesni tih ograničenja, ali i ograničenja ostalih modela. Usporedbu karakteristika modela AOMP i drugih modela višekriterijskoga odlučivanja dali su Sarkis i Weinrach (2001).

Rješenja relativne efikasnosti dobivena metodom AOMP vrlo su korisni istraživačima, rukovoditeljima i menadžerima zbog ovih svojstava metode:

- ⇒ karakterizacija svake jedinice jednim rezultatom relativne efikasnosti
- ⇒ istodobno obrađivanje više outputa i inputa, pri čemu svaki input i output može biti izražen u različitim mjernim jedinicama
- ⇒ poboljšanja koja model predlaže neefikasnim jedinicama temeljena su na ostvarenim rezultatima jedinica koje posluju efikasno
- ⇒ ne zahtijeva poznavanje eksplicitne veze između inputa i outputa.

Na taj način AOMP postaje novo oruđe menadžmenta za analizu relativne efikasnosti jedinica u javnom sektoru i omogućuje novi pristup organizaciji i analizi podataka, analizi trošak – korisnost, procjeni granice i teoriji učenja od najuspješnijih.

Jednako kao u mnogim poslovnim sustavima, tako i u šumarstvu analiza omeđivanja podataka te ostale metode operacijskih istraživanja i matematičkih modela (AHP, MAUT, ekspertni sustavi, simulacije i dr.) mogu biti vrlo snažna podrška planiranju i odlučivanju.

6. Literatura – References

- Bahovec, V., L. Neralić, 2001: . Mathematical Communications – Supplement, 11: 111–119.
- Beuk, D., Ž. Tomašić, D. Horvat, 2007: Stanje i razvoj mehaniziranosti pridobivanja drva u hrvatskom državnom šumarstvu. Nova mehanizacija šumarstva, 28, pos. izd., 1: 3–20.
- Bojanin, S., 1997: Stanje šumske mehanizacije i struktura šumskog rada u eksploataciji šuma, s obzirom na terenske uvjete, te način gospodarenja u šumama Hrvatske. Mehanizacija šumarstva, 22(1): 19–35.
- Camanho, A. S. R., R. G. Dyson, 1999: Efficiency, size, benchmarks and targets for bank branches: an application of DEA. Journal of Operational Research, 50(9): 903–1005.
- Charnes, A., W. W. Cooper, E. Rhodes, 1978: Measuring the efficiency of decision making units. European Journal of Operational research, 2: 429–444.
- Coelli, T., D. S. Prasada Rao, G. E. Battese, 1998: An introduction to efficiency and productivity analysis. Kluwer academic publishers, Massachusetts.
- Cooper, W. W., L. M. Seiford, K. Tone, 2003: Data Envelopment Analysis – A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software, Kluwer Academic Publishers, str. 1–318.
- Pongrac, D., 2006: Efikasnost osiguravajućih društava u Republici Hrvatskoj. Magistarski rad, Ekonomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 1–139.
- Díaz-Balteiro, L., A. C. Herruzo, M. Martínez, J. González-Pachón, 2006: An analysis of productive efficiency and innovation activity using DEA: An application to Spain's wood-based industry. Forest Policy and Economics, 8(7): 762–773.
- Farrell, M. J., 1957: The measurement of productive efficiency. Journal of the Royal Statistical Society, Series A 120, 253–281.
- Galanopoulos, K., S. Aggelopoulos, I. Kamenidou, K. Matas, 2005: Assessing the effects of managerial and production practices on the efficiency of commercial pig farming. Agricultural Systems – article in press, available online at www.sciencedirect.com
- Glass J. C., D. G. McKillop, G. O'Rourke, 1999: A cost indirect evaluation of productivity change in UK universities. J. Prod. Anal., 10(2): 153–175.
- Martinić, I., M. Jurišić, T. Hengl, 1999: Neke ekološke posljedice uporabe strojeva u šumarstvu. Strojstvo, 41(3-4): 123–129.
- Martinić, I., M. Šporčić, 2005: Ekološko gledište održavanja mehanizacije u šumarstvu. Šumarski list, 129(1–2): 19–28.

