

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

ШУМАРСКИ ФАКУЛТЕТ

Дарко Л. Љубојевић

**ПЛАНИРАЊЕ РАЗВОЈА МРЕЖЕ ШУМСКИХ  
ПУТЕВА У МЕШОВИТИМ ШУМАМА БУКВЕ И  
ЈЕЛЕ ПРИМЕНОМ ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКЕ  
АНАЛИЗЕ**

докторска дисертација

Београд, 2019. година

UNIVERSITY OF BELGRADE

FACULTY OF FORESTRY

Darko L. Ljubojević

**DEVELOPMENT PLANNING OF FOREST ROAD  
NETWORK IN MIXED FOREST OF BEECH AND  
FIR USING MULTICRITERIA ANALYSIS**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2019

## ИНФОРМАЦИЈЕ О МЕНТОРУ И ЧЛАНОВИМА КОМИСИЈЕ

Ментор: **Др Милорад Даниловић**, редовни професор  
Универзитета у Београду - Шумарског факултета

Чланови комисије: **Др Милорад Јанић**, ванредни професор  
Универзитета у Београду – Шумарског факултета

**Др Здравко Трајанов**, редовни професор  
Универзитета Св. Кирил и Методиј – Шумарског  
факултета, Скопје, Македонија

Датум одбране: \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . године

ШУМАРСКИ ФАКУЛТЕТ УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ  
КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИОНА ИНФОРМАЦИЈА

Тип документације, <b>ТД</b>	Монографска публикација
Тип записа, <b>ТЗ</b>	Текстуални штампани материјал
Врста рада, <b>ВР</b>	Докторска дисертација
Аутор, <b>АУ</b>	Дарко Љубојевић, маг.инж.шум.
Ментор, <b>МН</b>	Др Милорад Даниловић, редовни професор
Наслов рада, <b>НР</b>	Планирање развоја мреже шумских путева у мешовитим шумама букве и јеле применом вишекритеријумске анализе
Језик публикације, <b>ЈЗ</b>	Српски - ћирилица
Земља публикавања, <b>ЗП</b>	Србија
Година издавања, <b>ГО</b>	2019
Мјесто и адреса, <b>МС</b>	11030 Београд, Србија, Кнеза Вишеслава 1
Физички опис, <b>ФО</b>	11 поглавља/ 172 стране/ 21 табела/ 42 слике/ 182 литературна извора
Научна област, <b>НО</b>	Шумарство
Научна дисциплина, <b>ДИС</b>	Искоришћавање шума и ловство са заштитом ловне фауне
Предметна одредница/кључне ријечи, <b>ПО</b>	Мрежа примарних и секундарних шумских путева, планирање, вишекритеријумско одлучивање, Дијкстрин алгоритам, fuzzy логика, TOPSIS метода
Универзална децимална класификација, <b>УДК</b>	
Чува се, <b>ЧУ</b>	Библиотека шумарског факултета
Важна напомена, <b>ВН</b>	Нема
Извод, <b>ИЗ</b>	Мрежа шумских путева се у традиционалном планирању оцјењује на основу економског критеријума. У савременом се шумарству овај приступ све више напушта, а примјењује планирање отварања које у обзир узима већи број корисника шумског простора и већи број функција шума, а не само производну. Данашње је планирање мреже шумских путева немогуће замислити без савремених информационих алата, а у њих су све чешће имплементирани методи и поступци операционих истраживања за којима у просецу отварања шума постоји све већа потреба.

	<p>Основа за завођење овог приступа је успостављен ГИС подручја истраживања.</p> <p>Информације које су дио базе података ГИСа служе за провођење анализе постојеће мреже примарних и секундарних шумских путева. Ова се анализа изводи кроз израчунавање апсолутне и релативне отворености, средње удаљености привлачења и коефицијента ефикасности.</p> <p>За усмјеравање будућег отварања у великој се мјери користе методе операционих истраживања као подршка у одлучивању. Овим се методама смјер будућег отварања усмјерава према приоритетно дефинисаном циљу. Дефинисање приоритета подручја за отварање извршено је на основу попречног нагиба терена, удаљености од постојећих путева, јединичног трошка привлачења, стварне средње удаљености привлачења, прираста и јединичног етата. На овако дефинисана подручја, мрежа примарних и секундарних шумских путева се полаже једним од савремених алата. У нашем је примјеру коришћен Дијкстрин алгоритам најкраће трасе, а мрежа примарних и секундарних шумских путева положена је у двије, односно три варијанте.</p> <p>Ове су варијанте мреже шумских путева дефинисане као алтернативе, а за њихову оцјену је коришћена TOPSIS метода вишекритеријумског одлучивања. Овакав приступ који у себи обједињује процјену алтернатива на основу већег броја критеријума помоћу којих се мрежа шумских путева оцјењује уважавајући техничко-технолошки-економско-еколошки аспект представља савремене методе у тактичком планирању мреже шумских путева.</p> <p>Добијени резултати показују да је у односу на изабране критеријуме процјене најповољнија алтернатива II. Ова алтернатива се састоји од варијанте I мреже примарних шумских путева код које отвореност износи <math>17,23 \text{ m} \cdot \text{ha}^{-1}</math>, и варијанте II секундарних шумских путева код које је дужина ужета на витлу 60 m.</p>
Датум прихватања теме, <b>ДП</b>	Одлука Већа научних области биотехничких наука број 61206-6367/2-16 од 20.12.2016. године
Датум одбране, <b>ДО</b>	

UNIVERSITY OF BELGRADE, FACULTY OF FORESTRY  
KEY WORDS DOCUMENTATION

Documentation type, <b>DT</b>	Monographic publication
Type of record, <b>TR</b>	Textual printed material
Contents code, <b>CC</b>	Doctoral Dissertation
Author, <b>AU</b>	M.Sc. Darko Ljubojević
Mentor, <b>MN</b>	PhD Milorad Danilović, Full Professor
Title, <b>TI</b>	Development planning of forest road network in mixed forest of beech and fir using multicriteria analysis
Language of text, <b>LT</b>	Serbian – Cyrilic alphabet
Country of publication, <b>CP</b>	Republic of Serbia
Publish year, <b>PY</b>	2019.
Place and address, <b>PP</b>	11030 Belgrade, Serbia, Kneza Višeslava 1
Physical description, <b>PD</b>	11 chapters/ 172 pages/ 21 tables/ 41 figures/ 182 citations
Science field, <b>SF</b>	Forestry
Science discipline, <b>SD</b>	Forest utilization and hunting with wildlife protection
Subject/Key words, <b>KW</b>	Primary and secondary forest road network, planning, multi-criteria decision making, Dijkstra's algorithm, fuzzy logic, TOPSIS method
<b>UC</b>	
Holding data, <b>HD</b>	Library of the Faculty of Forestry of the University of Belgrade
Note, <b>N</b>	None
Abstract, <b>AB</b>	Traditional planning of forest roads network is based on economic criteria. These criteria implies costs analysis. Costs consist of cost of harvesting of trees and total transport cost of timber. However, the modern planning of forest roads network has to take into account the other forest functions, besides production of timber. This approach requires using of modern IT tools, which consist of hardware and software support with included the necessary methods and algorithms for planning of forest roads network. The modern IT achievements have enabled that the process of forest roads planning is going from

	<p>economic approach to the technical-technological-economic-environment approach.</p> <p>This multiple approach is based on GIS and the process of establishing of GIS of research area. The establishing of GIS of research area means creating of necessary database for spatial and statistical analysis of terrain, and primary and secondary forest traffic infrastructure of research area. These analyses of terrain are carried out by using of DTM or DEM. The results of these analysis are elevation raster, slope raster, forest functions raster, indicators of forest accessibility and etc. The indicators of forest accessibility are density of forest roads, relative forest accessibility, extraction distance and coefficient of efficiency of forest roads network.</p> <p>The planning of new forest roads is based on multi-criteria evaluation methods. These methods are used as support in defining of priority research area for additional making of forest accessibility. The process is based on evaluation of terrain slope, extraction distance, cost of extraction, volume increment and allowable cut volume of timber. Designing of new primary and secondary forest traffic infrastructure is carried out into priority research areas by Dijkstra's shortest path algorithm, and the networks of primary and secondary forest traffic infrastructure are proposed in the two or three variants.</p> <p>These variants are defined as alternatives and selection of the most acceptable from the point of technical-technological-economic-environment aspect is carried out by TOPSIS method of multi-criteria evaluation. This method is used for evaluation of variants of the both types of network of forest traffic infrastructure on the basis of larger number of criteria. This approach is the future of tactical planning of primary and secondary network of forest roads.</p> <p>The obtained results show that in relation to the selected evaluation criteria, the most favorable alternative is the second one. This alternative consists of the first variant of primary forest roads where openness is <math>17.23 \text{ m}\cdot\text{ha}^{-1}</math>, and second variants of secondary forest roads with a rope length of 60 m.</p>
Accepted by the Scientific Board on, <b>ASB</b>	Decision of Professional Board of Biotechnical Sciences No. 61206-6367/2-16 from 20.12.2016.
Defended on, <b>DE</b>	

## САДРЖАЈ

1. УВОД .....	1
2. ПРОБЛЕМ ИСТРАЖИВАЊА .....	4
2.1. Географски информациони систем – ГИС .....	4
2.2. Транспорт дрвета и мрежа шумских путева .....	5
2.3. Мрежа примарних шумских путева .....	8
2.4. Мрежа секундарних шумских путева.....	11
2.5. Отвореност шумског подручја.....	13
2.5.1. Примарна апсолутна отвореност шума.....	13
2.5.2. Секундарна апсолутна отвореност шума.....	14
2.5.3. Средња удаљеност привлачења дрвета .....	15
2.5.4. Релативна отвореност шумског подручја.....	17
2.5.4.1. Примарна релативна отвореност .....	17
2.5.4.2. Секундарна релативна отвореност .....	18
2.5.5. Коефицијент ефикасности.....	20
2.6. Газдовање састојинама букве и јеле и узгојна техника.....	20
2.7. Планирање у шумарству.....	35
2.8. Вишекритеријумско одлучивање .....	36
2.8.1. Карактеристике метода вишекритеријумског одлучивања .....	38
2.8.2. Преференцијална структура.....	43
2.8.3. Критеријуми одлучивања .....	44
2.8.4. Квантификација квалитативних критеријума .....	44
2.8.5. Нормализација критеријума .....	45
2.8.6. Одређивање тежина критеријума.....	46
2.9. Вишекритеријумско вриједновање варијанти мреже шумских путева .....	48
2.10. Одређивање тежина критеријума методом ентропије .....	50
3. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА .....	52
4. ЦИЉЕВИ ИСТРАЖИВАЊА .....	65
5. ХИПОТЕЗЕ ИСТРАЖИВАЊА.....	65
6. ПОДРУЧЈЕ ИСТРАЖИВАЊА .....	66



7.	МЕТОД РАДА.....	69
7.1.	Фаза прикупљања података.....	69
7.2.	Карактеристике састојина букве и јеле .....	69
7.3.	Формирање базе података и израда ГИС-а подручја истраживања .....	71
7.4.	Анализа постојеће мреже примарних и секундарних шумских путева.....	72
7.4.1.	Анализа примарне апсолутне отворености истраживаног подручја .....	74
7.4.2.	Анализа секундарне апсолутне отворености истраживаног подручја.....	75
7.4.3.	Одређивање релативне отворености .....	76
7.4.3.1.	Одређивање примарне релативне отворености .....	76
7.4.3.2.	Одређивање секундарне релативне отворености.....	78
7.4.4.	Одређивање средње удаљености привлачења дрвета.....	79
7.4.5.	Одређивање трошкова привлачења дрвета .....	83
7.5.	Дефинисање приоритетних подручја за отварање .....	85
7.6.	Варијанте мреже примарних шумских путева .....	89
7.7.	Варијанте мреже секундарних шумских путева.....	91
7.8.	Одређивање трошкова изградње и одржавања примарне и секундарне мреже шумских путева .....	93
7.9.	Одређивање нивоа покривености површине мрежом примарних и секундарних шумских путева.....	95
7.10.	Одређивање величине непроизводне површине за варијанте мреже примарних и секундарних шумских путева.....	96
7.11.	Дијкстрин алгоритам најкраћег пута.....	97
7.12.	Вишекритеријумски избор мреже шумских путева .....	98
8.	РЕЗУЛТАТИ.....	101
8.1.	Карактеристике састојина букве и јеле .....	101
8.2.	Отвореност привредне јединице .....	105
8.2.1.	Примарна класична отвореност.....	105
8.2.2.	Секундарна класична отвореност .....	109
8.2.3.	Средња удаљеност привлачења дрвета .....	113
8.3.	Дефинисање услова рада .....	114
8.3.1.	Фактор нагиба терена.....	114
8.3.2.	Одређивање нагиба тракторског пута.....	115
8.3.3.	Фактор врсте земљишта.....	115

8.3.4. Фактор средње надморске висине.....	116
8.3.5. Фактор удаљености од гаража .....	116
8.3.6. Фактор средњег пречника дозначеног стабла.....	117
8.3.7. Фактор дозначене јединичне запремине.....	118
8.3.8. Одређивање услова рада у састојинама букве и јеле .....	120
8.4. Просјечна запремина комада .....	120
8.5. Трошкови привлачења дрвета .....	121
8.6. Релативна отвореност .....	124
8.6.1. Примарна релативна отвореност .....	124
8.6.2. Секундарна релативна отвореност.....	125
8.7. Дефинисање приоритетних подручја за отварање .....	127
8.8. Варијанте мреже примарних шумских путева .....	129
8.9. Варијанте мреже секундарних шумских путева .....	132
8.10. Трошкови изградње и одржавања варијанти мреже примарних и секундарних шумских путева.....	134
8.11. Средња удаљеност привлачења дрвета за варијанте мреже примарних шумских путева .....	135
8.12. Трошкови привлачења за варијанте мреже примарних шумских путева ..	137
8.13. Одређивање нивоа покривености површине мрежом примарних и секундарних шумских путева.....	141
8.14. Одређивање величине непроизводне површине за варијанте мреже примарних и секундарних шумских путева.....	141
8.15. Вишекритеријумски избор мреже шумских путева .....	143
8.16. Примјена TOPSIS методе и рангирање алтернатива.....	145
9. ДИСКУСИЈА.....	147
10. ЗАКЉУЧЦИ .....	157
11. ЛИТЕРАТУРА .....	160

Слика 1. Начини привлачења дрвета према Poršinskom (2008).....	6
Слика 2. Секундарни (даљински) транспорт дрвета према Poršinskom (2008).....	8
Слика 3. Расподјела броја стабала према премјеру 1953 године и нормални нивои по врстама дрвећа и укупно.....	26
Слика 4. Расподјела броја стабала по дебљинским степенима према премјеру 1963 и 1983 године.....	26
Слика 5. Расподјела запремине по дебљинским степенима према премјеру 1953, 1963, 1973, 1983 и 2004 године.....	28
Слика 6. Провођење вишекритеријумске анализе (Миловановић и Думоњић-Миловановић, 2015) .....	43
Слика 7. Класификација метода одређивања тежина критеријума (Zardari et al., 2015) .....	47
Слика 8. Подручје истраживања .....	68
Слика 9. Положај случајно изабраних кругова у састојинама букве и јеле .....	70
Слика 10. Трошак привлачења скидером у паду и у успону.....	80
Слика 11. Функције Fuzzy припадности (извор: <a href="http://pro.arcgis.com/">http://pro.arcgis.com/</a> ) .....	86
Слика 12. Положај чворова у скупу мрежних података и веза међу њима .....	89
Слика 13. Дебљинска структура у састојинама букве и јеле .....	101
Слика 14. Запреминска структура у састојинама букве и јеле.....	102
Слика 15. Расподјела укупног броја стабала по запреминским степенима.....	103
Слика 16. Мрежа камсионских путева који отварају састојине букве и јеле према категорији.....	106
Слика 17. Секундарна класична отвореност у састојинама букве и јеле.....	109
Слика 18. Мрежа тракторских влака унутар састојина букве и јеле.....	110
Слика 19. Средње геометријске и стварне удаљености привлачења према условима рада и смјеру привлачења .....	113
Слика 20. Однос између стварне средње удаљености привлачења и циљане средње удаљености привлачења.....	114
Слика 21. Расподјела просјечне стварне и нормалне запремине у састојинама букве и јеле по дебљинским степенима .....	117
Слика 22. Графички приказ фактора за одређивање услова рада; а) фактор нагиба терена, б) фактор нагиба тракторског пута, в) фактор врсте земљишта, г) фактор надморске висине, д) фактор удаљености од гаража, ђ) фактор средњег пречника и е) фактор дозначене запремине .....	119
Слика 23. Карта услова рада у састојинама букве и јеле у ПЈ Козара-Мљечаница.....	120
Слика 24. Просјечна запремина комада у састојинама букве и јеле по врстама сортимената.....	121
Слика 25. Норма учинка према групама врста дрвећа и условима рада.....	122
Слика 26. Просјечна, максимална и минимална норма учинка и тропкови привлачења према дефинисаним условима рада и смјеру привлачења .....	123

Слика 27. Површине унутар састојина букве и јеле отворене за вриједност двоструке циљане средње удаљености привлачења.....	125
Слика 28. Секундарна релативна отвореност у састојинама букве и јеле.....	126
Слика 29. Површина унутар састојина букве и јеле покривена за дужину ужета на витлу.....	126
Слика 30. Површине нивоа приоритета унутар састојина букве и јеле.....	128
Слика 31. Графички приказ нивоа приоритета унутар састојина букве и јеле.....	129
Слика 32. Варијанта I мреже примарних шумских путева .....	130
Слика 33. Варијанта II мреже примарних шумских путева.....	131
Слика 34. Варијанта III мреже примарних шумских путева .....	132
Слика 35. Варијанта I а) и варијанта II б) мреже секундарних шумских путева .....	133
Слика 36. Секундарна отвореност састојина за постојећу мрежу тракторских путева и варијанте I и II.....	134
Слика 37. Остварене средње удаљености привлачења према смјеру привлачења а) и условима рада б) за варијанте мреже примарних шумских путева.....	136
Слика 38. Остварена норма учинка за варијанте примарне и секундарне мреже шумских путева.....	138
Слика 39. Остварена норма учинка за варијанте примарне и секундарне мреже шумских путева у односу на услове рада и смјер привлачења .....	139
Слика 40. Просјечни јединични трошкови привлачења за варијанте примарне и секундарне мреже шумских путева у односу на услове рада и смјер привлачења.....	140
Слика 41. Резултат примјене TOPSIS методе имплементиране у апликацији SANNA (Jablonský i Urban, 1998) .....	145
Слика 42. Дијаграм тежинских коефицијената критеријума (SANNA) .....	146

Табела 1. Ширина коловоза на шумским путевима у зависности од категорије шумског пута и саобраћајног оптерећења .....	8
Табела 2. Систем процјене примарне релативне отворености према Penteku i dr. (2005) .....	18
Табела 3. Систем процјене секундарне релативне отворености (Pentek, 2002) према Penteku i dr. (2010).....	18
Табела 4. Омјер смјесе врста дрвећа и распоред дрвне запремине за нормално стање састојина букве и јеле на половини опходњице за уређајни период 2009-2018 године .....	32
Табела 5. Методе ВКО (Агарски, 2014) .....	40
Табела 6. Матрица одлучивања .....	41
Табела 7. Фактори за дефинисање услова рада приликом привлачења дрвета.....	83
Табела 8. Категорије услова рада .....	84
Табела 9. Алтернативе мреже примарних и секундарних шумских путева .....	99
Табела 10. Број стабала, запремина и средњи пречник премјерених стабала у узорачким састојинама према врстама дрвећа .....	104
Табела 11. Омјер смјесе врста дрвећа и распоред дрвне запремине за нормално стање састојина букве и јеле на половини опходњице за уређајни период 2019-2028 године .....	105
Табела 12. Стање саобраћајница у привредној јединици према шумскопривредној основи за период од 2008. до 2019. и 2019. до 2028. године .....	107
Табела 13. Списак путева који отварају састојине букве и јеле према категорији и врсти коловоза.....	112
Табела 14. Остварена просјечна норма учинка за варијанте мреже примарних и секундарних шумских путева .....	138
Табела 15. Остварени просјечни јединични трошкови привлачења за варијанте примарне и секундарне мреже шумских путева.....	140
Табела 16. Остварени укупни трошкови привлачења за варијанте мреже примарних и секундарних шумских путева .....	141
Табела 17. Покривеност површине варијантама мреже шумских путева .....	141
Табела 18. Величина непродуктивних површина за варијанте мреже примарних и секундарних шумских путева .....	143
Табела 19. Номиналне вриједности критеријума .....	144
Табела 20. Нормализоване вриједности критеријума .....	144
Табела 21. Вриједности параметара $e$ , $d_j$ и $w_j$ за дефинисане критеријуме .....	144

## 1. УВОД

Мрежа шумских путева унутар шумског подручја се састоји од камионских путева, тракторских путева и тракторских влака. Ови елементи шумске путне инфраструктуре су основа јединственог транспортног процеса који започиње у шуми, а завршава на пилани. Мрежа шумских путева је предуслов газдовања шумама дефинисаног оквиrom планских докумената попут шумскопривредне основе, а како наводе Najafi i Richards (2013) путеви се користе и за остале шумарске, развојне или грађевинске сврхе, те за заштиту од пожара, узгајање шума, рекреативне сврхе и слично.

Мрежа шумских путева се на неком шумском простору налази у одређеној дужини, а однос те дужине са површином на којој се налазе представља мјеру отворености. У односу на врсту шумских путева отвореност шумског подручја се дијели на примарну и секундарну. Отвореност је резултанта већег броја фактора, а у сваком се случају, у процесу отварања настоји постићи ниво оптималне отворености, бар са аспекта фактора у односу на које је оптимум дефинисан. За оптималну отвореност Rebula (1981) сматра такву количину, квалитет и распоред шумских путева, која, када се узму у обзир трошкови градње и одржавања путева, као и њихов утицај на околину, најбоље испуњава сврху за коју су ти путеви изграђени.

Традиционалним или класичним је приступом концепт отварања шума у потпуности био подређен функцији њеног искоришћавања. Класични приступ пројектовању мреже шумских путева се фокусирао на проналаску могућих алтернатива које испуњавају функционалне и економске критеријуме (Heinimann, 1996). Основни циљеви изградње путева су везани за смањење удаљености привлачења, а са аспекта шумарске производње овај став је у потпуности оправдан. У новије је вријеме, нарочито са све већим значајем поливалентних функција шума, у политику отварања шума потребно укључити и остале кориснике шумског простора, а шуме отворати у складу са захтјевима већег броја корисника, те захтјевима дефинисаних приоритетних функција шума. Са друге стране, отворити шуму са аспекта већег броја фактора је сложен задатак. Еколошки фактори на које је последњих година стављен акценат поступак отварања чине скупљим, а оптимално рјешење које треба да представља синтезу неколико фактора супротстављених циљева и ограничења је све теже постићи.

Пројектовање оптималне мреже шумских путева сложен је и изазован задатак јер пројектант мора да размотри неколико повезаних проблема (Stückelberger et al., 2006): i) велика количина просторних и еколошких података, ii) недостатак експлицитних ограничења, и iii) нејасни и контрадикторни циљеви.

Планирање, пројектовање, изградња са надзором и одржавање су основне радне фазе у сложену поступку успостављања оптималне мреже шумских путева на терену (Pentek et al., 2007). Фаза планирања је, како наводе Ghaffarian et al. (2010), важан корак у планирању шумарских операција. Њоме се у односу на дефинисану функцију шума, распоред етата по површини, постојећу мрежу путева и трошкове привлачења одређује смјер будућег отварања, положај идејних траса будућих шумских путева, а од ње у крајњој мјери зависи коначни ефекат укупног процеса газдовања шумама. Планирање отварања шума шумским путевима је ограничено техничким елементима шумских путева, теренским карактеристикама, густином постојеће мреже и вишенамјенским улогама шума (Hribernik i Potočnik, 2013).

Традиционалним начином, ионако сложен поступак планирања мреже шумских путева захтјевао је велики утрошак времена, а добијена коначна рјешења, може се рећи, било је скоро немогуће оцијенити са економског, еколошког и социјалног аспекта истовремено. Овај се традиционални приступ обављао мануалним полагањем варијанти на топографским картама. У последње је вријеме у фази планирања неизоставна примјена савремених информатичких алата комбинованих са различитим методама и техникама операционих истраживања. Операциона истраживања заједно са геоинформационом науком и технологијом обезбјеђују методе и алате којима могу да се превазиђу недостаци традиционалног поступка планирања шумских путева (Gruber i Scholz, 2005). Ови алгоритми и технике све су више међусобно имплементирани са географским информационалним системом и чине јединствени просторни систем за подршку у одлучивању.

