

PRIMJENA VIŠEKRITERIJSKE AHP METODE U ODABIRU SUSTAVA PRIDOBIVANJA DRVA

APPLICATION OF MULTICRITERIA AHP METHOD IN SELECTION OF WOOD HARVESTING SYSTEM

Mario ŠPORČIĆ¹, Matija LANDEKIĆ^{1*}, Ivana BARTULAC², Ksenija ŠEGOTIĆ³

SAŽETAK

Donošenje odluka, kao proces odabira neke od alternativa kojima se rješava dani problem, u šumarstvu je naglašeno zahtjevno zbog mnogobrojnosti i širokog raspona kriterija uključenih u proces odlučivanja. Primjena različitih metoda višekriterijskog odlučivanja u takvim se situacijama pokazuje kao važan i potencijalno dobar način pristupanja brojnim šumarskim pitanjima i problemima. U tom smislu, u ovom se radu primjenom višekriterijske metode odlučivanja Analytic Hierarchy Process (AHP) ocijenila prikladnost primjene pojedinih sustava pridobivanja drva za odabranu šumsku sastojinu, odnosno radilište. Na temelju ispitivanja šumarskih stručnjaka i usporedbe postojećih sustava pridobivanja drva, prema postavljenim kriterijima, utvrdili su se rangovi pojedinih alternativa i donijet je prijedlog odluke o odabiru optimalnog sustava pridobivanja drva za predviđene proizvodne zadaće i konkretne uvjete određenog šumsko-gospodarskog područja. S obzirom na definirane tehnološko-biološke, ekonomske, ekološke, ergonomске, energijske i estetske kriterije odabira, kao najpogodnija opcija ocijenjen je sustav kojega čine harvester i forvarder.

KLJUČNE RIJEČI: sustavi pridobivanja drva, šumarstvo, odlučivanje, višekriterijski modeli, AHP metoda

1. UVOD INTRODUCTION

Šumama se danas gospodari u mnogostruke svrhe, a višestruke koristi i brojne dobrobiti koje pružaju šume kao i netržišna priroda dijela takvih proizvoda, čine planiranje i odlučivanje o šumarskim postupcima naročito zahtjevnim. U pridobivanju drva to je jasno izraženo kod odabira i primjene određenih sustava pridobivanja drva u različitim šumskim sastojinama. Vrednovanje mogućih sustava pridobivanja drva obuhvaća procjenu njihove djelotvornosti u specifičnim uvjetima pojedinih šumskogospodarskih područja. Primjena određenih sustava pritom se često zasniva na standardiziranim financijskim pokazateljima i troško-

vima po jedinici proizvoda kao glavnoj mjeri učinkovitosti proizvodnje u šumarstvu. Međutim, obuhvatnije odluke o najprikladnijim sredstvima, načinima i postupcima pridobivanja drva moraju uključiti i mnogobrojne dodatne utjecajne čimbenike tj. kriterije njihovoga odabira.

Planiranje šumskih radova i donošenje odluka o šumarskim postupcima i zahvatima, njihovom obliku, trajanju, sredstvima i sl., instrumenti su od središnje važnosti, jednako za usmjeravanje rada šumskih uprava i poduzeća kao i za osiguranje javnoga interesa u gospodarenju šumama. Cilj kvalitetnog planiranja i predviđanja pritom je pružanje potpore za donošenje odluka na način da se postigne najbolji omjer inputa i outputa u gospodarenju šumama te istovre-

¹ Prof. dr. sc. Mario Šporčić, doc. dr. sc. Matija Landekić, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zavod za šumarske tehnike i tehnologije, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb, e-mail: sporcic@sumfak.hr, mlandekic@sumfak.hr

* dopisni autor – corresponding author

² Ivana Bartulac, mag. ing. silv., Lipovlje 6, 53220 Otočac, e-mail: ibartulac72@gmail.com

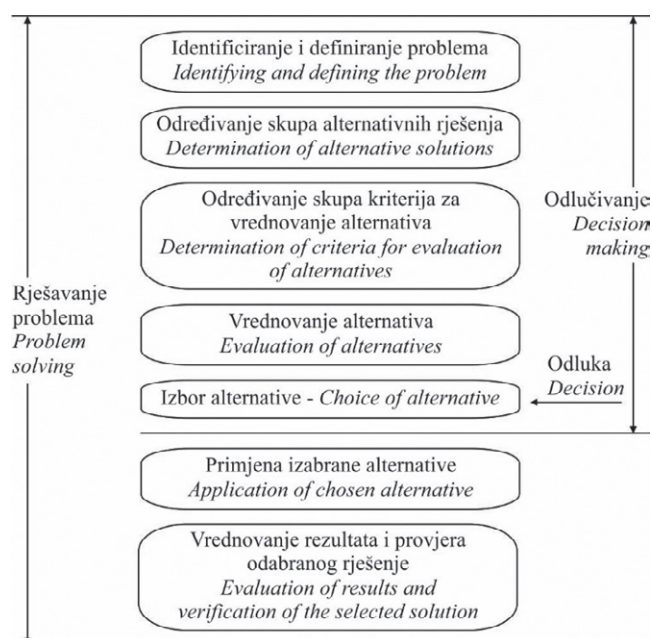
³ Prof. dr. sc. Ksenija Šegotić, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, Zavod za procesne tehnike, Svetošimunska 25, 10000 Zagreb, e-mail: segotic@sumfak.hr

meno najpovoljnije ispunje kriteriji i zahtjevi postavljeni pred određeno šumsko-gospodarsko područje. Neizostavni dio u tome svakako predstavlja i odabir odgovarajućih sustava pridobivanja drva. Kao krajnji rezultat takvih razmatranja donosi se svojevrsni plan upravljanja koji sadrži preporučeni akcijski plan za određeno šumsko područje, s predviđenim rezultatima i posljedicama njegova provođenja. Odabrani šumarski postupci te provedeni šumsko-gospodarski zahvati pritom imaju dugoročne ekonomske, ekološke i socio-kulturne učinke.

U skladu s navedenim u ovome će se radu za vrednovanje i ocjenu postojećih sustava pridobivanja drva u hrvatskom šumarstvu primijeniti postupak višekriterijskog odlučivanja. Primjenom odabrane višekriterijske metode (Analitički hijerarhijski proces – AHP) ocijeniti će se prikladnost pojedinih sustava pridobivanja drva za konkretne uvjete određene šumske sastojine te procijeniti njihova djelotvornost za predviđene šumsko-gospodarske zahvate. Cilj istraživanja je razvoj modela za višekriterijsku ocjenu pogodnosti i djelotvornosti pojedinih sustava pridobivanja drva te prikaz mogućnosti primjene AHP metode, ali i drugih metoda višekriterijskog odlučivanja, u rješavanju brojnih, složenih šumarskih pitanja i problema.