- Milanović, Z., S. Radović, V. Vučić, 2002: Otpad nije smeće. Gospodarstvo i okoliš, Zagreb: Top-graf, Velika Gorica.
- Oral, M., O. Kettani, P. Lang, 1991: A methodology for collective evaluation and selection of industrial R&D projects. *Managmnt. Sci.*, 37(7): 871–875.
- Petrov, T., 2002: Modeli analize omeđivanja podataka s primjenom u trgovini. Magistarski rad, Ekonomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 1–163.
- Rhodes, E., 1986: An explanatory analysis of variations in performance among U.S. national parks. In: Silkman, R. (Ed.), *Measuring Efficiency: An Assessment of DEA*, str. 47–71.
- Sabo, A., 2000: Oštećivanje drveća pri privlačenju oblovine traktorom LKT 81 u Gorskokotarskim prebornim sastojinama različite otvorenosti. *Mehanizacija šumarstva*, 25(1–2): 9–29.
- Sabo, A., 2003: Oštećivanje stabala pri privlačenju drva zglobnim traktorom Timberjack 240C u prebornim sastojinama. *Šumarski list*, 127 (7–8): 335–347.
- Sarkis, J., J. Weinrach, 2001: Using data envelopment analysis to evaluate environmentally concious waste treatment technology. *Journal of Cleaner Production*, 9(2001): 417–427.
- Sheldon, G. M., 2003: The efficiency of public employment services. A nonparametric matching function analysis for Switzerland. *Journal of Productivity Analysis*, 20: 49–70.
- Sueyoshi T., 1997: Measuring efficiencies and returns to scale of Nippon Telegraph and Telephone in production and cost analysis. *Managmnt. Sci.*, 43(6): 779–796.
- Vennesland, B., 2005: Measuring rural economic development in Norway using data envelopment analysis. *Forest Policy and Economics*, 7(2005): 109–119.
- Vuletić, D., 1996: Ekonomski gubici na vrijednosti hrasta lužnjaka kao posljedica ozljeđivanja stabala. Magistarski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 1–89.
- *** Zakon o otpadu (NN, 151/03, NN, 178/04, NN, 153/05)

Abstract

Using data envelopment analysis to evaluate efficiency of forestry operating units

Due to complexity of the current business environment and imperative of ecological acceptability and business success, the management of forestry organisational units must perform continuous analyses of all relevant indicators of business efficiency. Under such circumstances, it is difficult to evaluate business success by traditional approaches. This paper considers additional efficiency evaluation techniques applicable in benchmarking of organisations dealing with environmental management, whose success is determined not only by financial profit but also by assessment of their ecological dimension. Using Data Envelopment Analysis (DEA), the efficiency of the Croatian forestry operating units was evaluated taking into consideration their business result, as well as quantities of hazardous waste produced. By the basic DEA models, the efficiency level of mechanisation in 13 operating units within the company Hrvatske šume d.o.o. Zagreb was determined, and the projection of inefficient units on efficiency frontier was established, as well as sources and rates of inefficiency. The results show that the Data Envelopment Analysis may be a very useful tool at a strategic and operational level of decision-making in forestry. This paper also shows the advantages and possibilities of applying the DEA method, as well as restrictions of this model.

Key words: Data Envelopment Analysis (DEA), efficiency, forestry, operating units, environment, hazardous waste

Adresa autorâ – Authors' addresses:

Dr. sc. Mario Šporčić
e-mail: sporcic@sumfak.hr
Prof. dr. sc. Ivan Martinić
e-mail: martinic@sumfak.hr
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Svetošimunska 25
HR-10 000 Zagreb
Izv. prof. dr. sc. Ksenija Šegotić
e-mail: segotic@sumfak.hr
Zavod za procesne tehnike
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Svetošimunska 25
HR-10 000 Zagreb