У зависности од нивоа на којем се изводи планирање може бити стратешко, тактичко и оперативно. На вишим нивоима који укључују стратешко и тактичко планирање изводи се планирање отварања или планирање мреже шумских путева, док се на нивоу тактичког планирања врши планирање појединачног шумског пута. Резултат стратешког планирања су генерелне смјернице везане за шуме и шумска земљишта. У

отварању шума овај је резултат обично исказан бројем који показује потребан ниво отворености за цијелу државу, или неко мање подручје попут регије или рељефног подручја. Конкретни се планови отварања шума раде на тактичком нивоу и ти су планови студије отварања привредних јединица. Они се раде за период важења тактичког плана, што је отприлике до 20 година. Ове студије се углавном односе на мрежу примарних шумских путева. За шумскопривредно подручје козарачко последња је израђена прије скоро 50 година.

Студије секундарног отварања, које се у последње вријеме све више препоручују, за сада није реално очекивати. Секундарно отварање концепцијски се у великој мјери разликује од примарног. Секундарна мрежа путева коју чине тракторски путеви и влаке се гради у знатно већој дужини од примарне. Поред тога, ова је мрежа, односно њен просторни распоред, облик и густина, у знатно већој мјери зависна од рељефа. Просторни положај тракторских влака и дозначених стабала потпуно је међусобно зависан, те се до сада планирање секундарног отварања обављало на нивоу оперативног или годишњег плана.

Са друге стране, ограничавајући фактор за израду студија секундарног отварања је тачност постојећих просторних података. Основни извор ових података у Републици Српској су још увијек војне топографске карте, због чега су географски ентитети на основу којих је потребно планирати ову врсту шумских путева представљени са недовољно тачности. У брдско-планинским подручјима ово је готово непремостива препрека. Тек ће се примјеном нових информација о рељефу терена које обезбјеђују већи ниво тачности, попут информација прикупљених ласерским скенирањем LIDAR системом, испунити први захтјев ка планирању мреже секундарних шумских путева на тактичком нивоу.



## 2. ПРОБЛЕМ ИСТРАЖИВАЊА

### 2.1. Географски информациони систем – ГИС

За географски информациони систем (ГИС) постоји већи број дефиниција али је најједноставнијом представљен као систем за управљање просторним подацима и њима придруженим особинама. Његовим се оквиром интегришу просторни и описни подаци о неком реалном феномену, а њима је свакако потребно придружити још и знање. Dueker (1979) га дефинише као посебну врсту информационог система код којег рачунарска база података обухвата тачно дефинисане односе између просторно рапоређених објеката и догађаја који су у простору дефинисани тачком, линијом или полигоном. У сложенијем је смислу ГИС, према Longley et al., (2005), наука, технологија, дисциплина, те примијењена методологија рјешавања проблема. ГИС је доказана технологија, а основне операције у ГИСу данас обезбјеђују сигурну и потврђену основу за мјерење, мапирање и анализу реалног свијета (Longley et al., 2005). ГИС, како наводе Huismán i de Bu (2009), представља рачунарски систем који обезбјеђује четири скупа могућности за руковање геореференсираним подацима:

1. Прикупљање и припрема података
2. Управљање подацима, укључујући складиштење и одржавање
3. Манипулација и анализа података
4. Презентација података

Резултат је ових фаза доношење одлуке због чега ГИС има веома широку примјену. Данас готово да нема дисциплине која у неком његовом облику не користи ГИС. Ипак, најважнија му је примјена у пољопривреди, шумарству, геологији, археологији, рударству, криминалистици, војсци, а распон задатака у чијем се рјешавању користи се креће од планирања, управљања, анализе, надзора, меркетинга, процјене ризика и сл.

Шумарство представља једно од најважнијих подручја примјене ГИСа, а његова употреба из дана у дан постаје све прихваћенија. У најједноставнијем облику ГИС се у шумарству користи за приказивање шумарских тематских карата, као што су карте састојина, карте газдинских класа, карте саобраћајница, заштићених површина, ловних и туристичких објеката и сл. У сложенијем је облику, тамо гдје је то потребно, оквиром ГИСа могуће проводити различите анализе које су у складу

дугорочним или средњерочним циљевима газдовања дефинисаним планским документима. Једна од првих примјена ГИСа у природним ресурсима односи се на планирање и управљање шумским рекреативним подручјем западног Marylanda (Becker, 1976 према Grigolato et al., 2017). Детаљан приказ примјене ГИСа у шумарству дају McKendery i Eastman (1991). Према њима ГИС се у газдовању шумама карактерише са двије широке и повезане категорије: i) инвентура и мониторинг ресурса, и ii) анализа, моделовање и прогнозирање као подршка у одлучивању. Sonti (2015) примјену ГИСа у шумарству посматра кроз стратешко планирање и моделовање, израду карата, управљање и надзор над пожарима, планирање производње дрвета, те управљање ресурсима.

ГИС се састоји од рачунарског хардвера, софтверске подршке, података, те људског ресурса. Хардверска компонента се састоји од рачунара те периферних уређаја и рачунарских мрежа. Софтверску подршку чине комерцијалне или бесплатне (engl. *open-source*) програмске платформе различитих произвођача. Најчешће су комерцијалне верзије оне произвођача као што су Esri, Autodesk, Intergraph, MapInfo, Bentley Systems, док су најчешће бесплатне верзије GRASS GIS, gvSIG, QuantumGIS, SAGA GIS. Подаци у ГИСу имају дефинисан просторни положај, а представљени су као растерски или векторски ентитети најчешће у низу слојева.

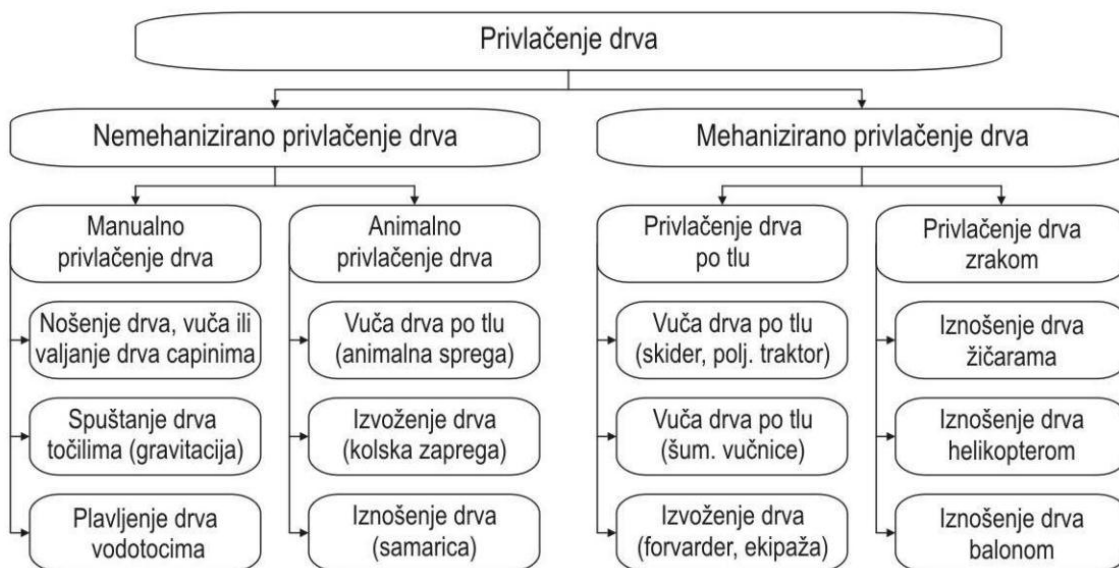
## **2.2. Транспорт дрвета и мрежа шумских путева**

Под транспортом дрвета подразумијевамо премјештање дрвета од мјеста сјече до коначног одредишта (Љубојевић, 2010). Између ове двије крајње тачке транспорт дрвета се диференцира на двије фазе до чега доводи промјена транспортног средства и врсте комуникације по којој се транспорт обавља. Шумске комуникације (шумски путеви, ваге и жичаре) представљају транспортна средства која имају за циљ да обезбједе сигуран, ефикасан и економичан транспорт разних материјала, робе, људи и сл. (Potočnik i dr. 2009).

Према Правилнику о изради пројекта за шумске комуникације (Службени гласник Републике Српске број 60/09) под шумским комуникацијама подразумијевају се шумски камионски путеви, реконструисани шумски камионски путеви, тракторски путеви и тракторске ваге, а служе за потребе газдовања шумама као и за потребе локалног становништва. Секундарне шумске комуникације су тракторски путеви и

тракторске влаке и по њима се одвија прва фаза транспорта дрвета. Шумски камионски путеви представљају примарне шумске комуникације. По њима се изводи друга фаза транспорта дрвета која се одвија из шуме, односно од шумског стоваришта па до крајњег потрошача, а назива се још и секундарним или даљинским транспортом дрвета.

Прва фаза транспорта дрвета се најчешће назива привлачењем, одвија се у оквиру шуме, а према Николићу (1993) у зависности од тога гдје се израђују сортименти предмет транспорта могу да буду стабла, дебла, сортименти, дијелови дебла и др. Може да се обавља немеханизовано и механизовано (слика 1.), односно примјеном мануалне, анималне и механичке снаге. Привлачење је најсложенији и врло скуп дио производње дрвета, зато је веома битно његово оптимизирање и усклађивање са осталим дијеловима процеса (Тوماшић, 2012). Према Јеличићу (1983) трошкови привлачења дрвета су 20 до 30 пута већи од трошкова превоза по камионском путу. У оквиру транспортне фазе привлачења најчешће се раздвајају двије подфазе.



**Слика 1.** Начини привлачења дрвета према Поршинском (2008)

Прва се подфаза углавном назива сакупљањем, а најчешће се изводи у циљу формирања товара за другу подфазу. У зависности од транспортног средства привлачења ова се подфаза обавља помоћу витла, хидрауличне дизалице или бочне жуади на жичари, а сакупљање се обавља до тракторске влаке, тракторског пута или жичне линије. У другој подфази дрво се привлачи по једном од наведених

секундарних шумских путева што опет зависи од транспортног средства које се у овој фази користи, због чега дрво које је предмет транспорта, према Томашићу (2012) и Penteku (2012), може да се вуче директно по земљи, потпуно или дјелимично овјешено (адаптирани пољопривредни трактор, скидер), вози на товарном простору (тракторска екипажа, форвардер) или износи (жичара, хеликоптер). Док се мануално привлачење дрвета данас уопште не користи, анимално привлачење је сведено на изношење просторног дрвета. За привлачење укупне количине дрвета у Шумском газдинству Приједор користе се скидери и форвардери, док се за привлачење мањих количина дрвета из ванредних сјеча користе адаптирани пољопривредни трактори.

Транспорт дрвета по камионском путу представља другу фазу транспорта. Назива се још и даљинским транспортом, а најчешће се обавља камионима дизајнираним за превоз дрвета. Дрво се у овом случају превози са стоваришта на камионском путу до крајњег потрошача. У односу на димензије сортимената који се превозе, камиони могу да се користе соло или са приколицом за превоз краћих сортимената, те са класичном или шлеперском полуприколицом за превоз дужих сортимената. Ови камиони су у потпуности прилагођени транспорту дрвета, па је основа изградње таквих камиона, према Šušnjaru i dr. (2011), монтирање шумске надоградње, уградња шумске дизалице те удвајање осовине. Транспортна фаза превоза се обавља дијелом по шумским, а дијелом по јавним путевима на којима, према Poršinskom (2008), законска регулатива ограничава дјелотворност превоза кроз ограничење укупне масе и осовинског оптерећења возила, ограничење габаритних димензија возила и брзине кретања, ограничење мјеста утовара те временско ограничење дневног управљања возилима. Поред високих трошкова који су карактеристични за камионски транспорт, како наводи Zorić (2015), за овај начин транспорта значајно је и велико онечишћење околине емисијом гасова стаклене баште, те ниска енергетска ефикасност.

Осим камионским путевима, друга фаза транспорта дрвета се обавља и жељезничким саобраћајем или воденим путевима (слика 2.), тамо гдје за то постоје услови. У односу на трошкове транспорта, највеће удаљености се постижу код транспорта воденим путевима, а најмање код транспорта камионима.



Слика 2. Секундарни (даљински) транспорт дрвета према Poršinskom (2008)

### 2.3. Мрежа примарних шумских путева

Према Правилнику о пројектовању шумских камионских путева, шумски камионски путеви - саобраћајнице су сталне шумске комуникације привредног значаја које служе првенствено шумарству и дрвној индустрији, а које израђује и одржава корисник шума и шумског земљишта, односно Јавно предузеће на дијелу које по уговору користи. Законом о јавним путевима Републике Српске (Службени гласник Републике Српске бр. 89/13) шумски камионски путеви спадају у категорију некатегорисаних путева. Према истом закону, регионални пут је јавни пут који повезује регионалне центре, док је локални пут јавни пут који повезује територију јединице локалне самоуправе са мрежом других јавних путева. Правилником о пројектовању шумских камионских путева (Соколац, 2002), категорије шумских камионских путева према саобраћајном оптерећењу и ширини коловоза дефинисане су на начин приказан у табели 1.

Табела 1. Ширина коловоза на шумским путевима у зависности од категорије шумског пута и саобраћајног оптерећења

Категорија шумског пута	Саобраћајно оптерећење (брuto тона дневно)		
	500-2500	100-500	<100
	метара		
Главни шумски пут за двосмјерни саобраћај	5		
Главни шумски пут за једносмјерни саобраћај		3 – 3,5	
Споредни шумски пут		3 – 3,5	
Прилазни шумски пут			3

Истим су Правилником дефинисани конструктивни елементи шумских камионских путева. Минимални радијус хоризонталних кривина на шумским камионским путевима износи 20 (15) m. На кривинама чији је радијус мањи од 70 m изводи се проширење израчунато по формули  $\frac{40}{R}$  код главних и  $\frac{40}{2R}$  код споредних и прилазних шумских путева. Попречни нагиб пута износи 3% у правцу и кривинама са радијусом већим од 70 m. Са смањењем радијуса кривине попречни нагиб пута се повећава до максималне вриједности од 6%. Максималне вриједности уздужног нагиба шумског пута зависи од његове категорије и износи 8% за главне, 10% за споредне и 12% за прилазне.

Главни шумски путеви повезују привредну јединицу са јавним путевима. Ова категорија шумских путева се гради са бољим техничким карактеристикама. У одређеним случајевима могу да се граде са двије саобраћајне траке. Најчешће је једна привредна јединица отворена са једним или два главна шумска пута и по њима се транспортује укупни етат из цијелог подручја. Споредни шумски путеви отварају најчешће групе одјела или сливове. По њима се саобраћај обавља периодично, због чега имају слабије техничке карактеристике у односу на главне шумске путеве. У категорији прилазних шумских путева спадају путеви који отварају поједине одјеле. Најчешће се граде без горњег строја, а за камионски саобраћај се користе само у одређено доба године.

Облик и густина мреже примарних шумских путева зависи од већег броја фактора, а према Поточнику и др. (2011) највећи утицај имају следећи фактори:

- Релеф (равничарски, брдски, планински, крашки) – генерализује облик и густину мреже примарних шумских путева
- Производни елементи (запремина, прираст, етат)
- Систем газдовања (чисте, групимичне, пребирне сјече)
- Средство привлачења (трошак привлачења)
- Трошак изградње и одржавања путева (код категорије шумског пута, relieфа, транспортног средства)

Ефикасан облик мреже шумских путева који се заснива на трошковима изградње и одржавања и ефикасној производњи дрвета је важан у процесу газдовања шумама

(Son et al., 2014). Јеличић (1988) раздваја двије групе развијања линија шумских путева i) затворене линије у облику очица мреже и ii) жиле код којих се са главног пута гранају одвојци. Слично овој подјели, Aruga et al. (2011) мреже шумских путева дијеле на кружне мреже и мреже у облику грана. Облик мреже шумских путева у највећој мјери је дефинисан рељефним подручјем. У низијским подручјима, мреже примарних шумских путева формирају правилне геометријске облике, најчешће квадрата или правоугаоника. Привлачење и превоз се обављају по најкраћим линијама, те је с тог аспекта овакав транспорт оптималан. У брдским и планинским подручјима мрежа примарних шумских путева се прилагођава конфигурацији терена. Када оваквим рељефом доминирају широке падине мрежа се састоји од етажних и дијагоналних путева. Ако је рељеф испресјечан увалама те га чине уске и стрме падине, мрежу путева чине долински и гребенски путеви који се гранају по гребенима или увалама. У оваквим случајевима кружни ток саобраћаја се готово никада не постиже. У крашком подручју мреже шумских путева имају најчешће направилне затворене облике.

У Републици Српској, према Дражићу и др. (2018) просјечна густина примарне шумске транспортне инфраструктуре износи  $9,28 \text{ m}\cdot\text{ha}^{-1}$ , а јавних путева који отварају шуме  $11,21 \text{ m}\cdot\text{ha}^{-1}$ , док према Соколовић и Бајрић (2013) отвореност шума у Федерацији Босне и Херцеговине износи  $10,9 \text{ m}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Густина мреже примарних шумских путева у Аустрији износи  $45 \text{ m/ha}$  (Ghaffarian et al., 2010; Findeis, 2016), у Словенији  $24,8 \text{ m/ha}$  (Krč i Beguš, 2013), у Украјини  $17,67 \text{ m/ha}$  (Styranivsky et al., 2011), у Норвешкој испод  $10 \text{ m/ha}$ , те само  $3-5 \text{ m/ha}$  на стрмим теренима приобалног подручја (Talbot i Astrup, 2015), у Румунији  $6,5 \text{ m/ha}$  (Dulgheru, 2011). Baldini i Pollini (1998) наводе да је у сјеверноисточним регијама Италије отвореност  $23-25 \text{ m/ha}$ , док је у централној и јужној Италију свега  $6-15 \text{ m/ha}$ .

Pentek i др. (2014) постојећу отвореност у Хрватској анализирају по рељефним категоријама, те наводе како она износи  $9,05 \text{ m/ha}$  за низијско,  $11,26 \text{ m/ha}$  за пригорско-брдско,  $15,43 \text{ m/ha}$  за горско-планинско и  $4,81 \text{ m/ha}$  за кршко рељефно подручје. Просјечна примарна отвореност према Epascheu (2016) у европским планинским шумама износи  $18,5 \text{ m/ha}$  са даљином привлачења од око  $500 \text{ m}$ . Према Penteku i др. (2016) циљана густина мреже примарних шумских путева у планинском рељефном подручју износи  $25 \text{ m/ha}$ , а циљана геометријска средња удаљеност

привлачења 200 m. Према Hodiću i Jurušiću (2011) минимална отвореност у шумама планинског рељефног подручја треба да је 20 m/ha. Према Ребули (1986) оптимална густина камионских путева код привлачења уз употребу трактора се налази између 10-12 и 20-25 m·ha<sup>-1</sup>, што зависи од количине дрвне масе која се привлачи, односно прираста или потенцијала станишта

У параметре на основу којих се врши оцјена отворености шумског подручја спадају апсолутна или класична отвореност, средња удаљеност привлачења дрвета, релативна отвореност и коефицијент ефикасности мреже шумских комуникација.

#### **2.4. Мрежа секундарних шумских путева**

Секундарна мрежа шумских комуникација обухвата углавном тракторске путеве и тракторске влаке (Јеличић, 1977). Према Правилнику о изради пројекта за шумске комуникације (Службени гласник Републике Српске бр. 60/09) тракторски путеви представљају објекте који чине секундарну мрежу путева, одвајају се од шумских камионских путева, залазе и развијају се по одјелима дубоко у шуму, док су тракторске влаке само одређене линије извоза које се гранају од шумских камионских или тракторских путева. Pentek et al. (2008) тракторске путеве дефинишу као грађевинске објекте код којих постоје одређени земљани радови али недостаје горњи строј док су тракторске влаке привремени објекти настали вишеструким проласком трактора по истој возној површини.

По њима се дрво транспортује најчешће у форми дрвних сортимената одређених дужина, транспорт се обавља у оквиру шуме, од пања па до стоваришта на камионском путу, а сам транспорт се назива примарним транспортом или привлачењем. Како је Правилником о шумском реду (Службени гласник Републике Српске бр. 50/17) привлачење дрвета могуће само по правцима који су предвиђени извођачким пројектом и који су на терену видно обиљежени, секундарна мрежа шумских комуникација представља основни услов за обављање ове транспортне фазе. У односу на нагиб и конфигурацију терена, односно хоризонтално и вертикално развијање траса, Nevečerel et al. (2008) и Љубојевић (2010) разликују следеће типове тракторских влака: i) равничарске, ii) долинске, iii) падинске и iv) гребенске.



Равничарске тракторске вlake карактеристичне су за равничарска шумска подручја гдје нагиб терена не прелази 10%. Привлачење се најчешће изводи по најкраћим линијама, а мрежа тракторских вlake има облик квадрата или правоугаоника. У погледу изградње имају минималне захтјеве јер се обично изводе без земљаних радова док се са аспекта привлачења обезбјеђују минимални трошкови.

У брдско-планинским подручјима тракторске вlake се полажу по долини, падини и гребену. Долинске вlake се развијају по долинама главних и споредних водотока те се јављају у типичним облицима попут рибље кости или перастог облика. Уколико је нагиб терена до 30% (35%), приликом привлачења дрвета трактор може да се креће линијом главног пада терена, те се падинске вlake полажу под правим углом у односу на долинске вlake или камионски пут. У овом случају остварена је минимална удаљеност привлачења, а распоред привлачења је оптималан. На падинама већих нагиба, падинске тракторске вlake се одвајају од камионског пута или долинске тракторске вlake и у одређеном нагибу сјеку изохипсе најчешће се спајајући на крају са етажном или гребенском вlakeом. Овакву мрежу карактерише већа удаљеност привлачења те трошкови изградње узроковани неизбјежним земљаним радовима.

У планинским подручјима са широким и једноличним падинама мањег нагиба примјењује се систем падинских дијагоналних и етажних вlakeа, док је код већих нагиба падина ради избјегавања већих трошкова изградње и већег утицаја на шумски простор погоднији систем падинских вlakeа и жичних линија.

Секундарна мрежа шумских комуникација се у погледу конструктивних елемената карактерише знатно мањим захтјевима у односу на шумске камионске путеве. Ово је разлог, заједно са чињеницом да се граде без коловоза, зашто им је цијена изградње, како наводи Јеличић (1983), 10 до 30 пута мања од цијене изградње камионских путева исте дужине. Са друге стране, граде се у знатно већој дужини у односу на шумске камионске путеве. Понегдје је тај однос чак и 1:20, а отварање шумског простора секундарним шумским комуникацијама још се, према Војанину (1983), назива и детаљним или финим отварањем.

Положај и густина секундарних шумских путева варира по шумским подручјима у зависности од конфигурације терена, система газдовања, присуства водотока, положаја камионских путева и нагиба терена (Даниловић и Љубојевић, 2013),

техничког средства које се користи при привлачењу дрвета, каменитости и стјеновитости земљишта, густини просторног распореда стабала, положају и прикладности помоћног стоваришта (Pićman i dr. 2011).

Према Даниловићу и Љубојевићу (2013) густина мреже тракторских влака у привредној јединици Просара која је дио шумскопривредног подручја Козарачког, при примјени скупинасто-пребирних се креће од 40 до 200  $m \cdot ha^{-1}$ . Rebula (1983) сматра да је потребна густина тракторских путева и влака у младим састојинама између 250 и 300  $m \cdot ha^{-1}$ , а у старијим састојинама гдје је размак стабала већи од 100 до 180  $m \cdot ha^{-1}$ .

За брдско-планинска подручја Pićman (2007) наводи да је добра секундарна отвореност од 200  $m \cdot ha^{-1}$ , док је према Zdjelaru (1990) у пребирним састојинама Горског Котара потребна густина секундарних шумских комуникација од 150  $m \cdot ha^{-1}$ . За подручје Босне и Херцеговине, Јеличић (1983) сматра довољном густину секундарне мреже од 100  $m \cdot ha^{-1}$ , док је код пребирних сјеча потребно и 200  $m \cdot ha^{-1}$ .

Анализа мреже секундарних шумских путева се изводи кроз анализу апсолутне и релативне отворености. Да би се започело са поступком анализе, катастар мреже секундарних шумских путева треба да буде доступан у дигиталној форми (Pentek et al., 2008). Према Ротошнику i dr. (2011) у Републици Српској јединствен катастар секундарне мреже не постоји. Тек се у прошлом уређајном периоду започело са употребом ГПС уређаја за снимање мреже тракторских влака. Међутим, ова пракса је до данас остала на нивоу појединачних случајева због чега не треба очекивати формирање комплетног катастра у скоријем периоду.

## 2.5. Отвореност шумског подручја

### 2.5.1. Примарна апсолутна отвореност шума

Примарна апсолутна отвореност одређује се за мрежу примарних шумских путева, а добија се из односа укупне дужине путева на неком шумском подручју и површине тог подручја (формула 1.). Примарна апсолутна отвореност се ријетко изражава за просторне јединице мање од привредне јединице.

$$O_p = \frac{L_p}{P} (m \cdot ha^{-1}) \quad (1)$$

Гдје је:  $O_p$  – примарна апсолутна отвореност ( $m \cdot ha^{-1}$ ),  $L_p$  – дужина примарних шумских путева ( $m$ ),  $P$  - површина за коју се отвореност одређује ( $ha$ ).