1.1 Višekriterijsko odlučivanje u šumarstvu – *Multi-criteria decision making in forestry*

Pod donošenjem odluke razumijeva se izbor neke od alternativa kojima se rješava dani problem. U problemu odlučivanja postoje ciljevi koji se žele postići odlukom, kriteriji



Slika 1. Odnos između rješavanja problema i odlučivanja (Anderson i dr. 2000)

Figure 1. Relationship between problem solving and decision making (Anderson et al. 2000)

kojima se mjeri postizanje tih ciljeva, težine kriterija koje odražavaju njihovu važnost i alternativna rješenja problema. Pod ciljem se podrazumijeva stanje sustava koje želimo postići odlukom, a kriteriji su atributi kojima se opisuju alternative. Njihova svrha je da direktno ili indirektno daju informacije o tome u kojoj mjeri se pojedinom alternativom ostvaruje željeni cilj. Svi kriteriji obično nisu jednako važni, a relativna važnost kriterija proizlazi iz preferencija donositelja odluke što je povezano s njegovim vrijednosnim sustavom i ostalim psihološkim karakteristikama. Osnovni postupci i koraci u procesu odlučivanja i rješavanja problema prikazani su na slici 1.

Višekriterijsko odlučivanje spada u široki spektar metoda operacijskih istraživanja. Njihova je primjena, zajedno s različitim tehnikama grupnog odlučivanja, posebno primjerena u slučajevima gdje je potrebno holistički razmotriti i ocijeniti različite alternative u odlukama, pri čemu je sveobuhvatna analiza naročito otežana mnogobrojnošću teško usporedivih kriterija i suprotstavljenih interesa koji utječu na proces odlučivanja. Naglasak je pritom na nužnosti da se prijedlog odluke utemelji na racionalnim argumentima.

Do danas su razvijene mnogobrojne višekriterijske metode, pri čemu svaka od njih ima svoje postavke i tehnike primjenjive u odgovarajućim situacijama. Neke od najčešćih metoda su npr.: analiza omeđivanja podataka (*Data Envelopment Analysis, DEA*), analitički hijerarhijski proces (*Analytic Hierarchy Process, AHP*), višeatributna teorija korisnosti (*Multi-Attribute Utility Theory, MAUT*), metode višeg ranga (*Outranking methods*), glasačke tehnike (*Voting methods*), analiza stohastičke višekriterijske prihvatljivosti (*Stochastic Multicriteria acceptability analysis, SMAA*) i dr. U tablici 1 prikazane su karakteristike i usporedba nekih višekriterijskih metoda. Detaljniji prikaz pojedinih metoda višekriterijskog odlučivanja moguće je pronaći u mnogobrojnim izvorima (npr. Triantaphyllou 2000, Koksalan i Zionts 2001, Posavec 2005, Kahraman 2008, Pavan i Todeschini 2009, Čaklović 2014, Sabaei i dr. 2015).

Prikazane i druge višekriterijske metode međusobno se znatno razlikuju. Niti jedna metoda nije univerzalna i najbolja, čak ni primjenjiva, u svim slučajevima. Naime, različitim situacijama i problemima najbolje odgovaraju različite metode. Izbor odgovarajuće metode zahtijeva poznavanje više modela, njihovih postavki, prednosti i ograničenja kao i karakteristika i zahtjeva specifičnih situacija i problema u planiranju i odlučivanju.

U šumarstvu su metode i tehnike višekriterijskog odlučivanja prisutne već više od 40 godina (Field 1973). Međutim, njihova značajnija primjena počinje od 1990-ih godina i brojnih u međuvremenu objavljenih višekriterijskih radova koji se u više područja bave različitim problemima šumarstva (Kangas i Kangas 2005, Herath i Prato 2006, Šporčić i dr. 2011, Segura i dr. 2014, Ezquerro i dr. 2016, Obi i Visser

Tablica 1. Karakteristike nekih metoda višekriterijskog odlučivanja (Sarkis i Weinrach 2001)**Table 1.** Multiple criteria evaluation technique characteristics (Sarkis i Weinrach 2001)

Metoda <i>Evaluation technique</i>	Troškovi primjene <i>Cost of implementation</i>	Zahtjev za podacima <i>Data requirement</i>	Osjetljivost <i>Ease of sensitivity</i>	Ekonomska valjanost <i>Economic rigor</i>	Razumljivost <i>Management understanding</i>	Matematička složenost <i>Mathematical complexity</i>	Fleksibilnost u izmjeni parametara <i>Parameter mixing-flexibility</i>
DEA	S	S	N	S	N	V	S
AHP	S	S	N	N	S	N	V
Expert systems	V	V	N	V	S	V	V
Goal program	S	S	S	V	N	V	N
MAUT	V	V	S	S	S	S	V
Outranking	S	S	N	S	N	S	S
Simulation	V	V	V	V	V	V	S
Scoring models	N	N	N	N	V	N	V

V – visoko - *high*; S – srednje - *medium*; N – nisko - *low*

2018, Ortiz-Urbina i dr. 2019, Blagojević i dr. 2019). Uvjetno određena područja šumarstvu u kojima su primijenjeni višekriterijski modeli obuhvaćaju: pridobivanje drva, prošireno iskorištavanje šuma, očuvanje biološke raznolikosti, održivo gospodarenje, pošumljavanje, regionalno planiranje, šumarsku industriju, rizik i neizvjesnost (Diaz-Balteiro i Romero 2008).

Donošenje odluke, kao proces odabira neke od alternativa kojima se rješava dani problem, u šumarstvu je naglašeno zahtjevno i složeno zbog mnogobrojnosti i širokog raspona kriterija uključenih u procese odlučivanja. Takvi utjecaji i kriteriji obuhvaćaju brojna ekonomska pitanja (proizvodnja drva, korištenje nedrvenih proizvoda, držanje stoke, lov i sl.), socijalna pitanja (rekreacijske aktivnosti, turizam, razina zaposlenosti, naseljenost ruralnih sredina i dr.) te ekološka i okolišna pitanja (erozija tla, regulacija vodotoka, bioraznolikost, pohranjivanje ugljika, tvorba krajobrazza, utjecaj na klimu i dr.). Odabir optimalnog sustava pridobivanja drva u procesu šumarske proizvodnje upravo je primjer takvih odluka.

2. MATERIJAL, METODE I CILJEVI MATERIAL, METHODS AND AIMS

Za istraživanje je kao odgovarajuća višekriterijska metoda odabran Analitički hijerarhijski proces (AHP), a vrednovanje postojećih sustava pridobivanja drva provedeno je s obzirom na njihovu moguću primjenu u proredi bjelogoričnih sastojina na području UŠP Bjelovar, Šumarija Bjelovar. Ispitivanje je provedeno tijekom 2018. godine. U nastavku će se detaljnije prikazati AHP metoda kao i područja istraživanja.