У обрачун примарне отворености се узимају сви путеви на које је могуће привлачење дрвета. Међутим, како на јавним путевима утовар дрвета није дозвољен, у калкулацију примарне отворености поред шумских путева узимају се углавном сеоски путеви који су Законом о јавним путевима Републике Српске (Службени гласник Републике Српске 89/13) сврстани у некатегорисане путеве.

Сам податак о нивоу апсолутне отворености у шумском подручју не показује стварно ништа друго до дужине путева на одређеној површини, те се он најчешће користи са осталим параметрима отворености. Тек се упоредним разматрањем примарне класичне отворености и средње удаљености привлачења може стећи јасан увид у стварне и квантитативне (количина примарних шумских путева) и квалитативне (просторна покривеност шумским путевима) параметре примарног шумског транспортног система (Pentek i dr., 2014).

Pentek i dr. (2011) према дефинисаном временском периоду, нивоу планирања и дефинисаним циљевима разликују пет варијанти мреже примарне апсолутне отворености: i) постојећа примарна апсолутна отвореност, ii) минимална потребна примарна апсолутна отвореност, iii) планирана примарна апсолутна отвореност, iv) циљана примарна апсолутна отвореност и v) оптимална примарна апсолутна отвореност.

### 2.5.2. Секундарна апсолутна отвореност шума

Секундарна апсолутна отвореност шума се код примјене транспортног система привлачења дрвета по земљи зглобним тракторима одређује за мрежу секундарних шумских путева коју чине тракторски путеви и тракторске влаке. Исто као у случају примарне апсолутне отворености, секундарна апсолутна отвореност се добија из односа укупне дужине свих тракторских путева и влака и површине на којој се оне налазе (формула 2.).

$$O_s = \frac{L_s}{P} (m \cdot ha^{-1}) \quad (2)$$

Гдје је:  $O_s$  – секундарна апсолутна отвореност ( $m \cdot ha^{-1}$ ),  $L_s$  – дужина секундарних шумских путева ( $m$ ),  $P$  - површина за коју се отвореност одређује ( $ha$ ).

Секундарна апсолутна отвореност изражава се обично на нивоу састојине или цијелог одјела, док се за веће шумско подручје, попут слива или привредне јединице изражава као просјечна апсолутна отвореност.

### **2.5.3. Средња удаљеност привлачења дрвета**

Удаљеност привлачења дрвета представља удаљеност на којој се дрвни сортименти, дијелови стабла или цијела стабла транспортују у оквиру прве фазе транспорта дрвета. Како се ова фаза, која се према Николићу (1993) назива унутрашњим транспортом обавља у оквиру шуме, то је транспорт дрвета у њеним оквирима ограничен на растојање од мјеста сјече до камионског пута. Дрво које је приликом реализације етата потребно транспортовати из појединих одјела налази се најчешће неравномјерно разбацано на одређеној површини. Пошто се удаљеност привлачења никада не одређује за сваки сортимент који је предмет транспорта, за укупну површину одјела, одсјека или транспортне зоне која је дефинисана најчешће положајем камионског пута или смјером привлачења, одређује се просјечна вриједност која се назива средња удаљеност привлачења дрвета. При томе се фактор неравномјерног распореда дрвета које је предмет привлачења ради лакшег одређивања најчешће занемарује.

У односу на начин на који се одређује, најчешће прихваћена подјела средње удаљености привлачења је на теоријску, геометријску и стварну. Теоретска средња удаљеност привлачења се одређује за теоретске моделе код којих се не располаже подацима о дужини и распореду мреже шумских путева. Средња удаљеност привлачења се одређује помоћу математичких модела, а њихова примјена је могућа у равничарским подручјима код којих мрежа камионских путева има правилан геометријски облик.

У оним случајевима у којима је удаљеност привлачења одређена на картама са уцртаним путевима, Pentek i dr. (2004) разликују постојећу геометријску и постојећу стварну средњу удаљеност привлачења. Средња геометријска удаљеност привлачења одређује се методом тежишта површина. Савременим се алатима интегрисаним у различите програмске платформе тежиште неправилних површина које представљају одјеле, одсјеке или транспортне зоне одређује доста брзо и тачно, а средња удаљеност привлачења представља праволинијско растојање између њега и

најближе тачке на постојећем камсионском путу. Ова метода одређивања средње удаљености привлачења се, према Petković i dr. (2017), користи када се не располаже подацима о дужини тракторских влака или секундарној отворености.

У оним случајевима у којима располажемо информацијама о просторном положају и дужини тракторских путева и влака у одјелу, одређује се стварна средња удаљеност привлачења. Ова удаљеност привлачења се одређује примјеном различитих формула које користе дужине тракторских влака којима се привлачење стварно обавља. Ово је истовремено и најтачнији начин одређивања средње удаљености привлачења дрвета.

Између наведених врста средњих удаљености привлачења могућа је њихова међусобна трансформација коришћењем одговарајућих фактора корекције. За трансформацију теоријске у геометријску удаљеност привлачења користи се мрежни фактор корекције –  $k_m$ . Његове вриједности су према Backmundu (1968) 1,3 за низину, 1,4 за брдо и 1,52 за планинско подручје. Према Abbegu (1978) вриједност мрежног фактора се креће између 1,0 и 1,53.

Фактор корекције привлачења –  $k_p$  се користи код трансформације геометријске у стварну средњу удаљеност привлачења, а према Segebadenu (1964) за низијска и планинска подручја Шведске износи 1,2 и 1,5, док се према Abbegu (1978) овај фактор у Швајцарској се креће од 1,15 до 1,65. Leroglavec (2014) наводи да је у три привредне јединице у Хрватској у горском и претпланинском рељефном подручју фактор корекције привлачења 1,55 и 1,7. За подручје привредних јединица Просара и Козара-Мљечаница, Petković i dr. (2017) су утврдили просјечни фактор корекције привлачења од 1,84 и 1,85. Стварна средња удаљеност привлачења се најчешће одређује преко геометријске средње удаљености привлачења примјеном одговарајућих фактора корекције привлачења, што због недостатка информација о мрежи тракторских путева и влака што због поједностављења рачунског поступка.

За претварање теоријске у стварну средњу удаљеност привлачења користи се свеукупни фактор корекције –  $k_s$ . У шумском подручју сјеверног Ирана Lotfalian et al. (2011a и 2011b) добијају вриједност свеукупног фактора корекције 4,2 при просјечном нагибу терена од 40% и 2,3 при просјечном нагибу терена од 34%. Према Segebadenu (1964) овај фактор се креће од 1,75 у брдском до 2,3 у планинском

подручју. FAO (1974) наводи да је овај фактор од 1,6 до 2 у брдским, те чак и изнад 3,6 у планинским подручјима.

#### 2.5.4. Релативна отвореност шумског подручја

##### 2.5.4.1. Примарна релативна отвореност

За разлику од класичне отворености шума која се изражава у апсолутним вриједностима и представља само бројчани податак о дужини путева на одређеној шумској површини, релативна отвореност даје увид у просторни распоред шумских путева, а заједно са коефицијентом ефикасности и у квалитет цјелокупне мреже путева на одређеном подручју. Релативна отвореност представља однос површине шумског простора која је отворена путевима за двоструку вриједност циљане геометријске средње удаљености привлачења и укупне површине шумског подручја (формула 3.).

$$O_{RP} = \frac{P_O}{P_U} \cdot 100 (\%) \quad (3)$$

Гдје је:  $O_{RP}$  – примарна релативна отвореност (%),  $P_O$  – површина отворена за израчунату циљану стварну средњу удаљеност привлачења (ha),  $P_U$  – укупна површина отвараног подручја (ha).

Циљана средња удаљеност привлачења према Penteku i dr. (2004) је она средња удаљеност привлачења којој се тежи као коначној у поступку отварања шума. Ова удаљеност привлачења представља параметар циљане отворености.

Описана релативна отвореност се односи на примарну мрежу, односно на шумске камионске путеве. На исти начин се одређује секундарна релативна отвореност с тим што се умјесто средње удаљености привлачења за вриједност ширине омеђене површине користи дужина ужета на витлу скидера, дужина дохвата дизалице на форвардеру или дужина ужади за бочно привлачење уколико се за привлачење користи шумска жичара.

Примарна и секундарна релативна отвореност према Penteku i dr. (2010) омогућавају:

- Процјену квалитета и ефикасности примарне шумске транспортне инфраструктуре,

- Процјену квалитета мреже примарне шумске транспортне инфраструктуре, утврђивање потребе даљег отварања и дефинисање неотворених површина,
- Планирање будућих траса примарних шумских комуникација те избор најповољнијих и најчинковитијих,
- Процјену квалитета мреже секундарне шумске транспортне инфраструктуре, утврђивање потребе даљег отварања и дефинисање неотворених површина,
- Планирање будућих траса секундарних шумских комуникација те избор најповољнијих и најчинковитијих,
- Израда планова свеобухватног отварања шума примарном и секундарном шумском транспортном инфраструктуром.

Оцјена примарне релативне отворености врши се помоћу система процјене према Penteku i dr. (2005) који је приказан у табели 2., док је систем процјене секундарне релативне отворености дефинисан према Penteku i dr. (2010) приказаном у табели 3.

**Табела 2.** Систем процјене примарне релативне отворености према Penteku i dr. (2005)

Релативна отвореност (%)	Оцјена отворености
<55%	Недовољна отвореност
55-65%	Слаба отвореност
65-75%	Једва добра отвореност
75-85%	Врло добра отвореност
>85%	Одлична отвореност

**Табела 3.** Систем процјене секундарне релативне отворености (Pentek, 2002) према Penteku i dr. (2010)

Релативна отвореност (%)	Оцјена отворености
<60%	Недовољна отвореност
60-70%	Слаба отвореност
70-80%	Једва добра отвореност
80-90%	Врло добра отвореност
>90%	Одлична отвореност

#### 2.5.4.2. Секундарна релативна отвореност

Поступак одређивања секундарне релативне отворености је у основи исти као и поступак одређивања примарне релативне отворености. Састоји се од полагања омеђених површина око секундарних шумских комуникација, односно тракторских путева и влака. За ширину омеђене површине код начина привлачења дрвета

трактором по земљи узима се одабрана дужина ужета на витлу. Приликом одређивања норме учинка код привлачења дрвета трактором Јединственим нормама радова у шумарству (Соколац, 2002) дефинисане су три средње удаљености привлачења витлом од 10, 20 и 30 m. На основу ових средњих удаљености, као ширине омеђене површине могуће је узети максималне дужине ужета на витлу од 20, 40 и 60 m.

Максимална дужина ужета витла резултат је економских, еколошких и ергономских фактора. Sokolović и др. (2011) сматрају да се минимални трошкови привлачења могу остварити са дужином ужета од 40 до 60 m, док Ričman et al. (2011) у привредној јединици Бован-Јелар приликом надоградње постојеће мреже тракторских влака користе дужину ужета на витлу од 45 m из разлога хуманизације рада и прилагођавања захтјевним условима терена. Према Ljubojeviću et al. (2018), анализом три варијанте мреже тракторских влака код којих се привлачење дрвета витлом обавља на средњим удаљеностима од 10, 20 и 30 m утврђено је да не долази до значајније промјене трошкова привлачења дрвета, те да су средње удаљености привлачења витлом испод 30 m неповољне са економског и еколошког стајалишта.

У циљу примјене омеђених површина, код одређивања секундарне релативне отворености, Pentek et al. (2010) и Ričman et al. (2011) препоручују кориговање изабране дужину ужета на витлу због хоризонталних препрека и нагиба терена у смјеру привлачења и том приликом примјењују факторе корекције дужине ужета од 10% или 20%. Након полагања омеђених површина око свих тракторских путева и влака и одређивања њихове површине, секундарна релативна отвореност сваке састојине или транспортне зоне добијена је помоћу формуле 4.

$$O_{RS} = \frac{P_O}{P_U} \cdot 100 (\%) \quad (4)$$

Гдје је:  $O_{RS}$  – секундарна релативна отвореност (%),  $P_O$  – површина отворена за одабрану дужину ужета на витлу (ha),  $P_U$  – укупна површина састојине или транспортне зоне (ha).

Након одређивања бројчаних вриједности секундарне релативне отворености, свака састојина или транспортна зона је категорисана у једну од категорија секундарне релативне отворености дефинисане према систему процјене датом у табели 3.



### 2.5.5. Коефицијент ефикасности

Заједно са релативном отвореношћу одређује се и коефицијент ефикасности мреже путева у шумском подручју. Овај коефицијент се добија из односа вишеструко отворене површине и укупне отворене површине према формули 5.

$$K_E = \left(1 - \frac{P_N}{P_O}\right) \cdot 100 (\%) \quad (5)$$

Гдје је:  $K_E$  – коефицијент ефикасности (%),  $P_N$  – површина вишеструко отвореног подручја (ha),  $P_O$  – укупна отворена површина (ha).

Практично, овај коефицијент представља квалитет мреже путева у погледу њеног просторног распореда и већи је код мрежа мање густине. Са повећањем густине мреже путева, међусобни утицај већег броја путева се повећава због чега се његова вриједност смањује.

### 2.6. Газдовање састојинама букве и јеле и узгојна техника

Први уређајни елаборат за привредну јединицу Козара планина израђен је 1929. године. Са површином од 31.291 ha, у својим оквирима Козара планина је садржавала данашње привредне јединице Козара-Мљечаница, Козара-Врбашка, Козара-Бањалучка и Козара-Приједор. Првим уређивањем после другог свјетског рата 1952. године, извршена је процјена шума за цијело шумскопривредно подручје Козарачко те су израђене Основа обнове шума за уређајни период од 10 година и Општи уређајни елаборат.

Иако се приликом овог уређивања није нарочито детаљисало у процјени дрвне запремине, категоризацији састојина и издавању високих и ниских шума, сматрало се да је постигнута солидна основа за газдовање шумама унутар којих се налазила и привредна јединица Козара-Мљечаница. Овим уређајним елаборатом мјешовите састојине букве и јеле у Козари-Мљечаници означене су као пребирне шуме четинара и лишћара у којима ће се проводити углавном пребирне сјече. Коришћење шума заснивало се на трајности газдовања и обиму сјеча који неће нарушити структуру дрвне залихе и однос заступљености четинара и лишћара у смјеси.

Оквир привредне јединице Козара-Мљечаница који је скоро идентичан данашњем, дефинисан је уређивањем шума 1962. године када је дио површине издвојен из ове привредне јединице у циљу формирања шуме од историјског значаја, односно Националног парка Козара. Ово уређивање се сматрало далеко озбиљнијим од претходног јер је извршена детаљнија процјена дрвне запремине и њене расподеле по деблањским степенима ради увида у структуру састојина и омјер смјесе.

За разлику од претходног уређајног периода, у Посебном уређајном елаборату за ову привредну јединицу од 01.01.1963. године, први пут је исказана дрвна запремина високих шума у деблањском степену од 0-10 cm. Висина запреминског прираста у овом случају је одређена на основу прирасних таблица израђених за јелу, смрчу и букву на подручју Босне и Херцеговине, а све до тада прираст је одређиван према Упутствима за дознаку стабала и одређивање прихода у пребирним шумама из 1937. године. Истим је уређивањем издвојено 16% мање високих шума, али је евидентирано повећање од 14% у дрвној запремини у односу на претходну шумскопривредну основу. Евидентирано је и повећање запреминског прираста за 24%, што се правдало примјеном нових таблица за његово установљавање.

Међутим, и даље су се ове састојине сматрале пребирним у којима је потребно проводити пребирне сјече чији је циљ постизање групимично пребирне структуре уз фаворизовање четинара да би се успоставио што повољнији однос четинара и лишћара. Како је у већини састојина просјечна дрвна запремина по јединици површине била већа од минимално утврђене према упутствима за дознаку стабала у пребирним шумама, сјекла се сва разлика до наведеног минимума који мора да остане као стални инвентар увећан за петогодишњи прираст. Сјекло се и у састојинама у којима је постојећа запремина била испод минималне, али је у сваком случају побољшање квалитета састојина општи циљ који се сјечама требао испунити.

У цијелом шумскопривредном подручју настојало се да се газдовање унифицира за све састојине ослањајући се на принципе пребирне сјече. Тако је шумскопривредним основама, пребирно газдовање прописивано и у састојинама у којима његова примјена уопште не долази у обзир, као што су чисте или мјешовите састојине у првом реду букве и храста китњака. Како наводе Матић и др. (1969), у Босни и

Херцеговини пребирни систем прокламован је као универзалан за све врсте и категорије шума.

На основу Закона о шумама објављеног 1965. године којим је била дефинисана обавеза доношења шумскопривредних основа, шумскопривредно подручје Козарачко 1968. године добија нову основу за газдовање шумама израђену према Нацрту упутства за израду шумскопривредних основа из 1966. године. Тек је оквиром ове основе газдовања прихваћено да је из разлога неуједначене структуре и стања састојина на овом шумскопривредном подручју потребно примијенити онај начин сјеча који ће обезбједити нормално стање у којем се шума, према Матићу (1969), налази када њен принос задовољава и када се из године у годину из ње добијају потпуно уједначени приходи.

Истовремено је први пут предложено напуштање класичних пребирних сјеча, те у зависности од конкретног случаја прелазак на систем скупинастих сјеча, пребирних сјеча или чак и оплодних сјеча. У односу на висину и структуру залихе по јединици површине и омјеру смјесе врста дрвећа, закључено је да је извођење пребирних сјеча могуће само у малом броју састојина. Међутим, ни у овим случајевима њихова примјена у класичном облику не долази у обзир, док је у мјешовитим састојинама букве и јеле у одређеним случајевима могућа примјена групимично пребирних сјеча. У ствари, разврставање састојина за које је потребно провести одређене начине сјеча извршено је на следећи начин:

Састојине јеле и букве у којима је учешће јеле 0,5 или више. У оваквим састојинама дрвна запремина је блиска нормалној, а дебљинска структура је правилно успостављена па је потребно провести групимично пребирне сјече којима ће се фаворизовати ширење јеле. Овакве сјече би се примјењивале у оним састојинама у којима дрвна запремина није испод  $250 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , а степен склопа испод 0,6.

Састојине јеле и букве знатно прорјеђене. У доњој етажи се налазе младе састојине у различитом стадијуму развоја, док се у горњој етажи налази одређен број презрелих и некавалитетних стабала. У подстојној етажи је потребно повећати прираст па је предвиђена примјена скупинастих сјеча уз истовремено извођење мјера његе по принципу позитивне и негативне селекције.

Састојине јеле и букве, приближно средњедобне. Групе стабала јеле и букве су мозаично измјешане. У обзир долази примјена високих селективних прореда, чији интензитет зависи од броја стабала и степена склопа.

Газдовање пребирним сјечама, према овој шумскопривредној основи, долазило би у обзир само у мјешовитим састојинама букве и јеле и то у оним случајевима у којима се одржала пребирна структура. Како се, међутим, сматрало да се ни у овим састојинама та структура у највећој мјери није одржала вјероватно из разлога неодговарајуће примјене предвиђеног система, шумскопривредном основом из 1973. године предвиђа се потпуно напуштање пребирних сјеча и прелазак на слободну технику гајења шума и групимично газдовање.

Слободна техника гајења шума јавила се као реакција на до тада примјењиване најчешће пребирне или оплодне сјече. Идеал којем тежи овај систем заснива се на унапређењу производног потенцијала станишта и избору узгојне технике којом је могуће постићи максималну производњу. Остваривање овог идеала, Млиншек (1968) види кроз прилагођавање узгојне технике свакој станишној и састојинској нијанси, при чему се узгојни захвати у састојини мијењају од мјеста до мјеста према њеним потребама и потребама друштва. Дакле, ради се о једној еластичној узгојној техници која се прилагођава хетерогеним стањима састојина уз уважавање продукционе способности сваког дијела састојине.

Бавећи се проблемом газдовања високим буковим шумама у Србији, Милин (1974) разрађује групимично газдовање чију узгојну компоненту заснива на слободној техници гајења шума. Основно обиљежје састоји се у слободном избору и комбиновању разних начина његе састојина, као и разних начина обнављања (Милин, 1974), при чему је у једној састојини, у зависности од узгојног облика појединих њених дијелова, истовремено могуће изводити чисту сјечу, оплодну сјечу или један од њених сјекова, групимично постепено, проредну или пребирну сјечу.

Основни елемент је, према томе, у групимичном газдовању узгојна група, која представља дио састојине одређених узгојних потреба и њима одговарајућих узгојних захвата. Издавање узгојних група, Милин (1988) врши на основу следећих критеријума:

1. Степен склопљености – склопљене и разређене (прекинутог склопа)
2. Степен зелости – младе, средњедобне, дозријевајуће и зреле
3. Степен подмлађености – подмлађене и неподмлађене ( подмлатак риједак, недовољан по површини и обраслости за формирање нове састојине)

Да би нови систем газдовања могао да се примијени, мјешовите састојине букве и јеле у привредној јединици Козара-Мљечаница требало је издиференцирати на карактеристичне узгојне групе које имају приближно исти стадијум развоја и узгојне захтјеве те за њих одредити посебне циљеве газдовања и узгојне третмане. У том смислу, у газдинској класи мјешовитих састојина букве и јеле, према шумскопривредној основи, дефинисане су три узгојне групе:

Склопљене мјешовите високе састојине букве и јеле. Представљају економски највриједније састојине у шумскопривредном подручју. Слабо су подмлађене, добро склопљене. Приликом извођења сјеча не води се рачуна о обнављању. Главни захвати сјеча усмјерени су на повећање производње дрвне запремине и њеног квалитета. Сјечом је потребно осигурати да се изабраним стаблима која су носиоци прираста омогући несметан развој, па је она у овом случају имала карактер позитивне селективне прореде јаког интензитета. Интензитет захвата по запремини мора да буде у функцији задовољења постављених циљева, прије свега повећања и његовања прираста најквалитетнијих стабала и измјене заступљености четинара и лишћара на 70:30.

Разријеђене мјешовите високе састојине букве и јеле без подмлатка. Главни захвати у овој узгојној групи усмјерени су ка обнављању. Опште подмладно раздобље износи око 4 опходњице, при чему је потребно постићи групимичну смјесу четинара и лишћара у односу 70:30. Фактички би се у свакој опходњици обим сјеча кретао на нивоу од око 25% од постојеће дрвне залихе. Међутим, интензитет захвата по запремини у овој узгојној групи мора да буде у функцији обнове па наведени ниво од 25% представља само оријентациону вриједност. Када је у питању обнова, преваходно се треба ослонити на природно подмлађивање код којег је приоритет потребно дати четинарима.

Младе састојине букве и јеле са или без надстојних стабала. То су састојине у којима се у прошлости проводио стаблмични пребир, али изглед састојине одаје слику

оплодног газдовања код којег није проведен завршни сијек па се формирала млада састојина са мјестимично заступљеним матичним стаблима у надстојној етажи. Главни захвати сјеча морају да буду усмјерени на уклањање надстојне етаже, а да ли ће се она уклонити у једном или неколико сјекова, зависи од мјере у којој је она заступљена и стања младе састојине. У младој састојини потребно је проводити мјере његе, односно, чишћење и прореде, при чему је потребно водити рачуна о предвиђеном омјеру смјесе четинара и лишћара.

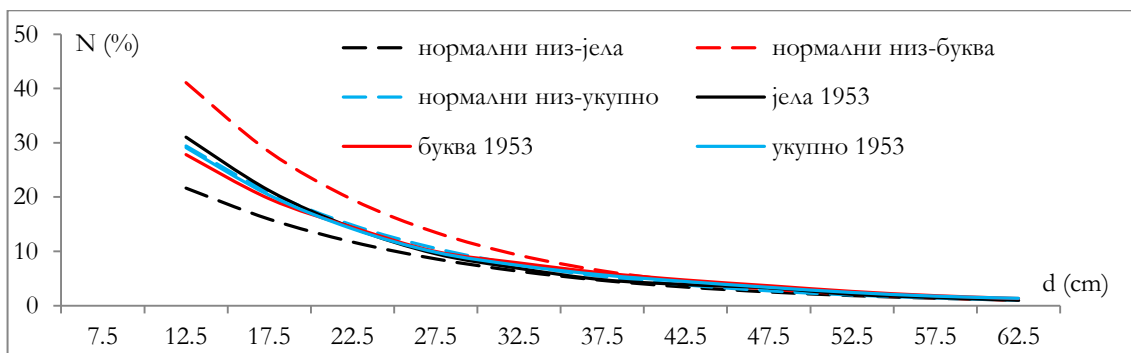
Обим сјеча код овог уређивања одређен је по узгојним облицима и газдинским класама на основу запреминског прираста и пробне дознаке те је код четинара у високим шумама мањи од прираста за 11,8%, док је код лишћара већи за 19%. Интензитет сјече је износио 15,7% за јелу и 24,8% за букву, односно 20,4% укупно. До првог повећања обима сјеча у мјешовитим шумама букве и јеле дошло је израдом анекса шумскопривредне основе 1969. године, јер се сматрало да је етаж четинара далеко испод стварних приносних могућности ових састојина. Иако је анексом одобрено повећање сјеча код четинара за 18.859 m<sup>3</sup>, уређивањем у 1973. години констатовано је повећање учешћа четинара у омјеру смјесе у овим састојинама.

До краја овог уређајног периода сматрало се да је уобичајено учешће јеле у смјеси 0,7 до 0,8, а букве 0,3 до 0,2. Према томе, структура ових састојина требала је у потпуности да се ослања на јелу као главну врсту дрвећа. Међутим, заступљеност појединих врста у запремини мјешовитих састојина био је нешто другачији, а ти су односи по уређајним периодима били следећи:

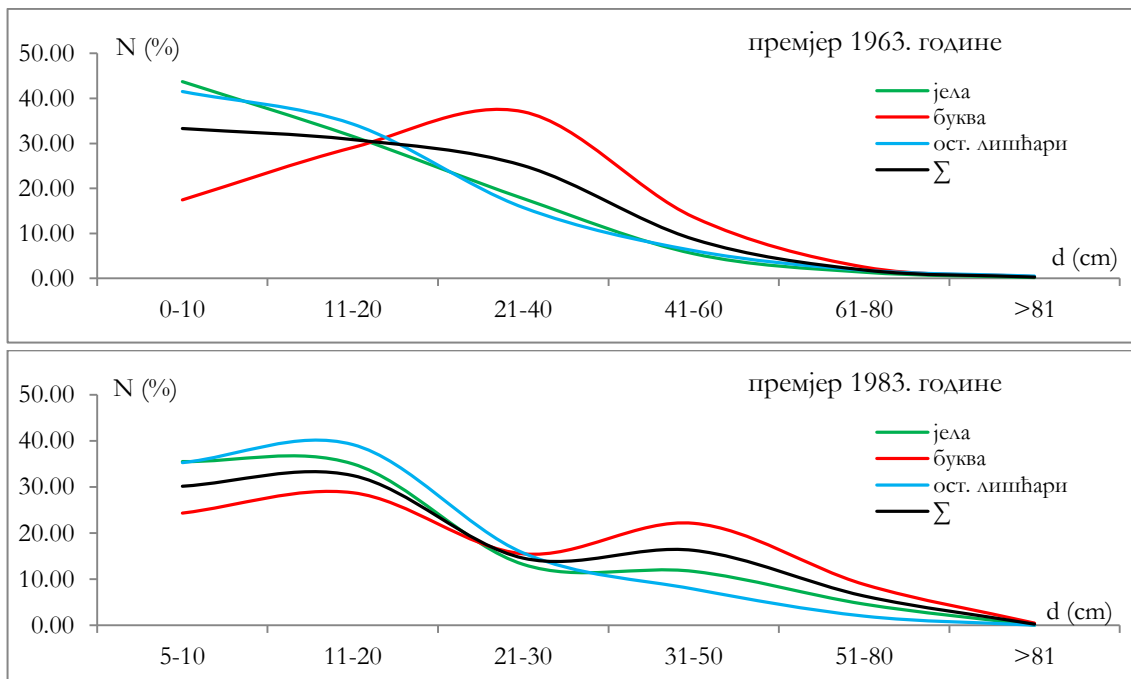
Премјер	Јела	Буква	Остали лишћари
1953	<b>0,39</b>	<b>0,56</b>	<b>0,05</b>
1963	<b>0,39</b>	<b>0,59</b>	<b>0,02</b>
1973	<b>0,40</b>	<b>0,60</b>	<b>0,00</b>

Иако је плановима газдовања предвиђано повећање учешћа четинара у већој мјери, из њиховог односа за наведена три уређајна периода види се да је дошло до незнатног повећања удјела јеле у смјеси мјешовитих састојина. Јасно је, међутим, да до измјене омјера смјесе у корист јеле за 30% није могло доћи у кратком временском периоду те се морало рачунати да се тај циљ оствари тек кроз неколико уређајних периода.

Пребирно газдовање је у највећој мјери везано за јелу, те према Милину (1974) заступљеност јеле у смјеси мора бити од 20 до 30% да би се структура састојине могла ослањати на њу као главног носиоца. Према томе, бар са становишта омјера смјесе и потребног учешћа јеле пребирно газдовање је у овим састојинама ипак било могуће.



**Слика 3.** Расподјела броја стабала према премјеру 1953 године и нормални низови по врстама дрвећа и укупно



**Слика 4.** Расподјела броја стабала по дебљинским степенима према премјеру 1963 и 1983 године

И у односу на дебљинску структуру састојине, може се закључити да је услов за пребирно газдовање био испуњен. На основу расподјеле стабала по дебљинским степенима приказане на слици 3., дебљинску структуру мјешовитих састојина букве и јеле 1953. године карактерише стално опадајућа расподјела броја стабала

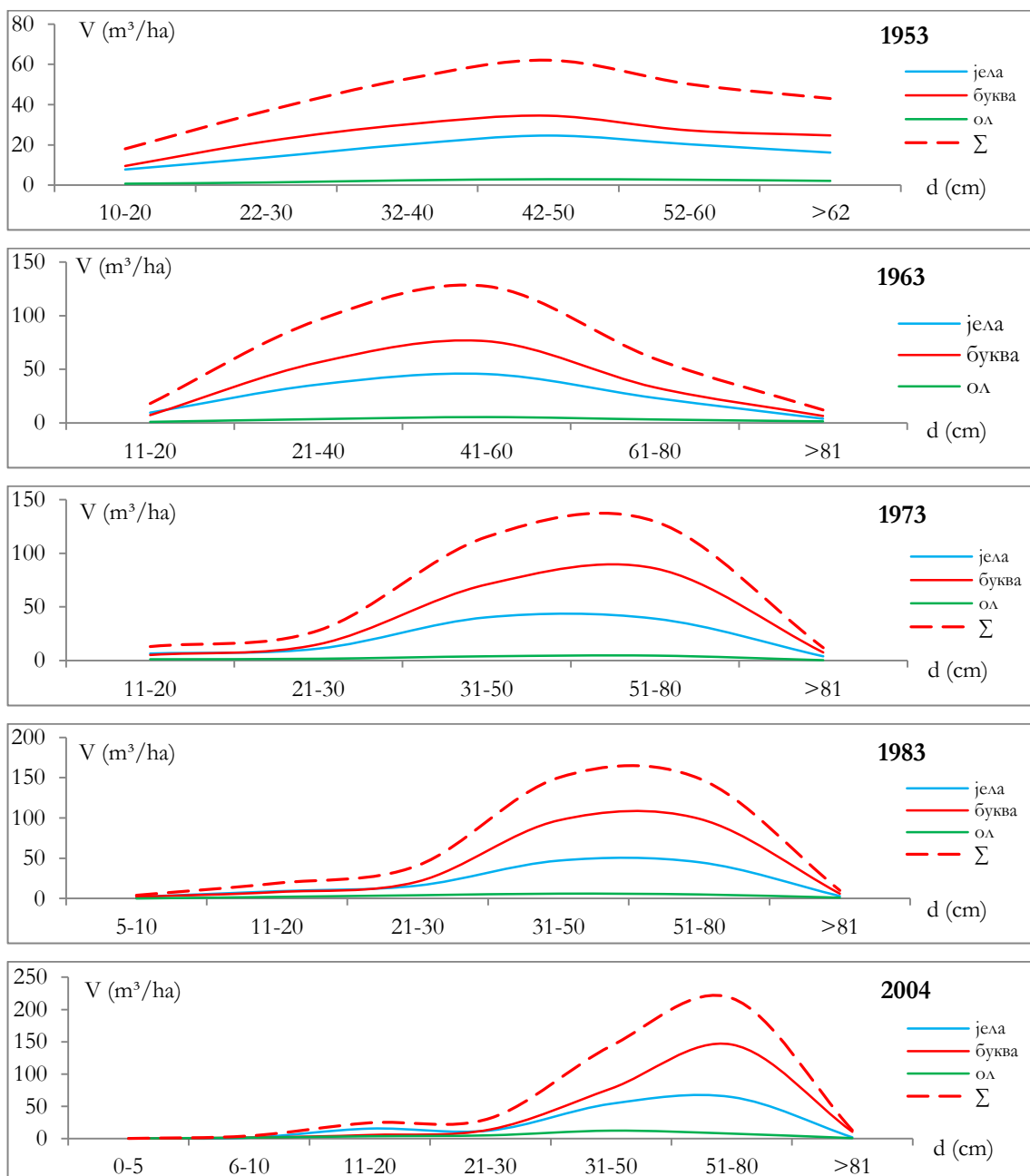
карактеристична за пребирне шуме. Упоредивањем стварне расподеле броја стабала и нормалних низова види се да је код букве број тањих стабала која треба да надокнаде посјечена стабла мањи од нормалног док је у случају јеле ових стабала више.

Слична расподела броја стабала код јеле запажа се приликом уређивања 1963. године (слика 4.), док крива расподеле укупног броја стабала постепено опада до дебљинског степена 30 cm, а затим нагло до дебљинског степена од 70 cm. Оваква расподела укупног броја стабала последица је расподеле стабала букве чији се максимум налази у дебљинском степену од 21-40 cm те је ова расподела блиска нормалној. Иако се у овом случају не ради о типичној пребирној структури, у односу на планове газдовања ове двије дебљинске структуре донекле прате предвиђене системе сјеча.

Према премјеру 1983. године, расподела броја стабала у мјешовитим састојинама добија облик карактеристичан за разнодобне састојине са изражене двије старосне групе. Анексом шумскопривредне основе 1968. године започиње се са напуштањем пребирних сјеча па би оваква расподела могла да буде резултат примијењених сјеча. Међутим, с обзиром на закључке у плановима газдовања, без обзира на предвиђене облике сјеча оваква расподела је највјероватније настала као резултат неуредних пребирних сјеча које су извођене као опходне сјече са дугим периодом обнављања.

Поређењем броја стабала по дебљинским степенима са нормалним низом за букву, јелу и укупно за све врсте, закључује се да постоје одређене разлике у дебљинској структури нормалне расподеле и расподеле у вријеме уређивања 1953. године. Нормални низ броја стабала добијен је на основу Liocourtovoг закона о расподјели броја стабала у пребирној састојини према којем број стабала расте од дебљих према тањим дебљинским степенима у виду геометријске прогресије. У ствари, однос броја стабала између два сусједна дебљинска степена у пребирној састојини је константан и дефинисан је коефицијентом  $k$ . Вриједност коефицијента  $k$  у пребирним шумама се креће од 1,2 до 1,5 при чему је његова вриједност већа код врста дрвећа које засјену подносе у мањој мјери. Коефицијент  $k$  за букву (Кнегињић, 2009) 1,45, јелу 1,36, а укупно 1,40.





**Слика 5.** Расподјела запремине по дебљинским степенима према премјеру 1953, 1963, 1973, 1983 и 2004 године

Код премјера у 1953. години дебљинска структура запремине (слика 5.) је звоноликог облика са највећим учешћем запремине у средњим дебљинским степенима. Међутим, због релативно ниске јединичне запремине у том периоду од свега  $263 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , те њеног ниског учешћа у појединим дебљинским степенима, расподјела је у овом случају нешто више спљоштена у односу на касније премјере. Иако је ова просјечна запремина по хектару сматрана задовољавајућом, заступљеност запремине у вишим дебљинским степенима је јако мала, што је вјероватно резултат провођења

екстензивне пребирне сјече. И код премјера 1963. године, дебљинска структура запремине је звонолика са благо израженом десном асиметријом али и евидентним повећањем учешћа запремине у вишим дебљинским степенима. У односу на расподјелу броја стабала по дебљини, може да се закључи да ове двије расподјеле прате једна другу. Дебљинској структури броја стабала 1953. године потпуно одговара дебљинска структура запремине. Како расподјела стабала има хиперболичан облик, расподјела запремине је зонолика са највећим учешћем запремине у средњим дебљинским степенима. Код премјера 1963. године, асиметрију расподјеле запремине узрокује веће учешће стабала букве у дебљинском степену од 21-40 cm.

Код каснијих премјера утврђено је повећање просјечне запремине по хектару, а расподјела запремине од премјера 1973. године постаје лијево асиметрична, односно долази до помјерања дебљинске структуре запремине из дебљинског степена од 42-50, односно 41-60 cm у дебљински степен 51-80 cm. Премјером 1983. године, код дебљинске структуре броја стабала јасно су изражене двије старосне групе, једна у дебљинском расзреду 11-20 cm, а друга од 31-50 cm. С обзиром да стабла у дебљинском степену 31-50 cm имају већу запремину, њихов утицај на укупну запремину састојине је већи од утицаја тањих стабала због чега је дебљинска структура помјерена у више дебљинске степене.

Како се након дуго примјењиваног система газдовања пребирним сјечама настојало прећи на подеснији облик газдовања који одговара стању и потребама мјешовитих састојина јеле и букве и јеле, смрче и букве, започело се са завођењем система газдовања скупинасто-пребирним сјечама. Примјена скупинасто-пребирног система газдовања за мјешовите састојине букве и јеле први пут је предвиђена шумскопривредном основом израђеном за период од 01.01.1983. до 31.12.1992. године. Разлог за прелазак на овај систем газдовања налазио се у великој хетерогености састава састојина у погледу дебљинске и висинске структуре, квалитета и заступљености развојних стадијума, што је директна посљедица дугогодишњег провођења пребирних сјеча.

У односу на претходне уређајне периоде, у овом уређајном периоду, техничким циљем газдовања предвиђено је смањење учешћа јеле са 0,7 на 0,4, док је предвиђено учешће букве у смјеси 0,5 а племенитих лишћара 0,1. Са друге стране, интензитет

сјече је повећан за све врсте и износио је за четинаре 27%, за лишћаре 30,2%, односно, просјечно 29,2%.

Уређивањем су у газдинским класама свих високих шума, укључујући и шуме букве и јеле, издвојене следеће узгојне групе:

1. Зреле састојине или дијелови састојина нормално склопљени, са површином 1056,10 ha и запремином од  $459 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ,
2. Средњедобне до дозријевајуће састојине или дијелови састојина нормално склопљени, површине 1080,80 ha и  $402 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ,
3. Састојине или дијелови састојина прекинутог склопа – подмлађене, површине 389,50 ha и  $194 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ,
4. Састојине или дијелови састојина прекинутог склопа – неподмлађене, који се налазе на површини од 99,90 ha са запремином од  $141 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ,
5. Младе састојине или дијелови састојина са причувцима или без њих, површине 155,80 ha и  $200 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  запремине.

За период од 01.01.1993. до 31.12.2002. године израђени су уређајни елаборати, с обзиром да се прије 1992. године завршило са теренским радовима у циљу израде нове шумскопривредне основе. Међутим, до израде шумскопривредне основе за овај уређајни период никада није дошло због чега се газдовало на основу наведених уређајних елабората и једногодишњих планова газдовања. О квалитету газдовања у овом периоду и начину извођења сјеча тешко је дати објективан закључак. Сјече су се изводиле углавном према потреби. Због скоро никаквог пласмана дрвних сортимената интензитет сјече је био мањи у односу на предвиђени шумскопривредном основном за претходни уређајни период, а сјечом је требало обезбједити трајност газдовања уз побољшање количине и квалитета приноса. Облик сјеча који се проводио у том времену може да се окарактерише као стаблмични пребир, док су се обим сјече, врста дрвета, развојни стадијуми састојине у којима су вршени захвати и одјели за сјечу бирали на основу тренутних потреба, а не на основу усвојеног плана сјеча и техничких циљева дефинисаних за сваку газдинску класу.

Шумскопривредном основном и плановима газдовања за период од 01.01.2004. до 31.12.2013. године и даље се предвиђа примјена скупинасто-пребирних сијеча. Иако

је овај систем погодан за примјену у чистим и мјешовитим састојинама сциофитних врста дрвећа, плановима газдовања за овај уређајни период његова примјена предвиђена је у свим газдинским класама шумскопривредног подручја.

Код примјене овог система газдовања, на цијелој површини састојине се истовремено проводе главне сјече и прореди, при чему се у првој фази његове примјене, како наводи Матић (1970а), у циљу санирања лошег стања састојина главне сјече проводе на малим површинама од 0,1 до 0,3 ha и то као голе сјече. У овој фази, скупинама се обухватају само партије презрелих стабала, партије лоших и ријетких стабала, рубна стабла плешина и све оне партије које треба посјећи јер се постојећим стаблима производни простор не користи у довољној мјери. Након сјече, ове скупине је потребно пошумљавати.

Примјеном система газдовања скупинасто-пребирним сјечама у првом плану је истакнут принцип континуитета производње. Циљ је у потпуности искористити производну способност станишта, а све оне дијелове састојине у којима то није случај потребно је обухватити главним сјечама већ у првој фази. Дијелови састојина који се издвајају као скупине према наведеном принципу континуитета ће се, према Матићу (1973), исцрпити након двије до три опходњице, а након тога, главним сјечама треба обухватити дијелове састојина на којима су пречници стабала достигли завршне дебљинске степене и партије стабала малог запреминског прираста.

У узгојном погледу, скупинасто-пребирни систем се утемељио на Млиншековој слободној техници гајења шума и Милиновом групимичном газдовању. У зависности од узгојног захтјева одређених узгојних група могућа је примјена различитих узгојних третмана код извођења сјеча обнове. На оним скупинама на којима се можемо ослонити на природни подмладак, у цјелости или једним дијелом, проводе се оподне сјече или само нека од фаза оподне сјече, док су могуће и пребирне сјече или одређене врсте рубних сјеча (Дринић, 1979). Фактички би се са провођењем ових врста сјеча на скупинама започело тек у другој фази, односно након пошумљавања свих скупина из прве фазе.

Укупна површина скупина у једном уређајном периоду добија се из односа дужине трајања уређајног периода и дужине претпостављеног продукционог периода. Удио скупина у појединим састојинама може знатно да варира, што зависи од њиховог

стања и потребе да се на одређеним дијеловима састојине започне са обнављањем. Међутим, без обзира колико ови односи могу да варирају између појединих састојина, укупна површина скупина на нивоу газдинске класе не би требала да се прекорачи. С обзиром да се скупинасто-пребирне састојине уређују као пребирне, продукциони период има само орјентациону вриједност. За мјешовите састојине јеле, смрче и букве, према Матићу (1973), продукциони период се креће од 120 до 150 година, односно 140 година за састојине на II, III и IV бонитеном степену.

Када би се из једног у други уређајни период главним сјечама сјекла иста површина, на крају усвојеног орјентационог продукционог периода на цијелој површини газдинске класе завршило би се са обнављањем те би се формирао нормални распоред класа старости. Како се, међутим, поједине скупине сијеку 10 или 20 година прије, односно након завршетка продукционог периода, а површина скупина се при томе процјењује само орјентационо, распоред класа старости ће у одређеној мјери одступати од нормалног.

Приликом формирања скупинасто-пребирне састојине, Матић (1970б) наводи да се тежи залихи састојине оног састава који је нормалан за пребирну састојину исте газдинске класе. С обзиром да нормалне запремине пребирне и скупинасто-пребирне састојине треба да буду једнаке, на основу техничких циљева газдовања одређених за газдинску класу, приближавање конкретног састава и залихе састојине нормалном стању врши се дознаком стабала за сјечу, па се динамика формирања скупинасто-пребирне састојине одређује етатом. Омјер смјесе, величина и распоред запремине по дебљинским степенима дефинисани су техничким циљем за мјешовите састојине букве и јеле и приказани су у табели 4.

**Табела 4.** Омјер смјесе врста дрвећа и распоред дрвне запремине за нормално стање састојина букве и јеле на половини опходњице за уређајни период 2009-2018 године

Врста дрвета	Бонитет станишта	Омјер смјесе	Степен склопа	Дебљинске класе					
				6-10	11-20	21-30	31-50	51-80	Укупно
				m <sup>3</sup> /ha					
Јела	2,8	0,2		2,04	4,05	13,22	32,69	17,20	69,20
Буква	2,7	0,6		8,47	14,64	44,84	42,79	96,86	207,60
Пл.лишћ.	3,0	0,2		4,46	7,25	19,33	33,26	4,90	69,20
Укупно		1,00	0,70	14,97	25,94	77,39	108,74	118,96	346,00

На дијелу површине састојина који се на захвата главним сјечама проводе се прореде по принципу позитивне селекције. Главни циљ прореда је поправљање општег стања састојина али се изводе и из разлога континуитета прихода. Код овог система газдовања шумама, истовремено се проводе и сјече њега и сјече обнове, с тим што су оне просторно одвојене. Док је обнова ограничена на релативно мале површине састојине или скупине чије би површина у једној опходњици требала да буде у просјеку испод 10% површине газдинске класе, докле се њега обавља на преосталом дијелу састојине.

С обзиром на двије различите категорије сјеча које се изводе у истој састојини, разлитити су и интензитети сјеча на појединим дијеловима састојине. Разумљиво је да ће на скупинама интензитет сјече бити већи, при чему би се у зависности од примијењеног узгојног захвата кретао од 30% код припремног до 100% код завршног сијека оплодне сјече или код голе сјече, што значи већу концентрацију сортимената на мањој површини.

Из овог разлога разликоваће се и остварени учинак у фазама сјече и израде и фази привлачења дрвета. Тако Матић (1970а) наводи да се према подацима из Горског Котара трошкови сјече, израде и привлачења на скупинама смањују за 20-40% код четинара, те сматра да би код лишћара дошло до још већег смањења трошкова у овим фазама. Са друге стране, код извођења прореда, трошкови по јединици производа би били већи из разлога већег учешћа тањих стабала и малог процента вриједних сортимената. Зато ће укупни ефекти рада у састојини зависити од величине и броја скупина, интензитета сјече и квалитета инвентара на скупинама.

Аспект који је посебно истакнут при разрађивању и примјени овог система газдовања везан је за функционалну и просторну повезаност обнављања и мреже секундарних шумских комуникација. Уопште узевши, код свих комбинованих метода природног обнављања просторна и временска организација обнављања и њега мора да буде у складу са осталим елементима газдовања шумама. Просторно уређење које обухвата подјелу састојине на транспортне зоне, радна поља, полагање мреже секундарних шумских комуникација и лоцирање стоваришта, врши се прије или истовремено са издавањем скупина.

Научни проблем просторног уређења одјела при примјени скупинасто-пребирног система газдовања, Дринић (1975) дефинише на следећи начин: формулисање оптималне величине, облика, густине и просторног распореда скупина, однос између укупне површине скупина и површине одјела, одговарајућа врста саобраћајница секундарног отварања и густина мреже тог отварања, те могућност функционалног повезивања распореда скупина и мреже секундарног отварања за одјеле који се међусобно разликују по нагибу и конфигурацији терена, саставу састојина и њиховој припадности еколошко-производним типовима шума.

Приликом разрађивања и примјене овог метода, Матић (1970а, 1970б, 1970ц), Матић (1973), Дринић (1975а, 1975б), Дринић (1979), Пинтарић и Изетбеговић (1979), указују на повезаност између броја и распореда скупина и густине и просторног положаја мреже секундарних шумских комуникација.

Тако Матић (1970а) наводи да скупине морају да леже уз комуникације, о чему мора да се води рачуна приликом пројектовања мреже комуникација, односно, приликом избора мјеста за скупине, при чему истовремено наглашава да се привлачење дрвета које је посјечено на скупини не смије вршити кроз дијелове састојине који нису обухваћени главним сјечама. Када је у питању однос површине скупина и мреже тракторских влака, оптимална величина скупина према Матићу (1973) је 0,3 ha у оним случајевима гдје је изградња мреже тракторских влака јефтина, односно на теренима благих нагиба и 0,6 ha онда када је изградња тракторских влака скупа, док би према Дринићу (1979) у другом случају та површина требала да буде 0,8 ha.

Према Дринићу (1975а), формирање скупина и пројектовање тракторских влака се врши истовремено и при томе се води рачуна да скупине не буду сувише велике, да изградња влака не буде скупа на стрмим теренима гдје се морају усјецати те да влаке тангирају скупине или их пресјецају, док Пинтарић и Изетбеговић (1979) тврде да размак између саобраћајница не треба да буде већи од двије висине стабала горње етаже и то са аспекта штета које настају приликом привлачења, при чему треба извршити обиљежавање и жичних линија.

Примјењујући скупинасто-пребирни систем у 4 одјела, Матић (1973) закључује да мрежа секундарног отварања треба да буде 10 пута дужа од мреже камионских путева при примарној отворености од  $10 \text{ m} \cdot \text{ha}^{-1}$ , односно 15 пута при примарној

отворености од  $6 \text{ m} \cdot \text{ha}^{-1}$ , док према Дринићу (1975а) у првом случају секундарна мрежа треба да буде 5-10, а у другом 10-15 пута дужа од мреже камионских путева.

Према томе, код скупинасто-пребирног система газдовања јасно је указано на међусобну повезаност између облика и густине мреже тракторских влака и просторне и временске организације обнављања, броја, величине и распореда скупина.

## 2.7. Планирање у шумарству

Према временском периоду и величини подручја за које се планирање обавља, те нивоу детаља са којим се планови израђују планирање може да буде i) **стратешко** или дугорочно, ii) **тактичко** или средњерочно и iii) **оперативно** или краткорочно.