2.1 Područje istraživanja – *Research area*

Područje istraživanja za koje su odabrani ispitanici prema postavljenim kriterijima procjenjivali pogodnost pojedinih

sustava pridobivanja drva predstavljaju odsjeci 14b i 14c gospodarske jedinice (GJ) »Bjelovarska Bilogora« u Šumariji Bjelovar. Područje istraživanja (odsjeci 14b i 14c) u nastavku je opisano prema podacima Osnove gospodarenja za GJ »Bjelovarska Bilogora« iz 2013. godine (Hrvatske šume 2013).

Odsjek 14 b prostire se na površini od 18,28 ha, uređajnog razreda običnog graba starosti 79 godina na II bonitetu. Propisana ophodnja je 70 godina. Nalazi se na nadmorskoj visini 100 m, zapadne ekspozicije i nagiba 3-9 %. Vegetaciju obilježavaju zajednice šuma lužnjaka i običnog graba s bukvom, obrasta 1,23. Sklop je potpun, a drvena zaliha iznosi 291,58 m³/ha, odnosno 5330 m³ u odsjeku. Hrast lužnjak čini 18,16 m³/ha, hrast kitnjak 3,72 m³/ha, obična bukva 17,34 m³/ha, obični grab 243,71 m³/ha, OTB 0,33 m³/ha i crna joha 8,32 m³/ha. Broj stabala iznosi 784 po ha, dok temeljnica iznosi 28,88 m²/ha. Srednje plošno stablo je promjera 21,60 cm, dok je godišnji tečajni prirast 7,49 m³/ha, odnosno 137 m³ u odsjeku. Prema osnovi gospodarenja u odsjeku treba obaviti proredu intenzitetom 11,67 %, odnosno 34,03 m³/ha, od toga običnog graba 32 m³/ha i obične bukve 2,02 m³/ha. Za sječu je, u 2017. godini, doznačeno 1.782 stabla (731,24 m³), sječne gustoće 98 stabala/ha (40 m³/ha), sa srednjim promjerom doznačenih stabala 21,7 cm i planiranom srednjom udaljenosti primarnog transporta 250 m.

Odsjek 14 c prostire se na površini od 9,07 ha, uređajnog razreda obične bukve starosti 79 godina na I bonitetu. Propisana ophodnja iznosi 100 godina. Nalazi se na nadmorskoj visini 150-175 m, jugo-zapadne ekspozicije i prosječnog nagiba 3-9 %. Šumsku zajednicu čini submontanska bukova šuma s trepavičastim šašem. Sklop je potpun, obrast 1,06. Drvena zaliha iznosi 3681 m³, odnosno 405,84 m³/ha, od čega hrast lužnjak čini 7,94 m³/ha, hrast kitnjak 16,54 m³/ha, obična bukva 201,76 m³/ha i obični grab 179,60 m³/ha. Temeljica iznosi 30,98 m², broj stabala je 540 po ha.



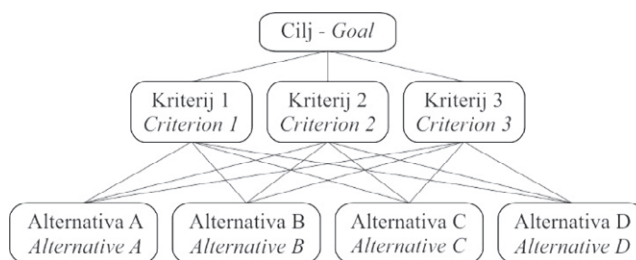
Slika 2. Odsjeci 14b i 14c, GJ „Bjelovarska Bilogora“
Figure 2. Forest compartments 14b and 14c, Forest management unit „Bjelovarska Bilogora“

Srednje plošno stablo je promjera 30,98 cm, dok je godišnji tečajni prirast $9,70 \text{ m}^3/\text{ha}$, odnosno 88 m^3 u odsjeku. Prema propisu osnove gospodarenja za prvo polurazdoblje u odsjeku treba obaviti proredu intenziteta 11,08 %, odnosno $44,98 \text{ m}^3/\text{ha}$, od toga obične bukve $19,96 \text{ m}^3/\text{ha}$ i običnog graba $25,03 \text{ m}^3/\text{ha}$. Za sječu je, u 2017. godini, doznačeno 559 stabala ($446,3 \text{ m}^3$), sječne gustoće 62 stabla/ha ($49 \text{ m}^3/\text{ha}$), sa srednjim promjerom doznačenih stabala 26,4 cm i planiranom srednjom udaljenosti primarnog transporta 550 m.

2.2 Analitički hijerarhijski proces (AHP) – Analytic Hierarchy Process (AHP)

Nakon usporedbe i analize više različitih metoda, za potrebe istraživanja je kao primjerena odabrana AHP metoda ili Analitički hijerarhijski proces. AHP, prvotno razvijen od Saaty-a (1977, 1980) je često primjenjivana i vrlo popularna metoda u mnogim područjima, uključujući i gospodarenje prirodnim resursima. Mendoza i Sprouse (1989), Murray i Gadow (1991), Kangas (1992) neki su od autora koji su AHP primijenili u šumarstvu, a broj aplikacija se kontinuirano povećava (Ananda i Herath 2003, Wolfslehner i dr. 2005, Šegotić i dr. 2003, 2007, Dodson i dr. 2006, Posavec i dr. 2006, Nilsson i dr. 2016, Jazbec i dr. 2016, Lakicevic i dr. 2018).

U usporedbi s drugim metodama, AHP ima nekoliko prednosti sa stajališta višekriterijskog i grupnog odlučivanja. U rješavanju problema odlučivanja objektivne informacije, stručno znanje i subjektivne preferencije se pomoću AHP metode mogu uzeti u razmatranje skupno i istovremeno. Također se u obzir mogu uzeti i kvalitativni kriteriji, dok



Slika 3. Hijerarhijska struktura AHP metode
Figure 3. Hierarchical structure of AHP

ostale metode obično traže kvantitativne kriterije za izbor neke od alternativa.

Rješavanje složenih problema odlučivanja pomoću ove metode temelji se na njihovom rastavljanju na komponente: cilj, kriterije (podkriterije) i alternative. Ti elementi se potom povežu u model s više razina (*hijerarhijsku strukturu*) pri čemu je na vrhu cilj, a na prvoj nižoj razini su glavni kriteriji (slika 3). Druga važna sastavnica AHP metode je matematički model pomoću kojeg se računaju prioriteta (težine) elemenata koji su na istoj razini hijerarhijske strukture. Temeljni matematički alat koji se koristi u AHP metodi pritom su matrice.