На стратешком нивоу плански период може да износи од неколико деценија па све до 100 година. Основни плански документ на стратешком нивоу представља Стратегија, а поред ње у стратешке планове понекад спадају План развоја шумског подручја или Програм развоја шумарства. Ови планови се израђују најчешће на нивоу регије, рељефног подручја или цијеле државе. Kangas et al. (2008) наводе како стратешким планирањем треба да одговоримо на питање шта желимо од шуме. Према Стратегији развоја шумарства Републике Српске (2011-2021) општа сврха стратегије је одрживо коришћење шума и шумарства на најбољи могући начин и за добробит цијеле заједнице у економском, социјалном и еколошком смислу. Стратешким циљевима и смјерницама дефинисани су оквири заштите, унапређења и развоја шумарства и животне средине, али и улога сектора шумарства у економском и друштвеном развоју. Стратешки план може да обухвата расподјелу земљишта према намјени, утврђивање концесије, тестирање одрживости, утврђивање стандарда и смјерница за управљање обалним подручјима, управљање стрмим подручјима (Sessions, 2007). Међутим, због временског периода и величине подручја за које се израђују ови плановима не садрже детаљне планске калкулације. На стратешком нивоу, у планирању отварања шума шумским путевима, главно питање је везано за циљану густину и на основу тога укупну дужину шумских путева (Krč i Beguš, 2013). Petković i Potočnik (2018) наводе како стратешким планом газдовања шумама треба да се узме у обзир производња дрвета, заштита животне средине и социјалне функције шумског простора. Дефинисаним циљевима на овом нивоу постављају се оквири за планирање на следећем, нижем или тактичком нивоу.



Тактички планови у шумарству се израђују најчешће за временски период од 5 до 20 година. Израђују се за шумскопривредно подручје или за привредне јединице. Најважнији тактички планови у шумарству су шумскопривредна основа и план сјеча. Овим документима се постављају смјернице газдовања шумама на нивоу привредне јединице. Када су у питању шумски путеви, тактичким плановима сматрају се студије или програми отварања привредних јединица. Изградња нових путева и обнова постојећих најчешће се сматра тактичким питањем (Davis et al., 2001 према Anderssonu, 2005). На тактичком се нивоу отварају неотворена или недовољно отворена шумска подручја те унапређује мрежа примарне шумске транспортне инфраструктуре у цјелини (Pentek et al., 2016). Према Penteku i dr. (2014) студија примарног и секундарног отварања шума омогућује: i) систематско, планско и контролисано отварање шума, ii) рационализацију трошкова изградње шумских путева, iii) систематско, планско и контролисано одржавање и поправка шумских путева, iv) рационализација радова одржавања и поправке шумских путева, v) планирање, контрола и рационализација радова производње дрвета и vi) минимизирање негативног утицаја шумских путева и радова производње дрвета на екосистем.

Оперативни планови се израђују за период до 5 година. Кроз њих се проводи реализација задатака дефинисаних тактичким плановима. У њих се убрајају годишњи планови који се односе на израду извођачких пројеката реализације сјече којима се у појединим одјелима детаљно описује начин провођења система газдовања дефинисаног тактичким планом, начин извођења сјече и израде дрвених сортимената, пројектовање и обилеживање мреже тракторских путева и влака, дефинишу транспортне зоне и израђује план привлачења. Код шумских путева, према Penteku et al. (2014) i Penteku et al. (2016), на оперативном нивоу између више варијанти једне идејне трасе израђених у оквиру студије отварања бира се најбоља. Ова варијанта се затим преноси на терен након чега слиједи фаза директног пројектовања шумског пута.

## **2.8. Вишекритеријумско одлучивање**

Вишекритеријумско одлучивање (ВКО) припада и представља од најзначајнијих подобласти које обухвата теорија операционих истраживања. Методама ВКО се пружа подршка доносиоцу одлуке у оним случајевима у којима постоји већи број

алтернативних рјешења постављеног проблема, при чему се свако рјешење оцјењује на основу већег броја критеријума. Само одлучивање представља процес доношења одлуке, који према Fülöpi (2005) представља студију идентификације и избора алтернатива засновану на вриједностима и преференцијама доносиоца одлуке. Резултат процеса одлучивања је одлука, а она, како наводи Стојановић (2016), представља тачку у којој је направљен избор између алтернатива и опција које се намећу. Према томе, сврха процеса одлучивања је да се дође до одређене одлуке, док је резултат тог процеса уствари циљ који се одлучивањем постиже. Процес доношења одлуке је суштински интердисциплинаран и садржи у себи знања из психологије, социологије, економије, математике, статистике. Карактеристике одлуке која је резултат процеса одлучивања су (Тања и Тања, 2014): (i) недвосмисленост, (ii) прецизност, (iii) реалност, (iv) јасност, (v) правовременост и (vi) објективност.

Већи је број врста одлучивања, а све оне се могу класификовати према:

- према структурисаности проблема, одлучивање може да се посматра као структурисано, полуструктурисано и неструктурисано одлучивање.

Код структурисаног одлучивања постоји могућност јасног дефинисања правила одлучивања и формализовања самог процеса, те је истовремено и регуларно поновљиво. Са друге стране, неструктурисано одлучивање је ријетко поновљиво, а прецизна правила није могуће утврдити, док прелазни облик између ова два представља полуструктурисано одлучивање.

- према броју особа које учествују у процесу одлучивања могуће је разликовати индивидуално и групно одлучивање.

У процес индивидуалног одлучивања укључена је само једна особа која сноси пуну одговорност за резултате процеса. Овај начин одлучивања примјењује се углавном код мање сложених проблема, те је у односу на групно одлучивање брже и једноставније али је недостатак изражен кроз мањи број генерисаних алтернатива и рјешења.

Групно одлучивање се схвата као агрегација различитих индивидуалних преференција за дати скуп алтернатива у једну колективну преференцију (Fülöp, 2005). Код групног одлучивања, дакле, учествује већи број особа које имају различит ниво знања и вјештина из различитих области. У односу на индивидуалну одлуку,

групно донесена одлука се лакше проводи, а ризик у одлучивању се распоређује на све чланове групе.

Негативни аспекти групног одлучивања углавном су везани за опасност од наметања мишљења ауторитета, а истовремено је дуготрајније и скупље. Постоји неколико техника групног одлучивања, међу којима су најзначајније *Brainstorming* техника, техника номиналних група, *Delphi* техника, техника структурисаних расправа и сл.

- У односу на количину расположивих информација одлучивање се изводи у условима извјесности, неизвјесности, ризика или комбинацији неизвјесности и ризика.

У условима извјесности са сигурношћу можемо знати који ће догађаји наступити у одређеним условима и овде спадају детерминистички модели или модели оптимизације. Код одлучивања у условима неизвјесности постоји могућност одређивања будућих догађаја али не и вјероватноће њиховог појављивања, док у условима ризика располажемо непотпуним информацијама везаним за догађаје који могу да утичу на исход одлуке.

- према количини расположивих информација одлучивање може да буде научно или рационално које се заснива на квантитативној анализи и математичким моделима, и интуитивно одлучивање које се заснива на искуству.

### **2.8.1. Карактеристике метода вишекритеријумског одлучивања**

Вишекритеријумско одлучивање се назива још и вишекритеријумска оптимизација или вишекритеријумска анализа. Према Dodgson et al. (2009) технике ВКО могу да се користе за идентификацију најбоље алтернативе, за рангирање алтернатива, за добијање ограниченог броја алтернатива на којима се врши детаљнија процјена или једноставно за раздвајање прихватљивих од неприхватљивих могућности. У првом случају се ради о вишекритеријумској оптимизацији, а у другом о вишекритеријумском рангирању. Zavadskas et al. (2014) наводе како се ВКО методе могу класификовати у двије широке категорије: дискретне вишекритеријумске (ВКО) или дискретне вишеатрибутне (ВАО) методе и непрекидне вишециљне (ВЦО) методе одлучивања.

Код метода вишециљног одлучивања број алтернатива је неограничен, а рјешењем постављеног проблема проналази се најповољнија алтернатива у односу на скуп постављених ограничења. Проблем вишециљног одлучивања се трансформише у проблем једнокритеријумског одлучивања па се за тражење екстрема једне функције циља користе методе вишекритеријумског линеарног, нелинеарног или циљног програмирања. Методе ВАО се користе у случајевима када постоји унапред дефинисан, коначни скуп алтернатива. Процјена, рангирање и избор најповољније алтернативе врши се на основу већег броја критеријума која у себе укључују ограничења.

Методе ВАО се дијеле на: (i) *методе корисности* (ii) *методе рангирања или преференција*, (iii) *методе компромиса* или *методе идеалне тачке*, и (iv) *остале методе*. Преглед метода вишекритеријумског одлучивања дат је у табели 5 (Агарски, 2014).

Заједничке карактеристике свих проблема ВКО су следеће (Stojanović, 2016 према Tummala i Ćirić, 1991):

- 1) Алтернативе које представљају могуће изборе;
- 2) Вишеструки критеријуми (атрибути) често формирају хијерархију: свака алтернатива се може вредновати у односу на дати скуп критеријума;
- 3) Конфликт критеријума: вишеструки критеријуми су обично у међусобном конфликту (нпр. трошак-добит);
- 4) Хибридна структура и неупоредивост јединица: честа ситуација у вредновању алтернатива је да се користе комбинације квантитативних и квалитативних критеријума (различитих мјерних система);
- 5) Тежине одлука: већина метода вишекритеријумског одлучивања захтјева да критеријумима буду додјељене тежине према њиховој важности. Обично, ове тежине су нормализоване тако да њихов збир буде једнак јединици;
- 6) Неодређеност: на неодређеност утиче инхерентна карактеристика доносиоца одлуке да најчешће није потпуно сигуран у своје оцјене вриједности алтернативе за дате критеријуме.
- 7) Размјера: реални проблем одлучивања може имати стотине критеријума, подкритеријума и подподкритеријума. Број алтернатива такође може бити велики, али се увођењем дискриминационих критеријума он може свести на разумну мјеру.

**Табела 5. Методе ВКО (Агарски, 2014)**

VKA	Akronim	Naziv metode VKA	Reprezentativne reference	
<b>Metode korisnosti</b>				
Višeatributivno odlučivanje	SAW/ WSM	Simple Additive Weights/ Weighted Sum Model	(Hwang i Yoon, 1981; Triantaphyllou, 2000)	
	SMART	Simple Multiattribute Rating Technique	(Edwards, 1977, Edwards i Barron, 1994)	
	SPW/ WPM	Simple Product Weighting/ Weighted product model	(Triantaphyllou, 2000)	
	AHP	Analytic Hierarchy Process	(Saaty, 1980)	
	ANP	Analytic Network Process	(Saaty, 1996)	
	MACBETH	Measuring Attractiveness by a categorical Based Evaluation Technique	(Bana e Costa i Vansnick, 1999)	
	I-odstojanje	Ivanovićevo odstojanje	(Ivanović, 1973; Jeremić i dr., 2011a)	
	RC	Redukcioni koeficijenti	(Agarski i dr., 2012a; Hodolić i dr., 2003)	
	<b>Metode rangiranja</b>			
	ELECTRE	Elimination and choice expressing reality	(Beneyoun, 1966; Roy i Bertier, 1971)	
	PROMETHEE	Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation	(Brans, 1982; Benoit i Rousseaux, 2003)	
	NAIADE	Novel Approach to Imprecise Assessment and Decision Environments	(Benetto i dr., 2008; Benoit i Rousseaux, 2003; Munda, 1995)	
	REGIME	REGIME	(Benoit i Rousseaux, 2003)	
	ORESTE	ORESTE	(Benoit i Rousseaux, 2003)	
	<b>Metode kompromisa</b>			
	TOPSIS	Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution	(Hwang i Yoon, 1981)	
	VIKOR	VišeKriterijumska Optimizacija i Kompromisno Rešenje	(Opricović, 1998)	
	CP	Compromise programing	(Zeleny, 1982)	
	<b>Ostale metode višeatributnog odlučivanja</b>			
	DEMATEL	DEcision MAKing Trial and Evaluation Laboratory	(Gabus i Fontela, 1972)	
FLAG	DEcision MAKing Trial and Evaluation Laboratory	(Gabus i Fontela, 1972)		
FLAG	FLAG	(Polatidis i dr., 2006)		
SMAA	Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis	(Polatidis i dr., 2006)		
Višeciljno odlučivanje	DEA	Data Envelopment Analysis	(Seiford i Thrall, 1990)	
	LP	Linear Programming	(Dantzig i Thapa, 1997)	
	NP	Nonlinear programming	(Chai i dr., 2013)	
	MOP	MultiObjective Programming	(Chai i dr., 2013)	
	GP	Goal Programming	(Chai i dr., 2013)	
	SP	Stochastic Programming	(Chai i dr., 2013)	
	MOORA	MultiObjective Optimization on the basis of Ratio Analysis	(Brauers, 2004)	

Методе ВКО могу да се подијеле на стандардне и fuzzy методе. Код класичних скупова који имају јасно дефинисане границе, припадност неког елемента скупу је јасно одређена. Било који елемент може да припада скупу и његова припадност је у том случају 1. Ако елемент не припада неком скупу, његова припадност је тада 0. Код fuzzy скупова припадност неког елемента скупу није тако јасно одређена. Одређени елемент може само дјелимично да припада једном скупу при чему је степен припадности који се налази између 0 и 1 одређен функцијом припадности. Теорију fuzzy скупова утемељио је Lotfi Zadeh 1965 године. Из разлога несигурности доносиоца одлуке, процјена важности критеријума је субјективна и квалитативна. Несигурност може бити узрокована на два начина: први начин, за случај када доносилац одлуке није 100% сигуран при доношењу неке субјективне процјене, а назива се несигурност субјективне процјене, и други, када информације о неким критеријумима нису потпуне или нису доступне уопште, а назива се несигурност због недостатка података или непотпуних информација (Миловановић и Думоњић-Миловановић, 2015). У таквим случајевима користимо fuzzy теорију код које је припадност неког елемента из скупа  $A$  подскупу  $X$  дефинисана функцијом  $\mu_f: \Omega \rightarrow [0, 1]$ , гдје је  $\mu_f$  – функција припадности. У ВКО fuzzy скупови могу да се користе за репрезентацију вриједности критеријума или односа преферентности (Gerdes and Spero, 2013).

**Табела 6.** Матрица одлучивања

Alternativa	Kriterijum					
	$f_1$	$f_2$	....	$f_j$	....	$f_n$
$A_1$	$x_{11}$	$x_{12}$	....	$x_{1j}$	....	$x_{1n}$
$A_2$	$x_{21}$	$x_{22}$	....	$x_{2j}$	....	$x_{2n}$
....	....	....	....	....	....	....
$A_i$	$x_{i1}$	$x_{i2}$	....	$x_{ij}$	....	$x_{in}$
....	....	....	....	....	....	....
$A_m$	$x_{m1}$	$x_{m2}$	....	$x_{mj}$	....	$x_{mn}$

$A_i$  – алтернативе,  $i = 1, 2, \dots, m$ ,

$f_j$  – критеријуми,  $k = 1, 2, \dots, n$ ,

Рјешење се изражава вектором  $A_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$ ,

$x_{ij}$  – вриједност алтернативе  $A_i$  по критеријуму  $n_j$ .

Проблем вишеатрибутног одлучивања се дефинише са  $m$  алтернатива описаних са  $n$  критеријума, при чему се избор најприхватљивије алтернативе врши из познатог и коначног скупа алтернатива, док се сам задатак вишеатрибутног одлучивања најчешће представља матрицом или табелом одлучивања (Табела 6.):

Општи математички модел вишеатрибутног одлучивања гласи:

$$\max[f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)], n \geq 2; \quad (6)$$

$$x \in A = [a_1, a_2, \dots, a_m]$$

Гдје је:  $f_i$  – критеријум,  $n$  – број критеријума;  $m$  – број алтернатива;  $A$  – коначни скуп алтернатива.

За разлику од вишеатрибутног, код вишециљног одлучивања постављају се двије или више функција циља уз дефинисана ограничења, па математички модел у овом случају има следећи облик:

$$\max[f_1(x), f_2(x), \dots, f_p(x)], p \geq 2; \quad (7)$$

по ограничењима

$$g_i(x) \leq 0, i = 1, m;$$

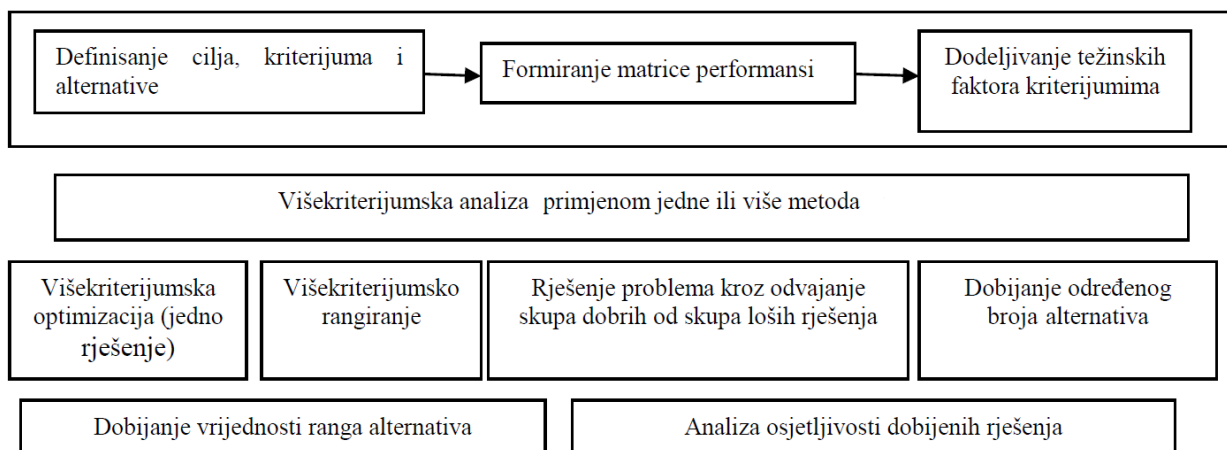
$$x_j \geq 0, j = 1, n.$$

Гдје је  $x$  –  $n$  димензионални вектор промјењљивих  $x_j$ ;  $f_k$  – функција циља;  $g_i(x)$  – ограничења.

Иако се методе ВКО међусобно разликују, процес рјешавање проблема ВКО се састоји од неколико фаза:

1. Идентификација скупа критеријума, подкритеријума и алтернатива
2. Одређивање вриједности критеријума и начина оптимизације
3. Избор поступка за одређивање важности критеријума
4. Избор методе вишекритеријумског одлучивања
5. Избор најповољније из скупа постојећих алтернатива
6. Редеофинисање тежина критеријума и провођење анализе осјетљивости

Поступак провођења вишекритеријумске анализе приказан је на слици 6. (Миловановић и Думоњић-Миловановић, 2015)



**Слика 6.** Провођење вишекритеријумске анализе (Миловановић и Думоњић-Миловановић, 2015)

Према начину укључивања доносиоца одлуке у процес одлучивања, методе ВКО се дијеле на:

1. Интерактивне
2. Стохастичке
3. Методе одређивања ефикасних рјешења
4. Методе са унапред задатом преференцијском структуром
5. Методе компромисног програмирања

### 2.8.2. Преференцијална структура

Код рјешавања задатака који имају неколико могућих рјешења постављеног проблема, однос који се јавља поређењем двије алтернативе заснива се на једном од следећих принципа:

1. Принцип *преференције*; предност се даје једној од алтернатива  $|aPb|$
2. Принцип *индиференције*; алтернативе се не разликују, односно, једнако су важне  $|aIb|$
3. Принцип *некомпаратбилности*; немогућност поређења алтернатива или одбацивање обје  $|aJb|$

Релација  $P$  има својство асиметричности, односно, ако вриједи  $aPb$  онда не вриједи  $bPa$ .

Релација  $I$  има својства рефлексивности, па је  $aIa$  и својство симетричности гдје је  $aIb$  одакле слиједи да је  $bIa$ .



Релација  $J$  има својство ирефлексивности па не важи да је  $aJa$  и својство симетричности гдје је  $aJb$  из чега слиједи да је  $bJa$ .

### 2.8.3. Критеријуми одлучивања

Критеријуми представљају различите димензије из којих се алтернативе могу посматрати, односно, изабране карактеристике по којима се алтернативе разликују. Број критеријума у односу на који се тражи преферирано рјешење може да буде различит и зависи од сложености и карактера проблема који се рјешава и преференције доносиоца одлуке. Према већини аутора број критеријума треба да буде у интервалу од 6 до 20. Уобичајене групе критеријума су: економски, технички, технолошки, социјални и еколошки.

Критеријуми одлучивања се дијеле према прецизности којом се мјере и смјеру оптимизације, односно, смјеру корелације између њихове вриједности и корисности.

Према првој подјели критеријуми могу бити (i) *квантитативни* или *нумерички*, изражени на интервалној скали или скали односа, и (ii) *квалитативни* који су изражени описно или лингвистичким исказима. Друга група може да се дијели на оне критеријуме које је могуће трансформисати помоћу ординалне скале те им на тај начин додијелити одговарајући ранг, ина оне критеријуме којима уопште није могуће поређење алтернатива.

Према смјеру оптимизације, критеријуми се дијеле на (i) *приходне* или критеријуме типа *max* који позитивно утичу на ранг алтернативе, (ii) *расходне* или критеријуме типа *min* који обрнуто пропорционално утичу на корисност или ранг алтернативе, и (iii) немонотоне критеријуме код којих је у једном сегменту корисност директна, а у другом инверзна.

### 2.8.4. Квантификација квалитативних критеријума

Приликом формулисања задатка ВАО, вриједности критеријума по појединим алтернативама могу да буду дате квалитативно, односно, лингвистичким исказима: одличан, добар, лош, да, не и слично. Да би се могло приступити рјешавању постављеног задатка, што укључује међусобно поређење алтернатива по усвојеним критеријумима, потребно је извршити квантификацију квалитативних критеријума. Овим поступком њима се додјељују нумеричке вриједности.

Трансформација квалитативних у квантитативне вриједности критеријума врши се преко одговарајућих скала трансформације: (i) *ординална* или *ранг* скала код које додјељена виша нумеричка вриједност представља само виши ранг, док се не води рачуна о растојањима између рангова, (ii) *интервална* скала која свакој атрибутној вриједности критеријума додаје одређену нумеричку вриједност с том особином да су разлике између додијељених нумеричких вриједности једнаке разликама вриједности критеријума који се квантификују, и (iii) *скала односа* која је и уједно најпрецизнија мјерна скала која показује и редосљед вриједности критеријума и мјеру њиховог разликовања. Интервалне скале се користе код модела вишеатрибутивне теорије корисности и вишеатрибутивне теорије вриједности, док су скале односа везане за аналитички хијерархијски процес.

### 2.8.5. Нормализација критеријума

Како вриједности критеријума за сваку алтернативу могу бити изражене у различитим јединицама мјере, потребно је извршити њихову трансформацију у облик који ће омогућити њихово међусобно поређење. Нормализацијом се вриједности критеријума свде на бездимензионалне величине. Поступак нормализације критеријума може да се изведе као векторска нормализација и линеарна трансформација.

Код векторске нормализације, сваки вектор, односно, елемент матрице се дијели са својом нормом ( $N_j$ ) која представља квадратни корјен збира квадрата вриједности свих елемената по сваком критеријуму:

$$N_j = \sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2} \quad (8)$$

Гдје је  $x_{ij}^2$  —вриједност  $i$ -те алтернативе по  $j$ -том критеријуму.

Нормализација сваког вектора у матрици одлучивања се врши у зависности од смјера оптимизације на следећи начин:

Приходни критеријум (тип max)

Расходни критеријум (тип min)

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{N_j} \qquad n_{ij} = 1 - \frac{x_{ij}}{N_j} \quad (9)$$

И у поступку линеарне трансформације вриједности критеријума се свде на интервал (0,1), а сам поступак линеаризације у зависности од смјера оптимизације може да буде:

Поступак линеаризације	Приходни критеријум (тип max)	Расходни критеријум (тип min)	
Max	$l_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}}$	$l_{ij} = \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}}$	(10)

MaxMin	$l_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_i x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}}$	$l_{ij} = \frac{\max_i x_{ij} - x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}}$	(11)
--------	---	---	------

Sum	$l_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}$	$l_{ij} = \frac{1}{\frac{\sum_{i=1}^n 1}{x_{ij}}}$	(12)
-----	---	--	------

Гдје су:  $l_{ij}$  – нормализоване вриједности елемената  $x_{ij}$ ,  $n$  – број критеријума,

### 2.8.6. Одређивање тежина критеријума

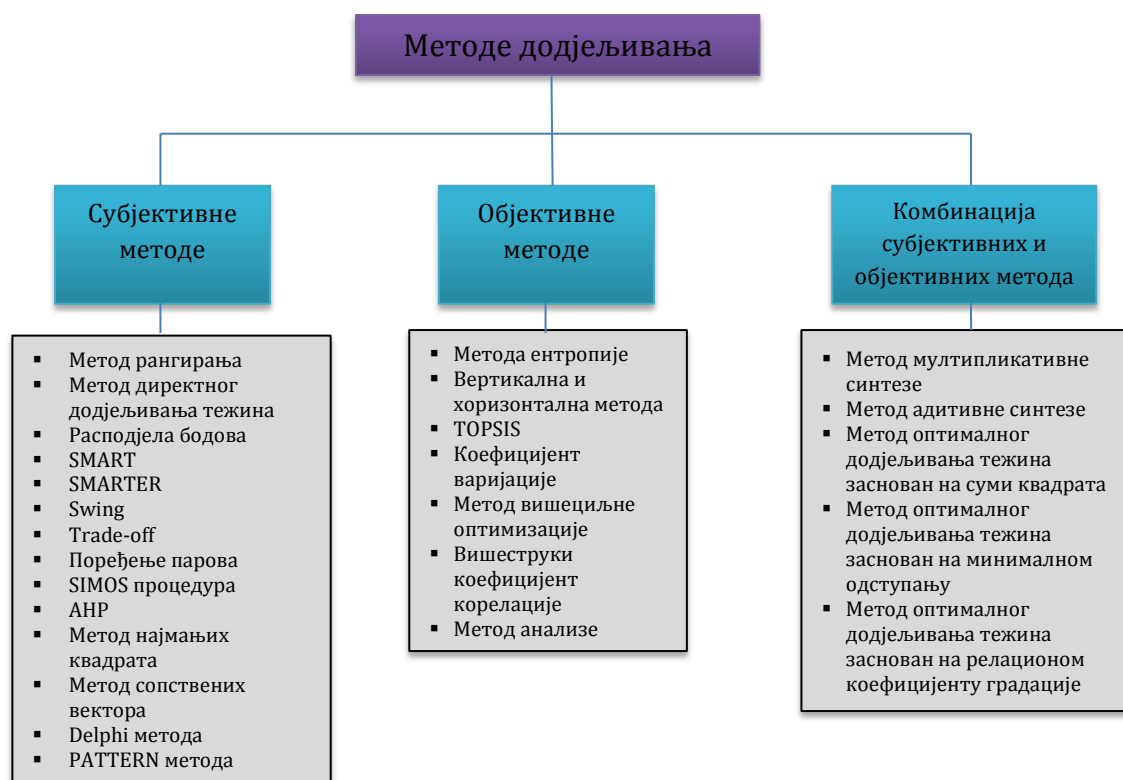
У проблемима вишекритеријумског одлучивања, најприхватљивије рјешење се добија у односу на већи број дефинисаних критеријума. У процесу доношења одлуке, немају сви критеријуми једнаку важност. Из тог разлога критеријумима се додјељују тежине. Тежине критеријума имају важну улогу у одређивању укупне преференције алтернатива (Zardari et al., 2015).

Главна разлика између типова тежина је између коефицијента важности и показатеља супституције (Munda and Nardo, 2005). Главна разлика између тежина као коефицијента важности и тежина као показатеља супституције је у начину на који се одређују тежине, односно, да ли се разматра компензација између критеријума као могућност да добре перформансе по неким критеријумима могу надокнадити лоше перформансе по другим критеријумима (Milićević и Žuras, 2012a).

Методe за одређивање тежина критеријума могу да се подијеле на: (i) *субјективне*, (ii) *објективне*, и (iii) *комбиноване*.

Субјективни приступ заснован је на одређивању тежина критеријума на основу информације добијене од доносиоца одлуке или од експерата укључених у процес одлучивања (Милићевић и Жупац, 2012б). Код овог приступа, важност критеријума произилази из преференције доносиоца одлуке која је повезана са његовим знањем, интуицијом, мишљењем и системом вриједности. Милићевић и Жупац (2012б), субјективне методе разликују према броју учесника у процесу одређивања тежина, примјењеним теоријским концептима, начину обједињавања индивидуалних тежина критеријума и сл.

На основу броја учесника ове методе могу да буду индивидуалне и групе, док се на основу концепта компензације дијеле на компензационе и некомпензационе. Код компензационих метода доносилац одлуке одређује колико јединица једног критеријума је спреман да изгуби са циљем да повећа вриједност другог критеријума за једну јединицу. У компензационе методе спадају Trade-off, SWING, SMART, SMARTER, МАСВЕТН метода, док су некомпензационе Метода директног додјељивања тежинских фактора, Пропорционална метода и Метода отпора према промјенама.



Слика 7. Класификација метода одређивања тежина критеријума (Zardari et al., 2015)

## 2.9. Вишекритеријумско вриједновање варијанти мреже шумских путева

За рјешавање проблема вриједновања и рангирања варијанти мреже шумских путева изабрана је TOPSIS метода или Техника редосљеда преференција према сличности идеалном рјешењу. Ову методу вишекритеријумске анализе први су описали Hwang и Yoon (1981). Општи концепт TOPSIS методе је релативно једноставан и заснива се на постојању позитивног и негативног идеалног рјешења. Најбоља алтернатива је управо она која има најмању геометријску или еуклидову удаљеност од позитивног и највећу од негативног идеалног рјешења. Позитивно идеално рјешење садржи највише вриједности критеријума типа max и најниже вриједности критеријума типа min, па према томе, негативно идеално рјешење садржи најмање вриједности критеријума типа max и највише вриједности критеријума типа min. Код ове методе се претпоставља да корисност сваког критеријума монотонно расте или опада због чега је лако пронаћи оба идеална рјешења. С обзиром да је дозвољена компензација између критеријума код које се лош резултат једног критеријума компензира за добар резултат другог критеријума, TOPSIS припада компензационим методама. Према Wang et al. (2015) недостаци ове методе су следећи i) алгоритам еуклидове удаљености не узима у обзир корелацију атрибута, ii) тежински коефицијенти добијени од стране експерата или АНР методом су субјективни, док су предности i) релативно једноставна и брза метода, ii) погодна за квалитативне и квантитативне податке, iii) рјешење може да буде преференцијални ранг на основу позитивних и негативних критеријума.

TOPSIS метода се састоји из неколико корака:

- 1) Нормализација вриједности критеријума. У вишекритеријумској анализи критеријуми су најчешће разнородни, па због различитих величина и мјерних јединица нису међусобно упоредиви. Из тог разлога се врши њихова нормализација, критеријуми се трансформишу у бездимензионалне величине, а критеријумске вриједности се налазе у интервалу од 0 до 1.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad (13)$$

- 2) Формирање тежинске нормализоване матрице одлучивања. Нормализоване вриједности критеријума добијене у претходном кораку потребно је помножити са тежинским коефицијентима критеријума како слиједи:

$$V = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & w_3 r_{13} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & w_3 r_{23} & \dots & w_n r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & w_3 r_{m3} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (14)$$

- 3) Одређивање позитивног и негативног идеалног рјешења. Позитивно идеално ( $\mathcal{A}^+$ ) и негативно идеално рјешење ( $\mathcal{A}$ ) се одређују на следећи начин:

$$\mathcal{A}^+ = (\max v_{ij} | j \in J), (\min v_{ij} | j \in J'), i = 1, 2, 3, \dots, n = \{V_1^+, V_2^+, \dots, V_m^+\} \quad (15)$$

$$\mathcal{A}^- = (\min v_{ij} | j \in J), (\max v_{ij} | j \in J'), i = 1, 2, 3, \dots, n = \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_m^-\} \quad (16)$$

гдје је:  $J = \{j = 1, 2, 3, \dots, m | j \text{ везано за критеријуме типа } \max\}$

$J' = \{j = 1, 2, 3, \dots, m | j \text{ везано за критеријуме типа } \min\}$ .

- 4) Одређивање мјере растојања. Мјера растојања сваке алтернативе од позитивног и негативног идеалног рјешења се одређује помоћу  $n$ -димензионалне еуклидове удаљености на следећи начин:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^+)^2}, i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (17)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - v_j^-)^2}, i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (18)$$

- 5) Одређивање релативне близине идеалном рјешењу. Релативна близина алтернативе  $\mathcal{A}_i$  у односу на идеално рјешење дато је релацијом 19.

$$Q_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (19)$$

Гдје је  $0 \leq Q_i^+ \leq 1$

Алтернатива  $A_i$  је ближа идеалном рјешењу ако је  $Q_i^+$  ближе 1. Алтернативе су рангиране наниже, односно по опадајућем реду.

## 2.10. Одређивање тежина критеријума методом ентропије

За одређивање тежинских коефицијената критеријума изабрана је Shannonova метода ентропије (Shannon, 1948), једна од често предлаганих објективних метода. Ова метода мјери неодређеност информације формулисана на основу теорије вјероватноће (Zardari et al., 2015), што представља вриједност ентропије. Уствари, метод антиципира ситуацију да доносилац одлуке непостоји и да матрица независно „шаље поруку“ о важности критеријума која ће касније бити коришћена за вриједновање сценарија (Срђевић и др., 2003). Поред одређивања тежина критеријума ова метода се користи и за корекцију тежина критеријума који су субјективно процијењени. За познату матрицу одлучивања, тежински коефицијенти критеријума овом методом се одређују кроз неколико корака којима претходи нормализација дефинисаних критеријумских вриједности у матрици одлучивања према формули 20.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (20)$$

Овим се поступком добија матрица чији критеријуми садрже нормализоване вриједности. Из ових се вриједности добија вриједност ентропије коришћењем формуле 21.

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n x_{ij} \ln x_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (21)$$

Ентропијском константом  $k = \frac{1}{\ln n}$  добијене вриједности ентропије се ограничавају на интервал (0,1). Следећим кораком се одређује степен дивергенције  $d_j$  у односу на просјечну количину информације садржане у сваком критеријуму.

$$d_j = 1 - e_j \quad (22)$$

$d_j$  представља својствен интензитет контраста критеријума  $k_j$ .

Релативна вриједност тежинских коефицијената критеријума добија се процесом нормализације представљеним помоћу формуле 23.

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j} \quad (23)$$

Метода се може сматрати објективном јер генерише тежинске вриједности критеријума директно из критеријумских вриједности варијанти и елиминише проблем субјективности, некомпетентности или одсуства доносиоца одлуке (Милићевић и Жупац, 2012).



### 3. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА

Досадашњи се поступак планирања мреже шумских путева састојао од дуготрајног мануалног полагања варијанти мреже шумских путева на топографским картама, а њихова оцјена те избор најбоље варијанте углавном је вршен само са аспекта економског критеријума, односно трошкова изградње путева и трошкова привлачења дрвета. Промјеном је схватања односа према шуми овај концепт застарио, а нове су методе омогућиле свеобухватнији приступ наведеној проблематици те отварање шума ускладиле са концептом одрживости, већег броја функција шума и вишенамјенског газдовања шумама.

У новије вријеме, развојем хардверске и софтверске подршке, разноврсне програмске платформе су опремљене различитим оптимизационим алгоритмима те методама за подршку у одлучивању. Имплементирани у једну од GIS платформи, ови су алгоритми дио ширег просторног система за подршку у одлучивању, а њихова је примјена у последњим годинама постала неизоставна у планирању у шумарству. У планирању шумског пута или мреже шумских путева коришћене су различите методе, а у наставку је укратко дат преглед примјене најважнијих метода.

Coulter et al. (2003) даје опис АНР методе са скраћеним примјером њене примјене приликом поређења и рангирања 6 транспортних рута у односу на 4 критеријума. Нешто детаљнији приказ наведене методе вишекритеријумског одлучивања, Coulter et al. (2006) дају на примјеру минимизирања еколошког утицаја шумских путева. Укупни циљ је разложен на 3 подциља: i) умањење седиментације са шумског пута, ii) умањење утицаја шумског пута на појаву клизишта, iii) умањење утицаја шумског пута на водни екосистем. Укупно 20 алтернатива је упоређивано у односу на 12 изабраних критеријума. Она алтернатива којом се обезбјеђује највећа корист са најмањим трошковима је најбоља алтернатива.

Abdi et al. (2009) развијају метод заснован на ГИС-у и ВКО у циљу пројектовања мреже шумских путева са минималним трошковима придржавајући се одговарајућих техничких захтјева. Нулте линије 6 варијанти мреже путева су положене на дигиталној подлози коришћењем ArcVIEW v.3.0 екстензије PEGGER. За процјену сваке алтернативне варијанте према трошковима изградње коришћена је карта погодности при чему су као релевантни критеријуми изабрани нагиб, земљиште,

геолошка подлога, експозиција, надморска висина и дрвна залиха. Тежине наведених критеријума добијене су АНР методом. Највећу тежину у процјени добио је нагиб терена, а најмању дрвна залиха. Најкраћа и најдужа алтернатива износе 17,5 и 19,88 km. Ова најкраћа алтернатива заједно са алтернативом 1 чија је дужина 17,95 km у најмањој мјери пролази теренима нагиба преко 40% због чега су њима постигнути најмањи трошкови изградње.

Samani et al. (2010) описују сличан метод у којем за лоцирање шумских путева користе ГИС и АНР, а поступак планирања мреже путева дефинишу са пет фаза почевши од избора критеријума важних за процес планирања шумских путева до евалуације различитих варијанти мреже. На основу осам изабраних критеријума чије су тежине одређене АНР методом добијена је карта потенцијала за планирање путева на основу које су оцјењиване постојећа мрежа путева чија је густина  $17,8 \text{ m}\cdot\text{ha}^{-1}$  и двије планиране варијанте. Прва варијанта је пројектована традиционалном методом, а друга коришћењем PEGGER софтвера те су постигнуте густине од  $15,3 \text{ m}\cdot\text{ha}^{-1}$  и  $14,2 \text{ m}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Квалитет све три варијанте оцјењен је на основу процента дужине којим свака варијанта пролази кроз једну од пет класа погодности на карти потенцијала. На основу добијених резултата, варијанта пројектована Peggerom је најбоља у односу на проценат којим пролази и кроз најбоља и кроз најлошија подручја.

Çalışkan (2013) у циљу пројектовања мреже шумских путева у планинском подручју Турске користи вишекритеријумску анализу, а као алате ESRI ArcGIS и Softree RoadEng. Нагиб терена, врста земљишта, матична подлога, хидрографска мрежа, експозиција, дрвна залиха, могућност појаве клизишта и елевација представљају основу за планирање мреже путева чијим се преклапањем добија карта потенцијала за изградњу путева. Тежине сваког критеријума добијене су помоћу АНР методе на основу преференција добијених помоћу упитника, те су критеријуми комбиновани у форми тежинске линеарне комбинације. Највећу тежину у процјени има нагиб терена (0,194), хидрографска мрежа (0,172), геолошка подлога (0,165) и земљиште (0,164). Постојећа мрежа путева је упоређена са новом, пројектованом традиционалном методом и RoadEng софтвером, а као критеријум процјене коришћен је проценат проласка сваке мреже преко појединих категорија погодности. Релативна отвореност шумског подручја код обеју мрежа је 85%, с тим што је она код

постојеће мреже путева постигнута са укупном дужином од 93 km, а код планиране са 44 km. Апсолутна отвореност истовремено износи  $17,9 \text{ m}\cdot\text{ha}^{-1}$  и  $8,9 \text{ m}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

Naayati et al. (2013) представљају трофазни приступ планирању мреже шумских путева заснован на Delphi методи и просторној вишекритеријумској анализи. Студија је проведена у разnodобним састојинама лишћара сјеверног Ирана. У првој фази је потребно дефинисати критеријуме значајне за планирање мреже шумских путева. Delphi метода је примијењена у 3 круга. У другој фази матрица парцијално парног поређења је формирана на основу упитника достављеног учесницима анкете, а добијени подаци су анализирани софтвером Expert Choice. Најважнији критеријуми су нагиб терена (0,320), текстура земљишта (0,191) и погодност за појаву клизишта (0,187). На изабране критеријуме је у трећој фази примијењена fuzzy логика у циљу њихове стандардизације, а крајњи слој погодности добијен је методом тежинске линеарне комбинације. Уважавајући техничке захтјеве шумског пута на овом слоју је пројектовано 9 алтернатива мреже шумских путева дужине од 10,197 km до 19,484 km уз помоћ ArcView екстензије PEGGER. Процјена сваке алтернативе извршена је на основу средње вриједности по једном km добијене са слоја погодности.

Naayati et al. (2013) претходну студију проширују анализом осјетљивости при чему вриједност тежина критеријума варирају за  $\pm 2,5$  и 10%. Резултати показују да су текстура земљишта и удаљеност од водотока, критеријуми највише осјетљиви на промјене. Уопште је модел показао стабилност јер промјеном тежина критеријума не долази до значајних промјена резултата.

Скоро идентичан приступ отварању шума у планинским шумама сјеверног Ирана представили су Babarour et al. (2014). У фази идентификације најзначајнијих фактора у планирању мреже шумских путева изабрани су нагиб терена, експозиција, елевација, тип шума и дрвна залиха. Тежине наведених критеријума добијене су АНР методом, а релативне важности на основу упитника. И у овој студији највећу тежину добио је нагиб терена (0,448), док је најмања код типа шуме (0,024). Преклапањем критеријума у добијеном тежинском односу добијена је карта потенцијала за изградњу путева. За полагање 18 варијанти мреже шумских путева коришћен је PEGGER, а најбоља од њих је поређена са постојећом мрежом путева. Дужина путева и отвореност износе 52 km и 35,9 km, односно  $29,4 \text{ m}\cdot\text{ha}^{-1}$  и  $20,3 \text{ m}\cdot\text{ha}^{-1}$  код

постојеће и планиране мреже путева. За одређивање статистички значајне разлике између ове двије варијанте на основу процента проласка кроз класе потенцијала на крајњој карти коришћен је  $\chi^2$  тест.

У циљу одређивања приоритета одржавања мреже шумских путева у Алпској регији сјеверне Италије, Pellegrini et al. (2013) описују просторни вишекритеријумски процес одлучивања. Приоритет одржавања у овој студији подређен је ризику од ерозије и социјалним вриједностима као циљевима које је потребно максимизирати или минимизирати. Критеријуми процјене везани за први циљ су следећи: нагиб нивелете, стање коловозне површине, дренажни систем, саобраћајно оптерећење и положај шумског пута, док су социјалне вриједности дефинисане туристичком, пољопривредном и привредном улогом те оперативним степеном. На наведене критеријуме је примијењена АНР метода, а матрица поређења формирана је на основу експертских ставова. Описани приступ је примијењен на подручје величине 3991 ha са мрежом путева од 107,80 km. План одржавања је потребно урадити на основу стања постојеће мреже путева, а њена процјена је добијена инвентуром. Свега 12% постојеће мреже је у добром стању, док је на преосталих 88% потребно одржавање. Према наведеним циљевима добијена су два растера, а њиховом комбинацијом и крајња карта процјене одржавања. На овај начин, као резултат примјене АНР методе, рангиране су потребе одржавања сваког шумског пута.

Lasci et al. (2016) користе ГИС и АНР као систем за подршку у одлучивању приликом анализе отворености у шумском подручју Paneveggio у сјеверној Италији. Површина цијелог подручја износи 4300 ha, док се шуме простиру на 2803 ha. Студија је подијељена у 3 фазе: i) анализа мреже шумских путева ii) анализа отворености iii) оцјена потребе за шумским путевима. У првој фази прикупљене су информације о техничким карактеристикама пута, док је у дугој фази отвореност подручја класификована према модификованој методи Hippolitija (1976) на основу потребног времена приступа. Ниво отворености одређен је помоћу 4 методе: метода А – вријеме пута, метода В – проценат максималне удаљености, метода С – фиксна омеђена удаљеност и метода Н – мануални приступ. У трећој фази потреба за путевима је одређена према нивоу продуктивности подручја и то на основу дрвне запремине, класе плодности станишта и продуктивног индекса као најзначајнијих фактора. На податке добијене на основу интервјуа о важности наведених критеријума примијењен

је АНР, а „индекс потребе за путевима“ добијен је њиховим спајањем у тежинску суму. Цијело подручје је на основу наведеног индекса класификовано према захтјевима за отварањем у једну од 4 класе. Са укупно 37,1 km путева и нивоом отворености од  $13,2 \text{ m}\cdot\text{ha}^{-1}$ , дат је преглед отворености за све методе према категоријама: опслужено, слабо опслужено и неопслужено подручје. Према резултатима АНР анализе, на основу експертских ставова највећу тежину у процјени има дрвна запремина, а најмању продуктивни индекс.

Примјену дигиталног модела терена (*eng.* Digital Terrain Model – DTM) у планирању мреже шумских путева представили су Liu i Sessions (1993). Описани модел имао је за циљ проналажење могућих сегмената будућег шумског пута, анализу трошкова у циљу њиховог минимизирања и примјену мрежног алгорита у процесу планирања мреже шумских путева. Из сваке ћелије на DTM-у кретање будуће трасе узевши у обзир све сусједне ћелије могуће је у 8 смјерова, те је за сваку од ових комбинација одређен нагиб на основу висинке разлике између ћелија и њиховог хоризонталног растојања. За сваку дионицу пута одређени су трошкови изградње, одржавања и транспорта. За проналажење скупа дионица са минималним трошковима користе NETWORK II (Sessions, 1985). Модел је примијењен на подручју од 480 ha гдје од укупно 5000 ћелија 3278 испуњава услов максималног дозвољеног успона, а за изградњу је предвиђено 6,3 km новог пута. У наведеном моделу додатне информације попут врсте и стабилности земљишта нису узете у обзир, а истовремено је претпостављено да су трошкови транспорта једнаки за све дионице да би примијењени алгоритам био што једноставнији и због тога што информације на овом нивоу планирања нису у довољној мјери детаљне.

Ghaffarian i Sobhani (2007) користе Network 2000 за процјену постојеће мреже шумских камионских путева у сјеверном Ирану. Цијели је модел представљен као мрежни модел чији су чворови дефинисани на основу просторног положаја одјељења. Претпоставља се да се из 2/3 сваког одјељења дрво привлачи према доле, а са 1/3 према горе. На овој претпоставци су формирана гравитациона подручја те су за њих одређене површине и дрвна запремина коју је потребно привлачити до пута, док је дужина пута у сваком гравитационом подручју добијена са карте. Укупну је запремину потребно допремити до 3 пилање. Трошкови привлачења из сваког гравитационог подручја су варијабилни трошкови док су трошкови везани за шумске

путеве фиксни трошкови. На овакав модел чији је циљ минимизирање фиксних и варијабилних трошкова прво је примјенљив алгоритам најкраће трасе (*engl.* Shortest path algorithm - SP). Најбоље рјешење је добијено са 45 понављања, а ради провјере покренути су алгоритми симулираног каљења (*engl.* Simulated annealing - SA) и Great deluge. Међутим, ови алгоритми нису нашли боље рјешење од оног које је нађено алгоритмом најкраће трасе.

С обзиром да су и Network II (Sessions, 1985) и Network 2000 ограничени само на проблеме минимизирања трошкова, Chung i Sessions (2001a) представљају Network 2001 чија се додатна флексибилност заснива на тежинској функцији циља и примјени ограничења да би се минимизирала дужина или неки други атрибут везан за путни систем. На овај начин је могуће пронаћи рјешење које задовољава вишеструке циљеве. У основи се налазе хеуристички и комбинаторни алгоритми, односно алгоритам најкраће трасе за формирање k-најкраћих траса од сваког исходног до сваког одредног те алгоритам симулираног каљења за рјешавање оптимизационог проблема и одређивање најбоље трасе. Недостатак представљеног модела је везан за недостатке хеуристичких техника па добијена рјешења никада нису оптимална, док са друге стране дефинисањем већег броја циљева и ограничења цијели проблем постаје превише сложен.

За локацију алтернатива шумских путева на дигиталном моделу терена Chung i Sessions (2001b) користе хеуристичке алгоритме у двије фазе: i) оптимизација локације главног шумског пута и ii) оптимизација локације приступних шумских путева. У првој фази, алгоритам SA се користи за генерисање и оцјену случајних варијанти на основу доступности свакој сјечној јединици, сјечивој запремини, рељефу и трошковима изградње пута. Из низа генерисаних рјешења оптимално се добија помоћу генетског алгоритма (*engl.* Genetic algorithm - GA) на основу функције циља која обједињује трошкове транспорта главног, свих приступних путева и трошкова транспорта по приступном путу. Приступни шумски путеви су генерисани за сваку сјечну јединицу почевши од оне која је најближа главном шумском путу, а остале сјечне јединице се повезују са најближим путем који је већ у мрежи. Оптимизација приступних путева се врши помоћу GA, SA или комбинованог алгоритма, док се избор између генерисаних алтернатива заснива на компромису између трошкова изградње путева и трошк ова привлачења. Представљени

алгоритми показали су и одређене недостатке. Претраживање сусједних ћелија на ДЕМ-у SA алгоритмом промјеном дијела руте може да се ограничи што доводи до неизводљивости генерисане руте, док у случају GA рестриктивне мутације и укрштања ограничавају истраживање довољног броја понуђених рјешења. На коначно рјешење у оваквим случајевима највише утицаја има почетно рјешење.