Velika popularnost i česta primjena AHP metode se temelji na tome što je vrlo bliska načinu na koji pojedinac intuitivno rješava složene probleme rastavljajući ih na jednostavnije. Primjena AHP se jednostavno može se objasniti u četiri osnovna koraka (Begičević 2008):

1. Razvije se hijerarhijski model problema odlučivanja s ciljem na vrhu, kriterijima i podkriterijima na nižim razinama, te alternativama na dnu modela.
2. Na svakoj razini hijerarhijske strukture u parovima se međusobno uspoređuju elementi te strukture, pri čemu se preferencije donositelja odluke izražavaju uz pomoć Saatyevе skale relativne važnosti koja ima 5 stupnjeva i 4 međustupnja verbalno opisanih intenziteta i odgovarajuće numeričke vrijednosti u rasponu od 1-9.
3. Iz procjena relativnih važnosti elemenata odgovarajuće razine hijerarhijske strukture problema pomoću matematičkog modela izračunavaju se lokalni prioriteta (težine) kriterija, podkriterija i alternativa, koji se zatim sintetiziraju u ukupne prioriteta alternativa. Ukupni prioritet pojedine alternative izračunava se tako da se zbroje njezini lokalni prioriteta ponderirani s težinama elemenata više razine.
4. Provodi se analiza osjetljivosti.

Za rješavanje problema višekriterijskog odlučivanja u provedenom istraživanju korišten je Programski paket Expert Choice koji se temelji na matematičkoj teoriji analitičko hijerarhijskog procesa.

2.3 Ciljevi istraživanja – *Research objectives*

Višekriterijska analiza sustava pridobivanja drva ima za cilj razvoj podloga koje će uz predložene kriterije omogućiti obuhvatniju ocjenu postojećih sustava pridobivanja drva i njihovo objektivno rangiranje s obzirom na glavne utjecajne čimbenike određenih reljefnih područja šuma. Ocjena promatranih sustava pridobivanja drva pritom se temelji na utvrđivanju glavnih kriterija njihovoga vrednovanja te višekriterijskoj analizi i usporedbi njihove pogodnosti i djelotvornosti za obavljanje planiranih zadaća u konkretnim uvjetima odabrane šumske sastojine. Osnovne zadaće istraživanja bile su:

- definirati postojeće sustave pridobivanja drva (alternative)
- utvrditi kriterije i podkriterije za ocjenu i vrednovanje alternativa
- oblikovati odgovarajući anketni upitnik i provesti ispitivanje među šumarskim stručnjacima
- obraditi upitnike, analizirati odgovore ispitanika te utvrditi rangove alternativa
- donijeti prijedlog odluke o odabiru najpogodnijeg sustava pridobivanja drva.

Doprinos provedenog istraživanja ogleda se kroz: 1) razvoj i primjenu novih metoda i tehnika u vrednovanju šumarskih tehnologija i postupaka, čime se pridonosi cjelovitijoj ocjeni uspješnosti radnih i proizvodnih procesa u šumarstvu, 2) pružanje podloga za donošenje odluka o pogodnim sustavima pridobivanja drva s obzirom na glavne utjecajne čimbenike njihova odabira i primjene, čime se iskazuje primjenjivost istraživanja u racionalizaciji proizvodnje drva te transfer znanja u gospodarstvo.

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA RESEARCH RESULTS

U izradi višekriterijskog modela za ocjenu djelotvornosti sustava pridobivanja drva kao uspoređivane alternative (A) definirani su sljedeći sustavi:

- Sustav 1 (A1) – Sjekač i adaptirani poljoprivredni traktor (APT)
- Sustav 2 (A2) – Sjekač i skider s vitlom
- Sustav 3 (A3) – Sjekač i traktorska ekipaža
- Sustav 4 (A4) – Sjekač i forvarder
- Sustav 5 (A5) – Harvester i forvarder
- Sustav 6 (A6) – Sjekač i vučena žičara
- Sustav 7 (A7) – Sjekač i kamionska žičara

Navedeni sustavi međusobno se razlikuju po više značajki kao što su: način kretanja drva, način prihvata drva, pogodna metoda i mjesto izradbe (dorade) drva, potreba za prostranim stovarištima, potreba za pomoćnim radnikom, razina osposobljenosti radnika, osjetljivost na nagib terena, prikladnost pridobivanja tankih/debelih stabala, mogućnost oštećenja šumskog tla, dubećih stabala i dr. Prikaz osnovnih značajki sustava, kako je to definirano Smjernicom za izradu Elaborata radilišta za radove u šumarstvu Hrvatske komore inženjera šumarstva i drvne tehnologije (HKIŠDT 2015, str. 6), bio je sastavnim dijelom tj. prilogom oblikovanog anketnog upitnika.

Kao kriteriji i podkriteriji za ocjenu alternativa i odabir sustava pridobivanja drva definirani su parametri prikazani u tablici 2.

Navedeni podkriteriji su radi olakšavanja pojedinačnih usporedbi i odgovora ispitanika u upitniku dodatno opisani pripadajućim čimbenicima tj. pokazateljima.

Anketni upitnik za 'Odabir sustava pridobivanja drva AHP metodom' sastavljen je od nekoliko dijelova. Nakon uvodnog dijela s potrebnim uputama i pojašnjenjima za ispitanike, u prvom dijelu ispitanici usporedbom u parovima iskazuju relativna važnost tj. prioritet postavljenih kriterija. U drugom dijelu ispitanici unutar svakog kriterija ocjenjuju relativnu važnost pojedinih podkriterija. U trećem dijelu se usporedbom u parovima iskazuje relativna važnost definiranih sustava pridobivanja drva s obzirom na svaki od postavljenih pod/kriterija. Na slici 4 prikazan je dio ispunjenoga anketnoga upitnika.

Tablica 2. Postavljeni kriteriji za ocjenu sustava pridobivanja drva

Table 2. Set criteria for evaluating timber harvesting systems

Kriteriji – <i>Criteria</i>	Podkriteriji – <i>Sub-criteria</i>
Tehnološko-biološki <i>Technology-biological</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Struktura doznačenog drva – <i>Structure of timber</i> • Prometnost i prohodnost terena – <i>Terrain trafficability and passability</i> • Primarna i sekundarna otvorenost – <i>Primary and secondary openness</i>
Ekonomski <i>Economical</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Proizvodnost – <i>Productivity</i> • Ekonomičnost – <i>Cost-effectiveness</i>
Ekološki <i>Ecological</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Oštećenje staništa (tlo, voda) – <i>Habitat damage (soil, water)</i> • Oštećenje sastojine (dubeća stabla, pomladak) – <i>Damage to the stand (standing trees, seedlings)</i> • Onečišćenje i zagađenje okoliša – <i>Environmental pollution and contamination</i>
Ergonomski <i>Ergonomical</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Fizičko opterećenje radnika – <i>Workers' physical workload</i> • Radni okoliš (buka, vibracije, ozljede...) – <i>Working environment (noise, vibration, injuries...)</i>
Energijski – <i>Energy</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Potrošnja goriva, maziva, rezervnih dijelova – <i>Consumption of fuel, lubricants, spare parts</i>
Estetski – <i>Aesthetic</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Krajobraz i socijalna funkcija šume – <i>Landscape and social function of forest</i>

II. Usporedba u parovima – Podkriteriji (s obzirom na kriterij kojem pripadaju):

TEHNOLOŠKO-BIOLOŠKI	
	9 7 5 3 1 3 5 7 9
Struktura doznačenog drva	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Prometnost i prohodnost terena
Struktura doznačenog drva	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Primarna i sekundarna otvorenost
Prometnost i prohodnost terena	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Primarna i sekundarna otvorenost

EKONOMSKI	
	9 7 5 3 1 3 5 7 9
Proizvodnost	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Ekonomičnost

EKOLOŠKI	
	9 7 5 3 1 3 5 7 9
Oštećenje staništa (tlo, voda)	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Oštećenje sastojine (dub. stabla...)
Oštećenje staništa (tlo, voda)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Onečišćenje i zagađenje okoliša
Oštećenje sastojine (dub. stabla...)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Onečišćenje i zagađenje okoliša

ERGONOMSKI	
	9 7 5 3 1 3 5 7 9
Fizičko opterećenje radnika	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Radni okoliš (buka, vibracije...)

III. Usporedba u parovima – Alternative (s obzirom na pojedini podkriterij):

STRUKTURA DOZNAČENOG DRVA	
	9 7 5 3 1 3 5 7 9
Sjekač i APT	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Sjekač i skider s vitlom
Sjekač i APT	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Sjekač i traktorska ekipaža
Sjekač i APT	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Sjekač i forvarder
Sjekač i APT	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Harvester i forvarder
Sjekač i APT	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Sjekač i vučena žičara
Sjekač i APT	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i skider s vitlom	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Sjekač i traktorska ekipaža
Sjekač i skider s vitlom	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Sjekač i forvarder
Sjekač i skider s vitlom	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Harvester i forvarder
Sjekač i skider s vitlom	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Sjekač i vučena žičara
Sjekač i skider s vitlom	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i traktorska ekipaža	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Sjekač i forvarder
Sjekač i traktorska ekipaža	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Harvester i forvarder
Sjekač i traktorska ekipaža	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Sjekač i vučena žičara
Sjekač i traktorska ekipaža	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i forvarder	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Harvester i forvarder
Sjekač i forvarder	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Sjekač i vučena žičara
Sjekač i forvarder	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Sjekač i kamionska žičara
Harvester i forvarder	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Sjekač i vučena žičara
Harvester i forvarder	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Sjekač i kamionska žičara
Sjekač i vučena žičara	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Sjekač i kamionska žičara

Slika 4. Prikaz dijela ispunjenog anketnog upitnika
Figure 4. Part of the completed survey questionnaire

U usporedbi parova primijenjena je Saaty-eva skala relativne važnosti (Tablica 3).

Tablica 3. Saaty-eva skala za određivanje relativnih važnosti tj. preferencija
Table 3. Saaty's scale for determining relative importance i.e. preferences

Ocjena prioriteta <i>Intensity of importance</i>	Opisna ocjena prioriteta <i>Definition</i>	Objašnjenje <i>Explanation</i>
1	Jednaki prioritet <i>Equal importance</i>	Dvije aktivnosti/opcije jednako doprinose cilju <i>Two elements contribute equally to the objective</i>
3	Umjereni prioritet <i>Moderate importance</i>	Na osnovi iskustva i procjene, daje se mala prednost jednoj aktivnosti/opciji <i>Experience and judgement moderately favor one element over another</i>
5	Jaki prioritet <i>Strong importance</i>	Na osnovi iskustva i procjene, daje se jaka prednost jednoj aktivnosti/opciji <i>Experience and judgement strongly favor one element over another</i>
7	Vrlo jaki prioritet <i>Very strong importance</i>	Jedna aktivnost/opcija se strogo favorizira u odnosu na drugu i njezina dominacija dokazana je u praksi <i>One element is favored very strongly over another, its dominance is demonstrated in practice</i>
9	Apsolutni prioritet <i>Extreme importance</i>	Na najvećoj mogućoj razini dokazana je prednost jedne aktivnosti/opcije u odnosu na drugu <i>The evidence favoring one element over another is of the highest possible order of affirmation</i>

* Međuvrijednosti na Saaty-ovoj skali (2, 4, 6, 8) predstavljaju kompromis između odgovarajućih susjednih vrijednosnih procjena
Intermediate values on Saaty's scale (2, 4, 6, 8) represent a compromise between the corresponding neighboring value estimates

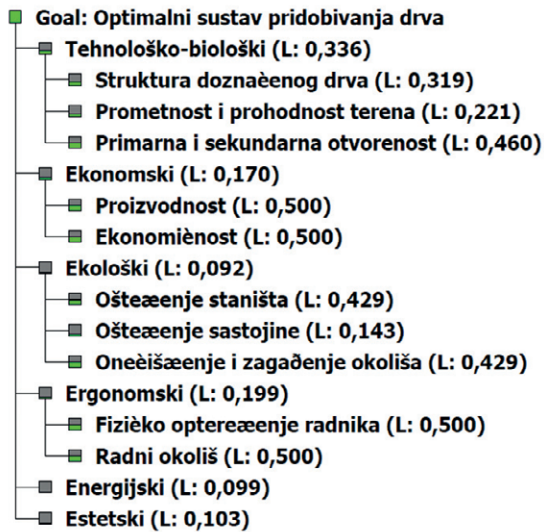
3.1 Višekriterijska ocjena sustava pridobivanja drva – *Multicriteria evaluation of harvesting systems*

Za sudionike u istraživanju (ispitanike) odabrani su šumarski stručnjaci koji su dobro upoznati s značajkama šumskih odjela/odsjeka na koje se odnosi ispitivanje te planiranim proizvodnim zadaćama u njima. Oni su, naime, 2017. godine u šumariji Bjelovar prisustvovali prezentaciji stručnoga projekta „Optimizacija sustava pridobivanja drva i šumske prometne infrastrukture na strateško-taktičkoj razini planiranja“, sastavni dio kojega je bila i višekriterijska ocjena sustava pridobivanja drva. Na temelju toga početkom 2018. godine anketni upitnik je upućen na adrese 38 šumarskih stručnjaka (predstavnicima Ministarstva poljoprivrede, voditelji proizvodnih odjela i stručni suradnici za iskorištavanje šuma u Hrvatskim šumama d.o.o.). Do kraja travnja 2018. godine ispunjeno je i vraćeno ukupno 8 upitnika. Zbog nedovoljne konzistentnosti u odgovorima jednoga dijela ispitanika provedene analize obuhvatile su odgovore samo tri ispitanika. U nastavku se radi ilustracije rezultata prikazuju nalazi ispitivanja jednoga ispitanika te utvrđena skupna ocjena (rang) promatranih alternativa prema odgovorima svih ispitanika. Programskim alatom Expert Choice utvrđeni i vizualizirani rezultati obuhvaćaju: relativne težine definiranih kriterija (slika 5), hijerarhijski model problema odlučivanja s težinama kriterija i podkriterija (slika 6), sintezu podataka za odabir optimalnog sustava pridobivanja drva - rang uspoređivanih alternativa (slika 7), te analizu osjetljivosti rezultata (slika 8).