Chung et al. (2001) и Chung i Sessions (2002) представљају прелиминарни компјутерски модел за истовремену оптимизацију позиције шумске жичаре и шумског пута. Цијели модел је заснован на везама које представљају радне операције између сјечине као улаза у мрежу и пилане као излаза из мреже. Укупни мрежни систем се у овом случају састоји од већег броја изворишта, одредишта и могућих путева између њих. Свако извориште се повезује са једним од одредишта преко низа алтернативних траса које представљају трасе жичаре, стоваришта или дионице камионских путева. Након дефинисања модела, покреће се хеуристички мрежни алгоритам који проналази најјефтинију трасу између изворишта и одредишта коју сачињавају траса и врста жичаре, стовариште и камионски пут. Примијењени мрежни алгоритам је сличан Dijkstra алгоритму најкраће трасе. У циљу проналаска рјешења у разумном времену, сувише велике мреже је потребно подијелити у два дијела а затим их рјешавати посебно. Из истог разлога је потребно ограничити број итерација. На вријеме рјешавања постављеног проблема у великом мјери утиче величина ћелије на ДЕМ-у. Иако се са већом резолуцијом ДЕМ-а постиже већа тачност, вријеме потребно за проналазак рјешења експоненцијално расте. Са друге стране, алгоритам обезбјеђује флексибилност у погледу дефинисаних ограничења попут доступности опреме, капацитета стоваришта или еколошких захтјева.

Уклањајући недостатке постојећег софтвера Cable Analysis 1.0., Chung et al. (2007) на његовој платформи развијају нови софтвер под називом SlopeRunner 1.0., а постојеће могућности проширују на анализу ефикасности локације пута са становишта привлачења дрвета шумском жичаром. Поред одређивања локација за изградњу путева на стрмим теренима, ова анализа омогућава доношење одлуке да ли неке од постојећих путева треба напустити јер не испуњавају у потпуности своју улогу у транспорту дрвета. Укупну анализу је могуће подијелити на анализу појединачних коридора жичаре, односно њихове носивости, конфигурације и профила на основу информација о положају јарбола на путу и у сјечини. Код конкавног профила терена

аутоматски је одређен најбољи положај међујарбола. Приликом анализе локације стоваришта софтвер пројектује 36 траса жичаре у интервалу од  $10^\circ$  те се за сваку трасу одређује изводљивост и најдужу могућу трасу која испуњава захтјев за дефинисаном носивошћу и потпуном овјешеношћу терета изнад водотокова. Код анализе постојеће мреже путева, претпоставља се да је свака растерска ћелија која представља камионски пут потенцијална локација за жичару. У односу на положај ових ћелија формира се један непрекидни полигон на основу којег се одређује степен покривености шумског простора за одређену врсту и конфигурацију жичаре. Тачност добијених резултата зависи од квалитета и тачности улазних података, посебно ДЕМ-а.

Хеуристичку технику табу претраживања (*engl.* Tabu search - TS) за истовремену оптимизацију хоризонталне и вертикалне позиције трасе пута примјењују Aruga et al. (2005). Ранија искуства су показала да овај алгоритам захтјева мање оперативног времена у односу на ГА што је претходило његовом избору. Цијели је модел заснован на ДЕМ-у високе резолуције, а избор оптималне позиције трасе пута зависи од трошкова изградње и одржавања. За иницијалну хоризонталну позицију трасе пута са избором и промјенама на једној ломној тачки на нивелети модел претражује све могуће алтернативе при фиксној хоризонталној позицији што је дефинисано као прва фаза покренутог модела. У следећој фази број ломних тачака чија се позиција мијења се повећава за 1, а алгоритам се у свакој наредној фази примјењује за претраживање могућих алтернатива. Модел је испитиван при промјени 5 ломних тачака на нивелети и фиксној хоризонталној позицији у односу на истовремену оптимизацију хоризонталне и вертикалне позиције трасе са 7 ломних тачака. У другом случају су укупни трошкови пута и његова дужина мањи за 36% и 19%. Резултати показују да се већ са неколико итерација могу добити боља рјешења, мада је некада та рјешења могуће наћи тек након неколико стотина итерација.

Наведени модел оптимизације, Aruga i dr. (2006) унапређују те табу претраживање комбинују са Dijkstraим алгоритмом најкраће трасе и Schumakerovom функцијом кубне параболе. За хоризонталну оптимизацију трасе шумског пута примјењена је Dijkstra метода најкраће трасе, док је функција кубне параболе коришћена код формирања заобљене нивелете. На овоко генерисано почетно рјешење примјењена је оптимизација табу претраживањем. Овај алгоритам у првој фази у сваком



понављању испитује локацију тјемена те радијус кривине, а затим положај ломне тачке на нивелети. У другој фази програм наставља потрагу у подручју најбољег рјешења из претходне фазе. Циљ је да се поправи рјешење добијено као најбоље у првој фази. Модел је испитиван у Capitol State Forest шумама у Вашингтону. Постојећа мрежа путева је проширена на терену. Dijkstra алгоритам коришћен је за генерисање иницијалне варијанте, а добијена варијанта је у погледу трошкова неповољнија од пројектоване. Табу претраживањем са 1000 понављања у првој и 100 понављања у другој фази добијени су бољи резултати, а на њих је примијењена функција кубне параболое. Резултати добијени у овој фази су незнатно лошији. Истовремено је испитиван број секција, а добијени резултат показује да је најбоље рјешење добијено у комбинацији секција и ломних тачака нивелете 6x3.

Побољшани метод полагања трасе шумског пута заснован на Dijkstra алгоритму и АНР методи представили су Imani et al. (2012). Dijkstra алгоритам је коришћен за добијање оптималне трасе између почетне и крајње тачке, а као основна подлога је употребљена карта трошкова. Ова карта добијена је на основу нагиба терена, хидролошке мреже, геолошке подлоге, земљишта и нагиба нивелете а класификована је у три класе. Овако добијена траса упоређена је са трасом добијеном конвенционалном методом, а добијени резултати показују да је траса добијена Dijkstra алгоритмом у погледу дужине и трошкова изградње за 19%, односно 21% повољнија. Иако је код конвенционалне методе траса положена само у односу на нагиб терена, након корекције обеју траса на терену Dijkstra алгоритмом се и даље постиже краћа траса са нижим трошковима изградње.

У циљу избора трасе шумског пута са минималним трошковима изградње, Parsakhoo i Jajouzadeh (2016) Dijkstra алгоритам најкраће трасе примјењују приликом отварања шумског подручја у Golestan провинцији у Ирану. Овај алгоритам је примијењен на правилну мрежу чворних тачака добијену са ДЕМ-а. Сваку чворну тачку у мрежи је могуће повезати са 8 сусједних чворних тачака при чему свака веза представља потенцијалну дионицу будућег шумског пута. Максимална дужина дионице између двије чворне тачке износи 75 m. У циљу повезивања чворних тачака 1 и 7 пројектовано је 6 потенцијалних траса. Трошкови изградње сваке појединачне варијанте добијени су на основу дужине дионице између двије чворне тачке, њеног уздужног нагиба, нагиба терена и јединичних трошкова изградње. Од 6 предложених

траса најмањи трошак од  $18,18 \text{ \$}\cdot\text{m}^{-1}$  је постигнут код варијанте 2 чије је дужина 530 m. Као предности овог алгоритма аутори наводе могућност разматрања већег броја информација на основу којих се врши избор најповољније варијанте.

Приликом рјешавања проблема приступа већем броју одредишта (*engl.* Multiple target access problem – МТАР), Picard et al. (2006) упоређују 6 различитих метода. У тропским кишним шумама Борнеа изабрано је 60 стабала на површини од 133 ha. Свако стабло представља одредиште до кога је потребно довести пут. Прва варијанта мреже путева добијена је класичном или ручном методом док су од хеуристичких метода коришћене метода независног пута са редукционим методом, метода source-to-closest-target, хијерархијска метода са  $n=2$  и  $n=3$  скупа чворних тачака у мрежи и метода минималног разгранатог стабла. Трошкови изградње пута добијени су на основу растерске мреже према категоријама нагиба терена. Како је постављени проблем рјешаван теоријом графа, добијене је трошкове требало пренијети на везе између чворних тачака у мрежи. Поређењем добијених варијанти, најмањи трошкови добијени су source-to-closest-target методом и хијерархијском методом са  $n=2$  чворних тачака. Иако се рјешења добијена помоћу ове двије методе разликују у незнатној мјери, вријеме израчунавања је код хијерархијске методе два пута дуже. Скоро два пута већи трошкови добијени су код варијанте генерисане класичном методом и методе независног пута са редукцијом. У односу на класичну методу гдје одређену улогу има искуство и интуиција пројектанта, проблем примјене нумеричких метода аутори посматрају кроз трошкове и врсту алгоритма који се користи.

Ghaffaryan et al. (2010) оптимимално растојање између путева у планинском подручју сјеверне Аустрије при привлачењу дрвета жичаром одређују примјеном мрежне анализе и мјешовитог цјелобројног програмирања те добијене резултате пореде са оптималним растојањем између путева добијеним на основу методе минималних трошкова. На основу рељефа и положаја пута планиране су трасе жичаре на растојању од 30 m. Њихово груписање је извршено на основу смјера привлачења, дужине трасе или стоваришта, а за сваку групу су одређени трошкови монтаже и привлачења те укупно 121 улазни чвор. Трошкови изградње путева одређени су на основу нагиба терена, а као коначна одредишта су предвиђене 4 пилање и 1 супер пилања. Везе између наведених чворова су дефинисане трошковима изградње и трошковима привлачења жичаром. За минимизирање укупних трошкова мрежном

анализом и мјешовитим цјелобројним програмирањем коришћени су исти подаци. Упоредивањем добијених резултата изведен је закључак да метод минималних трошкова није подесан за примјену у планинским подручјима. Иако дају веће вриједности укупних трошкова и отворености, код примјене мрежне анализе и цјелобројног програмирања могуће је кориговати цијену изградње путева према условима терена, а за сваки дионицу пута уколико се ради о различитим системима привлачења могуће је дефинисати различите трошкове. Рјешења добијена мрежном анализом представљају локални док су у случају мјешовитог цјелобројног програмирања стварни оптимум.

У циљу минимизирања укупних трошкова транспорта дрвета и изградње транспортне мреже, Najafi i Richards (2013) формулишу модел оптимизације заснован на мјешовитом цјелобројном програмирању. Модел је дефинисан са 298 чворова систематски смјештених у шумском простору. Сваки чвор у мрежи је са 20 сусједних чворова повезан луковима, а у зависности од дефинисаних ограничења сваки лук може да буде будући шумски пут, тракторска влака или може да буде искључен из коначног рјешења. Трошкови транспортне мреже се састоје од трошкова изградње путева који зависе од дужине дионице, теренских услова и стандарда пута као и од трошкова одржавања, док су трошкови транспорта производ јединичних трошкова транспорта према врсти транспортног средства и запремине која се транспортује. Примјењивост модела испитивана је у планинском подручју Ирана са укупно 252 радилишта, 883 потенцијалне тракторске влаке и 440 путних дионица. За цијелу количину дрвета планиран је један излазни чвор и у односу на њега добијено је 7 могућих рјешења. Ова рјешења су модификована увођењем још једног излазног чвора што је довело до значајног смањења трошкова транспорта и укупних трошкова. Добијени резултати су задовољавајућег квалитета а постављени модел може да пронађе добро рјешење у разумном времену при чему су добијена мрежна рјешења просторно изводива.

Класично полагање нулте линије на карти методом корака шестара, Rogers i Shiess (2001) замјењују Arcview GISv3 екстензијом названом Pegger. Дигиталну подлогу на којој се полаже нулта линија представљају изохипсе, а корачање се изводи на основу нагиба као јединог параметра при чему дизајнер може да користи помоћне слојеве попут нагиба терена, граница посједа, земљишта или водотока. Са корачањем се

започиње након одређивања нагиба нулте линије и почетне тачке. Овај првобитно дефинисани нагиб је у току корачања према потреби могуће мијењати, а неодговарајуће дионице модификовати или у потпуности елиминисати. Иако се његовом примјеном полагање нулте линије подиже на виши ниво, ова софтверска апликација ограничена је са неколико озбиљних недостатака. Полагање нулте линије је могуће извести само на дигиталним изохипсама, а за касније верзије софтвера Arcview GIS надоградња Peggera није извршена. Такође, разматрање додатних еколошких и економских ограничења није могуће.

Акау et al. (2004) и Акау (2006) представљају модел оптимизације хоризонталне и вертикалне позиције трасе шумског пута на основу економских, еколошких и техничких критеријума. Овај модел се састоји од 3D приказа рељефа на којем се иницијална траса генерише постављањем низа тачака помоћу курсора. Ограничења су интегрисана у модел према геометријским захтјевима (максимални нагиб нивелете, минимални радијус хоризонталне кривине и минимална дужина вертикалне кривине) и еколошким захтјевима (минимални нагиб нивелете који ће обезбједити потребну одводњу површинске воде, минимални угао преласка преко водотока у циљу минимизирања седиментације и максимална дозвољена висина усјека и насипа). Након генерисања прве трасе модел генерише алтернативне трасе промјеном висине случајно изабраних контролних тачака те за сваку варијанту одређује количину земљаних радова, трошкове изградње и одржавања и интензитет седиментације водотока. За сваку генерисану варијанту минимизирање трошкова распоређивања земљаних маса врши се линеарним програмирањем (*engl.* Linear programming – LP). Резултати показују да LP превазилази ограничења профила кубатура уважавајући различите карактеристике земљишта и потенцијалне локације позајмишта и депонија (Акау, 2013). Оптимална вертикална позиција се бира SA алгоритмом.

Приликом планирања и процјене алтернативне мреже шумских комуникација, Најафи et al. (2008) у студији проведеној у сјеверном Ирану за ову сврху користе географски информациони систем (ГИС), податке добијене теренским снимањем и линеарно програмирање. Основу модела чини систематска мрежа 150x200 m. На основу доступних података за сваку тачку анализом у ГИС-у добијена је карта погодности потенцијала за изградњу путева и карта капацитета за искоришћавање. Укупно су планиране 4 варијанте мреже путева, а свака од њих је процијењена на основу

трошкова повезаних са путевима (амортизација, одржавање и трошкови услед губитка производне површине) и трошкова повезаних са искоришћавањем (трошкови изградње стоваришта, влака и трошкови привлачења). Како је код различитих скидера различит учинак, модел линеарног програмирања је коришћен у циљу смањења трошкова привлачења и одређивања просторног распореда појединих скидера. Описана метода је нарочито погодна у подручјима у којима нема изграђених комуникација, али је примјењљива и у подручјима која су дјелимично отворена. Одређене дионице у мрежи је истовремено могуће додати или елиминисати.

Nasiri i Lotfalian (2012) шумски пут планирају на основу триангулационе неправилне мреже (*engl.* Triangular Irregular Network – TIN). Помоћу FORENG 1.0.0 софтвера дизајнер уноси почетну и крајњу тачку пута између које се аутоматски генерише неколико алтернатива на основу рељефа, смјера нагиба, максималне и минималне вриједности уздужног нагиба, његовој промјени, зауставној даљини и стандарду пута. Калкулација земљаних радова врши се помоћу софтвера RoadEng. Најповољнија алтернатива се одређује на основу количине земљаних радова и дужине дионица на различитим категоријама нагиба и експозиције. Иако није оптимизацијски софтвер, како наводе аутори, ако се узму у обзир сви релевантни фактори код планирања шумских путева може да се постигне висока тачност. Међутим, највећи недостатак је што је за његово коришћење потребно познавање програмских језика.

#### **4. ЦИЉЕВИ ИСТРАЖИВАЊА**

Циљеви истраживања дефинисани су како слиједи:

- Утврђивање структурних карактеристика састојина букве и јеле, те узгојног облика и начина газдовања,
- Утврђивање постојеће отворености састојина букве и јеле мрежом примарних и секундарних шумских путева,
- Утврђивање неотворених и слабо отворених подручја и дефинисање нивоа приоритета за отварање према изабраним критеријумима,
- Утврђивање најбоље варијанте мреже примарних и секундарних шумских путева на основу више критеријума.

#### **5. ХИПОТЕЗЕ ИСТРАЖИВАЊА**

На основу утврђених циљева истраживања постављене су следеће радне хипотезе:

1. У газдинској класи високих шума букве и јеле мрежа примарних и секундарних шумских путева није оптимална.
2. У газдинској класи високих шума букве и јеле примјењује се скупинасто-пребирни систем газдовања.

## 6. ПОДРУЧЈЕ ИСТРАЖИВАЊА

За истраживање је изабрана газдинска класа високих шума букве и јеле у привредној јединици „Козара-Мљечаница“ (слика 8.). Ова привредна јединица се налази у сјеверозападном дијелу Републике Српске у оквиру козарачког шумскопривредног подручја којим газдује шумско газдинство „Приједор“ из Приједора. Налази се између  $16^{\circ} 43' 32''$  и  $16^{\circ} 55' 58''$  источне географске дужине и  $45^{\circ} 6' 13''$  и  $45^{\circ} 1' 04''$  сјеверне географске ширине. Обухвата површину од 8849,72 ha. Површина састојина букве и јеле унутар привредне јединице износи 2850,80 ha. Шумскопривредно подручје припада сјеверозападнобосанском и сјевернобосанском географском подручју. Планина Козара у чијим оквирима се налази привредна јединица Козара-Мљечаница заузима сјевероисточни дио шумскопривредног подручја. Укупна површина ове привредне јединице је подијељена између двије општине. У оквиру општине Козарска Дубица се налази 55%, а у оквиру општине Приједор 45% њене површине.

Газдинска класа шума букве и јеле представља највриједнију газдинску класу у шумскопривредном подручју козарачком. Од укупне површине привредне јединице на састојине букве и јеле отпада 34,9%, док у укупној површини свих високих шума у шумскопривредном подручју учествују са 11,88%. Са десетогодишњим етатом од 222.694 m<sup>3</sup>, у укупном етату шумског газдинства учествују са 10,72% при чему просјечна сјечива запремина износи 78,12 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>. Са просјечном залихом од 381,03 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> ова газдинска класа се налази изнад просјека за цијелу привредну јединицу за око 40 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> и за око 80 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> у односу на цијело шумскопривредно подручје. Новим је уређивањем шума у овим састојинама дошло до промјене бонитета станишта, па је просјечна дрвна запремина повећана на 473,62 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>. Просјечни запремински прираст износи 11,24 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>, те је у односу на прираст осталих газдинских класа високих шума унутар привредне јединице већи за од 16% до 23%. Просјечни интензитет сјече износи 16,5% у односу на запремину и 84,33% у односу на прираст.

Осим састојина букве и јеле, у Козари-Мљечаници из категорије високих шума заступљене су чисте састојине букве, затим састојине букве и храста китњака и састојине храста китњака и букве са цером. Изданачке шуме заступљене су на површини од свега 142,01 ha. Њих чине изданачке шуме букве, хрста китњака и

букве, те изданацке шуме питомог кестена и осталих лишћара. Остатак површине чине шумске културе и површине подесне и неподесне за пошумљавање и газдовање.

Када је у питању геолошка подлога, у сливу Моштанице заступљен је пјешчар пробијен лапорастим и глиновитим шкриљцима, док је у горњем току ове ријеке у већој мјери заступљен еоценски кречњак. У сливу Маглаје и уз сам поток Мљечаница су најзаступљенији пјешчари туфитске природе, а мањи дио привредне јединице заузима дијабаз и то у сливу ријеке Војскове и око коте Медњак.

Од типова земљишта углавном се јављају параподзол и параподзоласта земљишта.

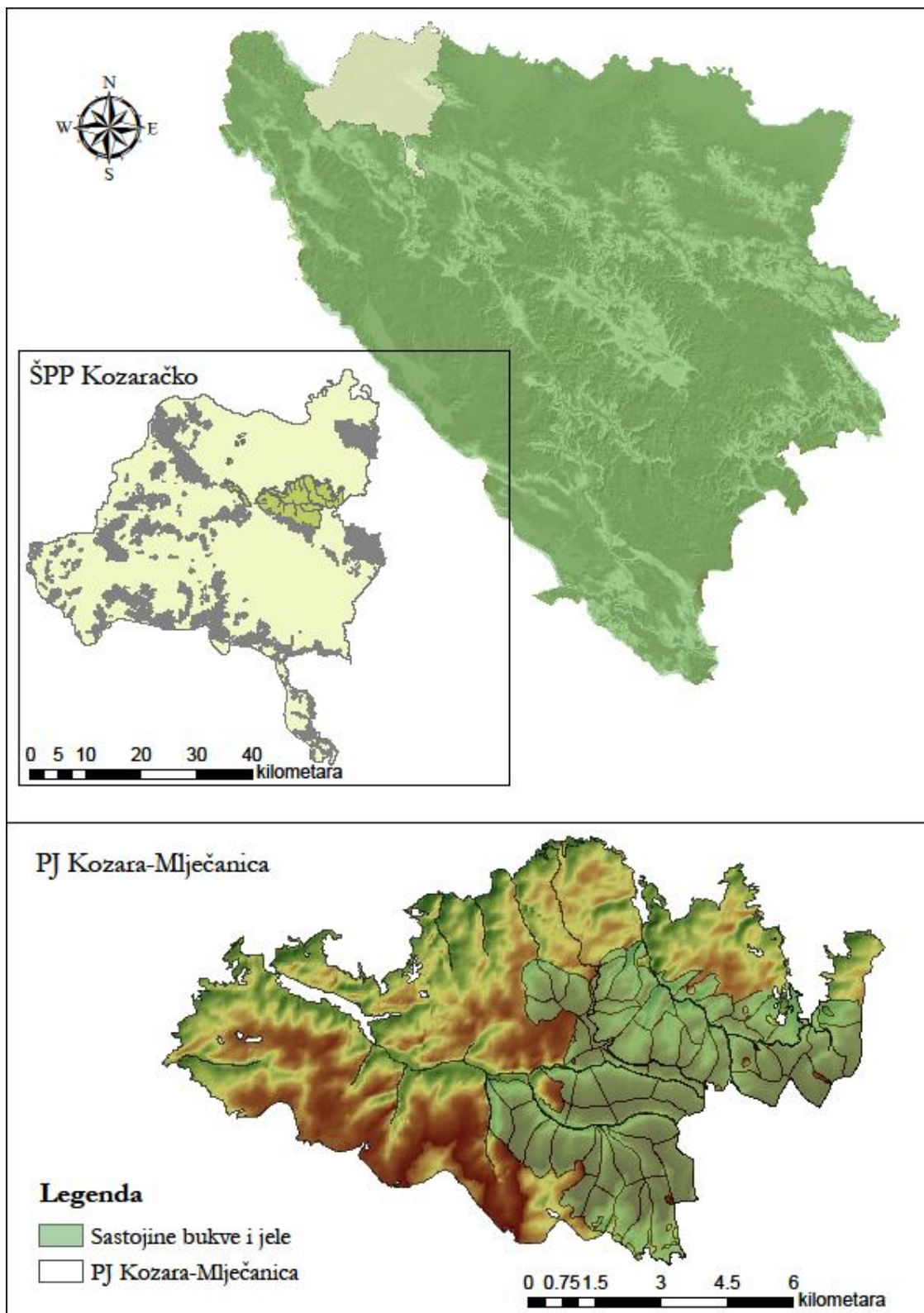
Параподзол и параподзоласта земљишта су карактеристична по оштрој диференцираности профила по механичком саставу, при чему се испод једног релативно плитког пропустљивог слоја протеже глиновити, збијени и непропусни слој. Овај непропусни слој поред тога што не дозвољава продирање корјена, проузрокује и стагнацију површинских вода и то је праћено процесом оглејавања. Због мале акумулације влаге ова земљишта у љетном периоду пате од суше.

Земљишта су обично кисела и јако кисела. Степен засићености базама је врло низак (30-50%). Изразито су сиромашна у фосфору, а често и у азоту, док су калијумом средње обезбјеђена. Ова земљишта представљају типична станишта шума храста и обичног граба.

Кисела смеђа земљишта представљају средње дубока до дубока земљишта са профилем А – (В) – С типа. То су кисела земљишта, сиромашна у храњљивим материјама, а у погледу механичког састава варирају од пјесковитих до глиновитих варијетета. Разлике у механичком саставу јако утичу на њихову производну вриједност. Пјесковити варијетети су сувљи и сиромашнији у храњљивим материјама па се могу користити за гајење само ограниченог броја врста дрвећа (борови), док глиновити варијетети пружају шире могућности.

Основни и крупнији недостатак ових земљишта је велико сиромаштво у храњљивим материјама, док су сва остала својства прилично добро изражена (изузев код јако пјесковитих варијетета са неповољним водним режимом). Кисела смеђа земљишта представљају природна станишта букових и храстових шума у нижим регионима, односно буково-јелових или смрчевих у вишим регионима.





Слика 8. Подручје истраживања

## 7. МЕТОД РАДА

Оквиром метода рада дефинисане су следеће радне фазе: i) фаза прикупљања података, ii) формирање базе података и израда географског информационог система подручја истраживања, iii) газдовање састојинама букве и јеле, iv) анализа постојеће примарне отворености подручја истраживања, v) анализа постојеће секундарне отворености подручја истраживања, vi) полагање варијанти мреже примарних и секундарних шумских путева, vii) вишекритеријумска анализа и избор варијанте мреже шумских путева.