Na prikazanom primjeru vidljivo je da je najveća težina u odabiru optimalnog sustava pridobivanja drva pridana tehnološko-biološkim (L: 0,336), a zatim ergonomskim (L: 0,199) i ekonomskim kriterijima (L: 0,170). Najmanja je važnost u ovom slučaju dodijeljena ekološkim (L: 0,092), ener-

	Teh	Eko	Eko	Erg	Ene	Est
Tehnološki		3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Ekonomski			1,0	1,0	3,0	3,0
Ekološki				1,0	3,0	3,0
Ergonomski					5,0	3,0
Energijski						1,0
Estetski	Inc					

Slika 5. Relativne važnosti promatranih kriterija
Figure 5. Relative importance of the set criteria



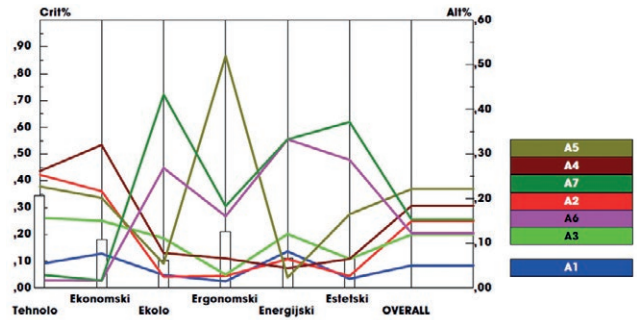
Slika 6. Hijerarhijski model problema odlučivanja za odabir optimalnog sustava pridobivanja drva
Figure 6. Hierarchy structure of decision problem for choosing the optimal wood harvesting system

A1	0,050
A2	0,149
A3	0,120
A4	0,184
A5	0,221
A6	0,123
A7	0,153

Slika 7. Sinteza podataka za odabir optimalnog sustava pridobivanja drva - rang uspoređivanih alternativa
Figure 7. Synthesis of data for selecting the optimal wood harvesting system - ranking of alternatives

gijskim (L: 0,099) i estetskim kriterijima (L: 0,103). Unutar tehnološko-bioloških kriterija primarna i sekundarna otvorenost (L: 0,460) je ocijenjena kao najvažniji kriterij za odabir i primjenu određenog sustava pridobivanja drva.

Na temelju utvrđenih težina kriterija i podkriterija određeni su ukupni prioriteti i rangovi uspoređivanih alternativa - sustava pridobivanja drva (slika 7). Kao najpogodniji sustav pridobivanja drva za promatrano sastojinu/radilište i definirane kriterije ocijenjen je sustav Harvester i forvarder, odnosno alternativa A5 s rezultatom 0,221. Za njim slijede sustav Sjekač i forvarder (A4) – 0,184, Sjekač i kamionska žičara (A7) – 0,153 te Sjekač i skider s vitlom (A2) – 0,149.

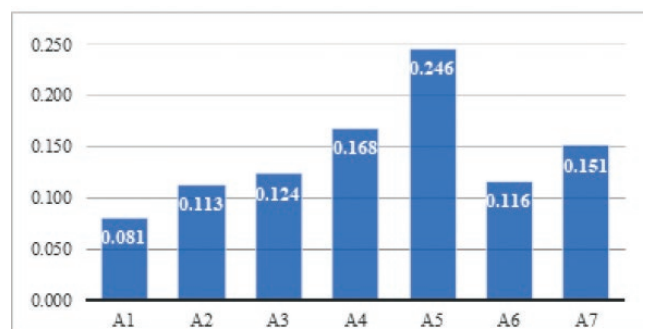


Slika 8. Analiza osjetljivosti za odabir optimalnog sustava pridobivanja drva
Figure 8. Performance sensitivity graph for selecting the optimal wood harvesting system

Najlošije ocijenjenu alternativu predstavlja sustav Sjekač i adaptirani poljoprivredni traktor (A1) – 0,050.

Također je provedena analiza osjetljivosti pomoću koje se provjerava stabilnost dobivenih rezultata, odnosno koja pokazuje koliko promjene u važnosti kriterija mogu promijeniti izlazne rezultate (slika 8). Na istom prikazu vidljive su utvrđene težine pojedinih kriterija kao i rangovi uspoređivanih alternativa po svakom od postavljenih kriterija i ukupno.

Na temelju nalaza istraživanja za analizirane ispitanike, skupna ocjena uspoređivanih alternativa određena je kao jednostavna aritmetička sredina njihovih pojedinačnih ocjena za svaku promatrano alternativu. Na taj način je određen konačan rang alternativa i prijedlog odluke o odabiru optimalnog sustava pridobivanja drva za obavljanje opisanih zadataka u odsjecima 14b i 14c gospodarske jedinice Bjelovarska Bilogora u Šumariji Bjelovar (slika 9). Valja napomenuti da su sva tri ispitanika kao najpogodniji sustav pridobivanja drva istaknuli alternativu A5, odnosno sustav pridobivanja drva koji čine Harvester i forvarder (0,246). Kao druga najpogodnija opcija utvrđena je alternativa A4 tj. sustav Sjekač i forvarder (0,168). Najlošijom opcijom za obavljanje predviđenih zadataka u promatranoj sastojini ocijenjena je alternativa A1, odnosno sustav Sjekač i adaptirani poljoprivredni traktor, APT (0,081). Također, sva tri ispi-



Slika 9. Skupni rezultat i ocjena uspoređivanih alternativa
Figure 9. Overall result and evaluation of the alternatives compared

tanika se najvažnijim kriterijem u odabiru optimalnog sustava pridobivanja drva istaknula tehnološko-biološke kriterije, dok se među kriterijima s najmanje pridane važnosti nalaze energijski i estetski kriteriji. Skupni rezultat i rang uspoređivanih alternativa prikazan je na slici 9.

4. RASPRAVA I ZAKLJUČCI DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Provedeno istraživanje imalo je za cilj testiranje i izradu višekriterijskog modela za usporedbu i ocjenu (rangiranje) postojećih sustava pridobivanja drva te donošenje odluke o najpogodnijim sustavima pridobivanja drva za konkretne uvjete pojedinih šumskih sastojina (radilišta). U tu svrhu definirane su pojedine alternative (sustavi pridobivanja drva), utvrđeni su kriteriji i podkriteriji za njihovu ocjenu, izrađen je odgovarajući anketni upitnik, provedeno je ispitivanje među šumarskim stručnjacima te su analizirani odgovori ispitanika.

Kao pogodna višekriterijska metoda za provedbu istraživanja odabran je Analitički Hijerarhijski proces (AHP). AHP metoda je zasnovana na usporedbi u parovima – usporedbi parova kriterija gdje se iskazuje njihova važnost ili težina, te usporedbi parova alternativa pri čemu se izražava intenzitet ili stupanj preferencije jedne alternative u odnosu na onu s kojom se uspoređuje po nekom kriteriju.

Popularnost AHP metode ponajprije se temelji na tome što je vrlo bliska načinu na koji pojedinac intuitivno rješava složene probleme rastavljajući ih na jednostavnije. AHP pritom polaze od ideje usporedbe parova kao praktičnoga, pedagoškog i intuitivnog pristupa. Nedostatak je u tome što metoda ne dozvoljava oklijevanje i iskazivanje nesigurnosti u usporedbama, a složenost problema i broj potrebnih usporedbi značajno raste s brojem kriterija i brojem alternativa. Također, odabir ispitanika koji sukladno vlastitim preferencijama, razini obrazovanja, području rada i drugim karakteristikama vrednuju postavljene kriterije i alternative može unaprijed utjecati na rezultate istraživanja te predstavlja element unošenja subjektivnosti u analize.

Provedeno ispitivanje i ispunjeni anketni upitnici poslužili su kao ulazni podaci za višekriterijsku analizu AHP metodom. Na taj se način obuhvaćanjem različitih stajališta nastojalo ujediniti rezultate i doprinijeti donošenju racionalne kolektivne odluke te izboru optimalnog sustava pridobivanja drva za konkretnu šumsku sastojinu/radilište. Ograničenje pritom svakako predstavlja slab odaziv ispitanika te nekonzistentni odgovori pa rezultate u tom smislu treba prihvatiti uvjetno. Za analizu prikupljenih podataka korišten je programski paket Expert Choice, a glavni rezultati provedenih ispitivanja predstavljeni su sljedećim nalazima:

– najpogodnijom opcijom, tj. sustavom pridobivanja drva za obavljanje predviđenih zadaća u promatranjnoj sastojini, ocijenjena je alternativa A5 – Harvester i forvarder

– drugi najpogodniji sustav pridobivanja drva, za obavljanje predviđenih zadaća u promatranjnoj sastojini, predstavlja alternativa A4 – Sjekač i forvarder

– najlošije rangirani sustav pridobivanja drva predstavlja alternativa A1 – Sjekač i adaptirani poljoprivredni traktor

– kao najvažniji kriterij u odabiru optimalnog sustava pridobivanja drva istaknuti su tehnološko-biološki kriteriji.

Kod razvoja višekriterijskog modela i njegovoj primjeni u oblikovanju šumskih radova, odabiru optimalnog sustava pridobivanja drva i sl., mnogostruki se kriteriji ne mogu promatrati odvojeno jedni od drugih. Naime, ekološkim, socijalnim, estetskim, rekreativnim i drugim kriterijima se pridaje sve veća važnost. Istovremeno raste potreba za što učinkovitijim obavljanjem šumskih radova te smanjenjem njihovog štetnog utjecaja na zdravlje i radnu sposobnost radnika. Neophodno je dakle, pronaći mehanizme (načine) koji će u najboljoj mjeri ispuniti navedene uvjete i osigurati održivi razvoj šuma i šumarstva. Primjena višekriterijskih metoda (AHP i dr.) u odlučivanju u šumarstvu jedan je od mogućih načina dostizanja postavljenih ciljeva gospodarenja šumama. Nedostatak je u tome što uključivanjem većeg broja kriterija i alternativa, potrebni upitnici i analize postaju presloženi i prezahtjevni, te je neophodno utvrditi manji broj doista ključnih kriterija. Isto je dijelom pokazalo i ovo istraživanje.

Rezultati rada šumarskim stručnjacima mogu poslužiti kao potpora u donošenju odluka i posredno djelovati na odabir i primjenu određenih sustava pridobivanja drva. Istraživačka zadaća je time ispunjena, a oblikovani višekriterijski pristup model koji može ponuditi obuhvatnije podloge za odlučivanje o najprikladnijim tehnologijama i sredstvima rada na brojnim različitim radilištima u hrvatskom šumarstvu. AHP je pritom snažan i fleksibilan postupak za donošenje odluka koji, svođenjem kompleksnog odlučivanja na usporedbu između parova kriterija tj. alternativa, pomaže u određivanju prioriteta i dovodi do optimalne, na racionalnim argumentima utemeljene odluke. Razvoj i primjena AHP i drugih višekriterijskih metoda u tom smislu može biti vrijedna pomoć na strateškoj i operativnoj razini odlučivanja u šumarstvu.

4. LITERATURA REFERENCES

- Ananda, J., Herath, G., 2003: The use of Analytic Hierarchy Process to incorporate stakeholder preferences into regional forest planning. *Forest Policy and Economics*, 5, (1): 13-26.
- Anderson, D.R., Sweeney, D.J., Williams, T.A., 2000: *An Introduction to Management Science: Quantitative Approaches to Decision Making*, South-Western College Publishing, 900 p.
- Begičević, N., 2008: Višekriterijski modeli odlučivanja u strateškom planiranju uvođenja e-učenja. *Disertacija*, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet organizacije i informatike Varaždin, 228 str.

- Blagojević, B., Jonsson, R., Bjorheden, R., Nordstrom, E.-M., Lindross, O., 2019: Multi-criteria decision analysis (MCDA) in forest operations – an introductory review. *Croatian Journal of Forest Engineering* 40(1): 191-205.
- Čaklović, L., 2014: Teorija vrednovanja s naglaskom na metodu potencijala. Monografija, SLAP, Zagreb, 615 str.
- Diaz-Balteiro, L., Romero, C., 2008: Making forestry decisions with multiple criteria – a review and an assessment. *Forest ecology and management* 255 (8-9): 3222-3241.
- Dodson, E., Coakley, J., Sessions, J., 2006: The Analytic hierarchy process: A tutorial for use in prioritizing forest road investments to minimize environmental effects. *International Journal of Forest Engineering* 17(2): 51-69.
- Ezquerro, M., Pardos, M., Diaz-Balteiro, L., 2016: Operational research techniques used for addressing biodiversity objectives into forest management: An overview. *Forests* 7(10): 229-247
- Field, D.B. 1973: Goal programming for forest management. *Forest Science* 19 (2): 125-135.
- Herath, G., Prato, T., 2006: Using multi-criteria decision analysis in natural resource management. Ashgate publishing, 256 p., Hampshire, England
- Hrvatske komore inženjera šumarstva i drvne tehnologije (HKIŠDT), 2015: Smjernica za izradu Elaborata radilišta za radove u šumarstvu, Zagreb, 10 str.
- Hrvatske šume d.o.o., 2013: Osnove gospodarenja za GJ »Bjelovarska Bilogora«
- Jazbec, A., Šegotić, K., Motik, D., 2016: Decision making on a product line in furniture industry using survey results, correspondence analysis and AHP. *The Business&Management Review* 6 (2): 92.
- Kahraman, C., 2008: Fuzzy multi-criteria decision making: theory and applications with recent developments. 591 p., Berlin/Heidelberg
- Kangas, J., 1992: Multiple-use planning of forest resources by using analytic hierarchy process. *Scan. J. For. Res.*, 7: 259-268.
- Kangas, J., Kangas, A., 2005: Multiple criteria decision support in forest management – the approach, methods applied, and experiences gained. *Forest ecology and management* 207 (1-2): 133-143.
- Koksalan, M.M., Zionts, S., 2001: Multiple criteria decision making in the new millennium. Springer, 478 p., Berlin/Heidelberg
- Lakicevic, M., Srdjevic, B., Velichkov, I., 2018: Combining AHP and Smarter in forestry decision making. *Baltic Forestry* 24(1):42-49.
- Mendoza, G.A., Sprouse, W., 1989: Forest planning and decision making under fuzzy environments: an overview and illustrations. *For. sci.*, 35: 481-502.
- Murray, D.M., Gadow, K., 1991: Prioritizing mountain catchment areas. *J. environ. manage.*, 32: 357-366.
- Nilsson, H., Nordström E.-M., Öhman, K., 2016: Decision support for participatory forest planning using AHP and TOPSIS. *Forests* 7(5):100. <https://doi.org/10.3390/f7050100>
- Obi, O.F., Visser, R., 2018: Including exogenous factors in the evaluation of harvesting crew technical efficiency using a multi-step Data envelopment analysis procedure. *Croatian Journal of Forest Engineering* 39(2): 153-162.
- Ortiz-Urbina, E., González-Pachón, J., Diaz-Balteiro, L., 2019: Decision-making in forestry: A review of the hybridisation of multiple criteria and group decision-making methods. *Forests* 10(5): 375.
- Pavan, M., Todeschini, R., 2009: Multicriteria decision making methods. *Comprehensive chemometrics* 1: 591-629.
- Posavec, S., 2005: Dinamički modeli utvrđivanja vrijednosti šuma. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 134 str.
- Posavec, S., Šegotić, K., Čaklović, L., 2006: Selection of biological parameters in evaluation of natural resources. *Periodicum biologicum* 108 (6): 671-676.
- Saaty, T.L., 1977: A scaling method for priorities in hierarchical structures. *J.mathemat.psych.* 15: 234-281.
- Saaty, T.L., 1980: The analytical hierarchy process. McGraw-Hill, New York.
- Sabaei, D., Erkoyuncu, J., Rajkumar, R., 2015: A review if multicriteria decision making methods for enhanced maintenance delivery. *Procedia CCIRP* 37: 30-35.
- Sarkis, J., Weinrach, J., 2001: Using data envelopment analysis to evaluate environmentally conscious waste treatment technology. *Journal of Cleaner Production*, 9 (5): 417-427.
- Segura, M., Ray, D., Maroto, C., 2014: Decision support systems for forest management: A comprehensive analysis and assesment. *Computer and Electronics in Agriculture* 101: 55-67.
- Šegotić, K., Šporčić, M., Martinić, I., 2003: The choice of a working method in forest stand thinning. *SOR '03 Proceedings – The 7th International Symposium on Operational Research in Slovenia, Podčetrtek, Slovenia, September 24-26, 2003.*, p. 153-159.
- Šegotić, K., Šporčić, M., Martinić, I., 2007: Ranking of the mechanisation working units in the forestry of Croatia. *SOR '07, Proceedings of the 9th International Symposium on Operational Research, Nova Gorica, Slovenia, September 26-28, 2007.*, p. 247-251.
- Šporčić, M., Landekić, M., Lovrić, M., Martinić, I., 2011: Modeli planiranja i odlučivanja u šumarstvu. *Croatian Journal of Forest Engineering* 32(1): 443-456.
- Triantaphyllou, E., 2000: Multi-criteria decision making methods: a comparative study. Kluwer, 288 p., Dordrecht, Netherlands
- Wolfslehner, B., Vacik, H., Lexer, M.J., 2005: Application of the analytic network process in multi-criteria analysis of sustainable forest management. *Forest Ecology and Management*, 207 (1-2): 157-170

SUMMARY

Decision-making, as a process of selecting some of the alternatives to solve a given problem, in forestry is extremely demanding because of the multiplicity and wide range of criteria involved in the decision-making process. Such interests and criteria cover a number of economic issues, social issues, environmental and ecological issues. The application of different multicriteria decision-making meth-

ods in such situations can be an important and potentially good way of addressing many forestry issues and problems. Multicriteria decision-making has been present in forestry for more than 40 years, however, more significant application has begun in the 1990s and numerous, in the meantime published multi-criteria papers dealing with different forestry issues in various areas. In this paper, a multicriteria procedure – Analytic hierarchy process (AHP) was used to evaluate the existing timber harvesting systems in Croatian forestry. The AHP, introduced by Thomas Saaty (1980), is an effective tool for dealing with complex decision making. By reducing complex decisions to a series of pairwise comparisons, and then synthesizing the results, the AHP helps to capture both subjective and objective aspects of a decision. In this way it aids the decision maker to set priorities and make the optimal decision. By using the AHP method, the appropriateness of particular timber harvesting systems for the specific conditions of selected forest stand and planned production tasks (thinning) was evaluated. The study included a comparison of seven different timber harvesting systems, i.e. alternatives: 1) Logger and adapted farm tractor, 2) Logger and skidder with winch, 3) Logger and forestry trailer with crane, 4) Logger and forwarder, 5) Harvester and forwarder, 6) Logger and mobile tower yarder, 7) Logger and cable yarder on truck. The aim was to develop a model for multicriteria assessment of the suitability and effectiveness of particular timber harvesting systems and also demonstrate the possibilities of applying the AHP method, as well as other multicriteria methods in forestry. Based on the prepared questionnaire, i.e. examination of forestry experts and comparison of existing timber harvesting systems, according to the set criteria, the ranks of individual alternatives were determined and a decision proposal was made on the selection of optimal timber harvesting system for the foreseen production tasks and specific conditions of a particular forest management area. Given the defined technological-biological, economic, environmental, ergonomic, energy and aesthetic selection criteria, a system consisting of a harvester and a forwarder was evaluated as the most appropriate option. Designed multi-criteria approach offers more comprehensive bases for deciding on the most suitable technologies and means of work at many different forestry sites in Croatia. The research results can thus support forestry professionals in decision making and indirectly influence the selection and implementation of specific timber harvesting systems. The development and application of AHP and other multi-criteria methods in this regard can be valuable assistance at the strategic and operational level of decision-making in forestry.

KEY WORDS: timber harvesting systems, forestry, decision making, multicriteria models, AHP