### 7.1. Фаза прикупљања података

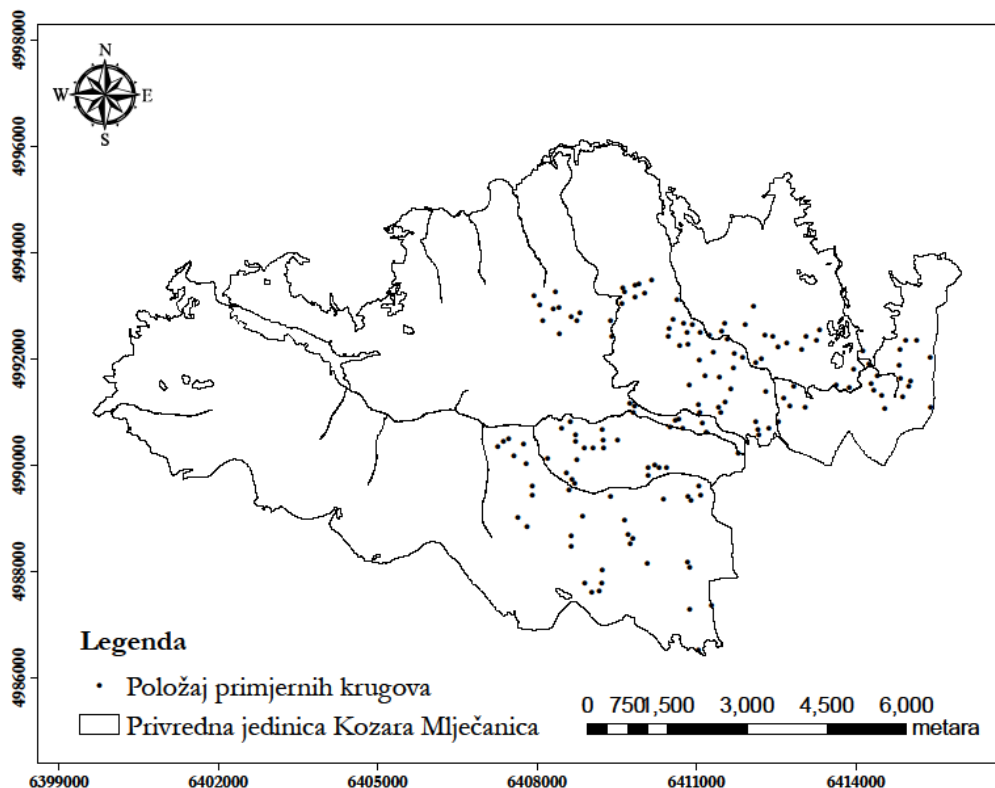
Прикупљање података вршено је у периоду од 2015. до 2017. године, а коришћени су следећи извори:

- ✓ планови газдовања шумскопривредним подручјем у чијем оквиру се налази привредна јединица Козара-Мљечаница за садашњи и претходне уређајне периоде (шумскопривредна основа, уређајни елаборати, планови сјеча);
- ✓ топографске карте подручја на коме се привредна јединица налази као и дигитализоване шумарске тематске карте са границама одјела, одсјека, посједа, узурпацијама, камионским путевима и тракторским влакама;
- ✓ постојеће базе података које су дио информационог система Јавног предузећа Шуме Републике Српске, а.д. Соколац;
- ✓ снимање и мјерење на терену чиме су постојећи подаци комплетирани или ажурирани.

### 7.2. Карактеристике састојина букве и јеле

Структуру састојине чине сва појединачна стабла са својим димензијама, њиховим дистрибуцијама, међусобним односима и захтјевима распоређена у простору као тродимензионалној величини (Novotny i dr., 2011). Структуру шумске састојине чине структурни елементи као што су број стабала по јединици површине и њихова дистрибуција по прским пречницима, просторни распоред стабала или хоризонтална и вертикална структура, затим врста, омјер и облик смјесе врста дрвећа у шумској састојини, темељница и њена дистрибуција по прским пречницима, запремина дрвета у састојини, дистрибуција запремине по прским пречницима, однос запремине по дебљинским степенима, структура младог нараштаја и др. (Anić,

2007). Најчешће се структура састојине третира тако да се посматра како је број стабала у састојини распоређен по дебљинским степенима или разредима. Тада говоримо о дебљинској структури која се просуђује на основу измјерених дебљина стабала у прсној висини (Novotny i dr., 2006).



**Слика 9.** Положај случајно изабраних кругова у састојинама букве и јеле

Од укупно 59 састојина које унутар ПЈ Козара-Мљечаница формирају мјешовите састојине букве и јеле укупне површине 2850,80 ha, потпуно случајним избором одабрана је 31 састојина чија је површина 1454,55 ha. Приликом њиховог избора пошло се од претпоставке да су све састојине унутар газдинске класе по еколошко-производним карактеристикама уједначене. У циљу утврђивања структурног облика ових састојина, у свим изабраним састојинама постављено је по пет случајно изабраних кругова полупречника 25 m. Укупна површина на којој је извршен премјер у свакој састојини износи приближно 1 ha. Премјером пречника свих стабала на овим круговима, криве расподеле броја стабала по дебљинским степенима дају нам увид у дебљинску структуру ових састојина, старост и начин газдовања.

### 7.3. Формирање базе података и израда ГИС-а подручја истраживања

Просторни подаци у ГИС-у су представљени у форми просторно оријентисаног вектора или растера, а њихове особине назване атрибутима описују векторски ентитет или растерску ћелију. Јединствена база података за мјешовите састојине букве и јеле унутар привредне јединице Козара-Мљечаница формирана је на основу војних топографских карата (ВТК) размјере 1:25.000 и састојинских карата за ову привредну јединицу, а ове просторне јединице допуњене су атрибутима важећих планова газдовања и шумскопривредне основе. Дигитализацијом су са ВТК добијене изохипсе представљене линијским ентитетима. Свакој изохипси је додијељена надморска висина у облику атрибута. На исти начин су добијени и остали географски ентитети попут водотока, извора и слично, а представљени су тачком или линијом. На основу слоја изохипси коришћењем алата *TopoToRaster* добијен је дигитални елевациони модел (ДЕМ) просторне резолуције 10x10 m. Овај се алат користи за интерполацију хидролошки исправне растерске површине. Када се за интерполацију ДЕМа користе изохипсе алгоритам прво генерише морфологију површине на темељу закривљености изохипси, а затим користи изохипсе као извор информација о висини (<http://desktop.arcgis.com>). Туџек и Ракола (2005) за израду ДЕМа користе овај алгоритам због сличности аналитичких процеса за извођење хидролошких појава и поступака моделовања удаљености привлачења трактором.

Добијени је ДЕМ основа за одређивање нагиба терена. Како је његова растерска површина дефинисана низом вриједности надморских висина коришћен је за одређивање кота тачака у мрежи које ће касније служити за израчунавање нагиба будућих дионица камионских путева и тракторских влака.

Карте привредних јединица са просторном подјелом на одјеле и одсјеке су дио информационог система ЈП Шуме Републике Српске и доступне су у дигиталном облику. На нивоу просторне јединице одсјека који чине мјешовите састојине букве и јеле, основна база података се састојала само од полигона дефинисаних информацијама које се односе на ознаку одсјека и редни број одјела којем припада, ужу, ширу категорију шума, газдинску класу и површину. С обзиром да је садржавала само најосновније информације, постојећа база података је допуњена информацијама о запремини крупног дрвета, нормалној дрвној запремини, запремини облог и просторног дрвета, те свеукупном и нето етату. Одређене средње

удаљености привлачења по одјелима, одсјецима или транспортним зонама су пондерисане наведеним количинама облог дрвета ради одређивања просјечне средње геометријске и стварне удаљености привлачења, а помоћу њих су на крају добијени трошкови прилачења.

Подаци о мрежи примарних шумских путева такође су доступни у ArcGIS shp. облику. Инвентура свих примарних шумских путева извршена је помоћу GPS уређаја у оквиру уређивања шума и израде шумскопривредне основе. Добијени подаци се користе за утврђивање степена отворености шумског подручја, а у обзир се узимају јавни и шумски камионски путеви који пролазе или тангирају шуме и шумска земљишта. Сваки пут који је узет при калкулацији отворености је представљен линијским ентитетом, а има дефинисан назив, дужину и категорију којој припада према Правилнику о пројектовању шумских камионских путева (Соколац, 2002). Линијским ентитетима је представљена и мрежа секундарних шумских путева. Тракторски путеви и влаке дио су интерне базе података шумског газдинства, а њихово пројектовање се врши приликом припреме одјела за сјечу, док им се просторни положај снима помоћу GPS уређаја. Ови подаци су доступни за већину одјела унутар подручја на којем се налазе састојине булве и јеле, а онда када то није био случај коришћене су скениране и геореференсирание технолошке карте из извођачких пројеката са уцртаном мрежом тракторских путева и влака.

На формираној бази података занима се даљи процес рада, обавља анализа расположивих информација, интерпретација добијених резултата, те усмјерава даљи ток рада у поступку отварања шума.

#### **7.4.   Анализа постојеће мреже примарних и секундарних шумских путева**

За анализу мреже примарних и секундарних шумских путева коришћени су подаци који су дио постојеће базе података и информационог система ЈП Шуме Републике Српске. Како су у одређеним случајевима постојеће информације биле застарјеле или нетачне, постојећа база података је ажурирана актуелним подацима. У случају примарне мреже путева, у шумскопривредном подручју козарачком, база података формирана је у току 2016. године. Овом базом су обухваћени шумски камионски путеви и јавни путеви који се користе у поступку газдовања шумама. У анализираном дијелу привредне јединице Козара-Мљечаница, у базу података примарне мреже

путева уврштени су јавни путеви који су Законом о јавним путевима категорисани као регионални и локални. Како се у оним случајевима у којима се ове категорије јавних путева јављају ради о путевима са макадамским коловозом, на њих се у процесу искоришћавања шума врши привлачење дрвета те су ови путеви узети у обзир приликом одређивања нивоа апсолутне и релативне отворености.

Шумски камионски путеви који се налазе унутар шумскопривредног подручја категорисани су на начин дефинисан у табели 1. Припадност категорији главног, споредног или прилазног шумског камионског пута одређена је на основу етата одјела која поједини путеви отварају и ширине коловоза. Овај етат представљен је запремином цијелог стабла, а збир ових запремина у односу на пут којем гравитирају заједно са ширином коловоза, дефинише њихову категорију. Према томе, база података примарних шумских путева обухвата јавне путеве категорисане према Закону о јавним путевима (Службени гласник Републике Српске бр. 89/13) и шумске путеве категорисане на основу саобраћајног оптерећења и ширине коловоза према Правилнику о пројектовању шумских камионских путева. Поред категорије којој припада, у оквиру ове базе података наведени су називи шумских путева, њихова дужина и одјели које отварају.

База података секундарних шумских путева формирана је сукцесивно у складу са редосљедом извођења сјече у појединим одјелима дефинисаним планом сјеча за шумскопривредно подручје и привредну јединицу Козара-Мљечаница. Приликом дознаке стабала за сјечу, у оквиру припреме одјела за искоришћавање пројектује се мрежа секундарних шумских путева и шумских стоваришта. Према Правилнику Јавног предузећа о пројектовању, изградњи, одржавању и реконструкцији тракторских путева и влака (Соколац, 2017), код пројектовања тракторских путева и влака полаже се само нулта линија која је основ предмјера радова и предрачуна трошкова њихове изградње. Положене нулте линије се најчешће помоћу ГПС уређаја преносе са терена на карту и то примјеном једне од, данас већ стандардних, програмских платформи за ГИС и картографију од којих су најчешће ESRI ArcGIS или једна од бесплатних, односно тзв. варијанти отвореног кода (engl. open-source). Иако се уређајни период завршава 2018. године, за цијело шумскопривредно подручје ова база података из различитих разлога још увијек није компетирана. Тамо гдје су тракторске влаке недостајале у дигиталној форми, коришћене су

аналогне карте одјела са уцртаном мрежом секундарних шумских путева. Такве карте су најпрвије скениране, просторно дефинисане алатима за геореференсирање у ArcGISu, а затим је извршена дигитализација тракторских путева и влака. Сама база података за секундарне шумске путеве сведена је на обиљежје додијељено тракторској влаци приликом пројектовања и њену дужину. Остале информације које би евентуално могле да буду саставни дио ове базе података нису ушле у њу с обзиром да у даљој анализи за њима неће бити потребе.

#### **7.4.1. Анализа примарне апсолутне отворености истраживаног подручја**

Апсолутна или класична отвореност шумског простора се изражава односом укупне дужине шумских путева који се на том простору налазе и површине тог простора. У зависности од тога да ли се ради о примарним или секундарним шумским путевима, отвореност се дијели на примарну и секундарну. Код одређивања нивоа примарне апсолутне отворености у обрачун се узимају сви путеви који утичу на смањење удаљености привлачења. Дакле, поред шумских, у обрачун отворености укључени су сви јавни путеви на које је могуће привлачење, односно, на којима је могућ утовар дрвета. Са друге стране, сви јавни и шумски путеви на којима није могућ утовар дрвета или се налазе ван привредне јединице те не остварују никакав утицај на смањење удаљености привлачења приликом одређивања нивоа отворености не узимају се у обзир.

Степен којим одређени пут утиче на ниво отворености шумског простора утврђен је на основу дјелимично измијењених критеријумима дефинисаних према Penteku i dr. (2016):

- шумски, јавни или неразврстани пут, односно његова одређена дионица, који се може користити при одрживом газдовању шумама, а нарочито за утовар шумских дрвних сортимената, који читавом својом дужином пролази кроз шуму и/или преко шумског земљишта и који шуму отвара двострано, узима се у обрачун густине примарне шумске транспортне инфраструктуре цијелом својом дужином (100% дужине);
- шумски, јавни или неразврстани пут, односно његова одређена дионица, који се може користити при одрживом газдовању шумама, а нарочито за утовар шумских дрвних сортимената, који читавом својом дужином пролази кроз шуму и/или

преко шумског земљишта и који шуму, због различитих ограничења, отвара једнострано, узима се у обрачун густине примарне шумске транспортне инфраструктуре с половином своје дужине (50% дужине);

- шумски, јавни или неразврстани пут, односно његова одређена дионица, који се може користити при одрживом газдовању шумама, а нарочито за утовар шумских дрвних сортимената, који пролази границом привредне јединице или највише 250 m удаљености од границе с њене вањске стране или највише до 125 m удаљености од границе с њене унутрашње стране, а чија траса генерално прати смјер пружања границе, узима се у обрачун густине примарне шумске транспортне инфраструктуре с половином своје дужине (50% дужине);
- шумски, јавни или неразврстани пут, односно његова одређена дионица (минималне дужине 500 m, који се може користити при одрживом газдовању шумама, а нарочито за утовар шумских дрвних сортимената, који долази до границе привредне јединице под приближно правим углом ( $90^{\circ} \pm 20^{\circ}$ ) и на граници завршава, узима се у обрачун густине примарне шумске транспортне инфраструктуре са дужином од 250 m. Уколико је дужина дионице мања од 500 m, иста се узима у обзир са половином своје дужине (50% дужине).
- шумски, јавни или неразврстани пут, односно његова одређена дионица (минималне дужине 500 m, који се може користити при одрживом газдовању шумама, а нарочито за утовар шумских дрвних сортимената, који долази близу границе привредне јединице под приближно правим углом ( $90^{\circ} \pm 20^{\circ}$ ), али завршава с вањске стране границе, узима се у обрачун густине примарне шумске транспортне инфраструктуре са дужином од 250 m умањеном за половину удаљености њеног завршетка од границе.
- меки земљани путеви који отварају шуму само у одређено доба године, узимају се у обзир цијелом својом дужином у свим оним случајевима у којима утичу на смањење удаљености и трошкова привлачења.

#### **7.4.2. Анализа секундарне апсолутне отворености истраживаног подручја**

Секундарну мрежу шумских путева чине тракторски путеви и тракторске влаке. Иако постоји одређена разлика у дефиницији између ова два појма, приликом анализе секундарне мреже путева у састојинама букве и јеле није вршено њихово раздвајање. Секундарна мрежа путева је третирана као једна цјелина, односно као мрежа



тракторских влака у којој свака појединачна влака служи за кретање трактора у транспортној фази привлачења дрвета. У циљу одређивања нивоа секундарне отворености у обрачун се узимала њихова укупна дужина.

Ниво секундарне апсолутне отворености шумског простора одређује се на основу исте математичке релације као у случају примарне апсолутне отворености. За разлику од примарне, секундарна отвореност се преваходно изражава на нивоу одсјека или одјела, а за веће просторне јединице попут слива, једног дијела или цијеле привредне јединице изражава се као просјечна вриједност. Критеријуми за одређивање нивоа секундарне апсолутне отворености нису дефинисани као што је то случај код утврђивања примарне отворености. За потребе овог истраживања секундарна апсолутна отвореност је одређена на основу укупне дужине свих тракторских влака који су у сваком одјелу пројектовани и изграђени у функцији привлачења дрвета до шумског камионског пута. Тракторске влаке које се налазе изван састојина букве и јеле нису коришћене при калкулацији нивоа отворености. Изузетак од овог правила јавља се само у случајевима у којима се тракторске влаке налазе изван састојина букве и јеле, а једну или више ових састојина повезују са камионским путем.

### **7.4.3. Одређивање релативне отворености**

#### **7.4.3.1. Одређивање примарне релативне отворености**

Одређивање примарне релативне отворености шумског простора састоји се од полагања омеђених површина око шумских и јавних путева. Ширина ових површина једнака је двострукој вриједности циљане геометријске средње удаљености привлачења. Ова удаљеност привлачења остварује се код циљане отворености, а узимањем њене вриједности као ширине омеђене површине издавају се они дијелови шумског простора који су постојећом мрежом путева отворени, те они на којима је у даљем поступку отварања потребно градити нове путеве.

Приликом примјене било којег транспортног средства постоји максимална удаљеност транспорта на којој се налази граница његовог рентабилитета. За свако транспортно средство које се користи у првој фази транспорта дрвета, према његовој врсти, начину транспорта дрвета и носивости треба одредити максималну удаљеност привлачења на којима је његова примјена још увијек оправдана.

Скидери, којима се привлачи цјелокупна количина облог дрвета која се произведе у шумском газдинству, прилагођени су привлачењу на малим удаљеностима. Углавном се на препоручују за привлачење на удаљеностима изнад 500 m. Тако Pulkki (1997) наводи да системи привлачења код којих се користе скидери са витлом или са хватаљкама не могу да раде на удаљеностима већим од 300 m и остану економични, док Meignan et al. (2012) тврде да је привлачење скидером на удаљеностима изнад 400 m превише скупо те га треба избјегавати.

У оквиру Шумског газдинства Приједор, да би се остварио позитивни финансијски резултат, пројектоване цијене сјече и привлачења не могу да прелазе 14,36 €/m<sup>3</sup>. Поштујући ово ограничење, просјечна цијена привлачења дрвета остварена у обрачунском периоду од 01.01.2018. до 31.10.2018. године износи 6,95 €/m<sup>3</sup>. Према Јединственим нормама радова у шумарству (Соколац, 2002), овај трошак се остварује код стварне средње удаљености привлачења дрвета од 221 m. Ова средња удаљеност привлачења је добијена као просјечна вриједност за средње - II услове рада за љетну и зимску сезону рада, док је у односу на групе врста дрвећа просјечна норма добијена на основу омјера смјесе који код нормалног стања у мјешовитим састојинама букве и јеле износи за јелу 0,3 и за букву 0,7.

На основу добијене стварне средње удаљености привлачења, примјеном фактора корекције привлачења дрвета који за Козару-Мљечаницу износи 1,85, добијена је геометријска средња удаљеност привлачења чија вриједност се користи код полагања омеђених површина и одређивања релативне отворености. Овако дефинисане геометријска и стварна средња удаљености привлачења дрвета су узете као вриједности циљане средње удаљености привлачења коју је у поступку отварања анализираниог подручја потребно достићи.

У поступку одређивања релативне отворености, сви постојећи јавни и шумски путеви на које је могуће привлачење дрвета су омеђени двоструком вриједношћу циљане геометријске средње удаљености привлачења. Стављањем у однос овако добијене површине унутар граница анализираниог подручја и укупне површине тог подручја добијена је релативна отвореност или проценат отворености анализираниог подручја за вриједност циљане геометријске средње удаљености привлачења. Подручја изван привредне јединице која су отворена путевима се не узимају у калкулацију.

Коефицијент ефикасности мреже постојећих јавних и шумских путева је добијен из односа величине оних површина које су отворене са два или више путева, односно оних површина на којима се утицаји неколико путева преклапају и површине подручја отворене вриједношћу двоструке циљане геометријске средње удаљености привлачења.

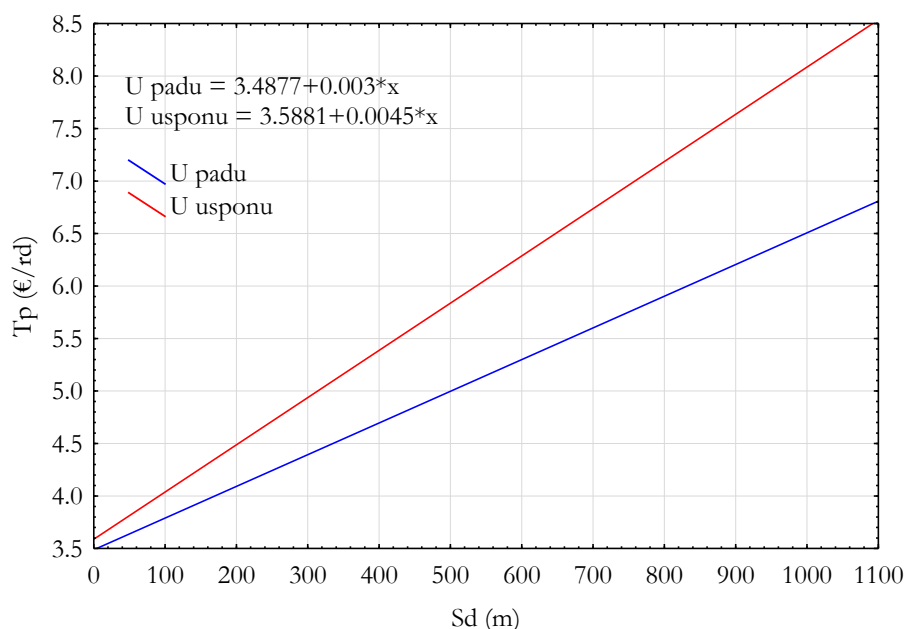
#### **7.4.3.2. Одређивање секундарне релативне отворености**

За разлику од примарне релативне отворености, секундарна релативна отвореност одређује се за сваку састојину или транспортну зону. Поступак се, као и у првом случају, састоји од полагања омеђених површина. У овом случају, омеђене површине се полажу око мреже секундарних шумских комуникација, а ширина омеђене зоне на свакој страни тракторске влаке једнака је максималној изабраној дужини ужета на витлу трактора. Омеђене површине су положене око свих постојећих тракторских влака, те око свих јавних и шумских камионских путева на које је могуће привлачење дрвета. За полагање омеђених површина коришћен је алат *Path Distance* из палете алата просторне анализе, а за ширину омеђене зоне коришћена је максимална дужина ужета на витлу од 60 m. Иако се наведени алат користи за одређивање минималних акумулираних трошкова кретања по растеркој површини од изворишног ентитета (<http://desktop.arcgis.com>), у овом је случају коришћен у циљу формирања растера тродимензионалне удаљености. Овај је начин полагања омеђених површина примијењен да би се избјегла примјена фактора корекције дужине ужета на витлу, а омеђена површина ширине 60 m добијена је на основу дигиталног елевационог модела терена анализираног шумског подручја. Добијена омеђена површина је у растерском формату, а да би се добила што већа тачност њене површине, због релативно мале дужине ужета витла, коришћена је величина растерске ћелије од 1 m. Добијена омеђена површина је трансформисана у векторски ентитет, те ја у свакој састојини израчуната њена укупна површина покривена одабраном дужином ужета на витлу. На основу добијене информације, секундарна релативна отвореност је добијена из односа са укупном површином за коју се одређује према формули 2., након чега је свака састојина сврстана у једну од припадајућих категорија секундарне релативне отворености дефинисане системом класификације у табели 3.

#### 7.4.4. Одређивање средње удаљености привлачења дрвета

За одређивање средње удаљености привлачења дрвета у истраживаном дијелу привредне јединице коришћена је метода тежишта површина. Ова је метода примијењена на дигиталне карте састојина које су у циљу вјеродостојнијег одређивања средње удаљености и трошкова привлачења подијељене на мање просторне јединице. Основу за одређивање трошкова привлачења чине утврђене границе транспорта па је одређивање положаја транспортних зона незаобилазан корак којим се дефинишу просторне јединице мање од састојине.

Транспортна зона представља привредни феномен чије су границе у потпуности одређене технолошким, економским или еколошким факторима. Ове факторе чине примијењено транспортно средство привлачења, трошкови привлачења, систем газдовања, систем сјече и израде, те сви они фактори који имају утицај на учинак и трошкове привлачења. Прихватајући овако представљен појам транспортне зоне те узимајући у обзир њихов утицај на трошкове привлачења, први корак код одређивања средње удаљености привлачења је утврђивање положаја границе транспортне зоне. Транспортна зона представља дио шумске површине са које се дрво привлачи на један или рјеђе два или три камионска пута или једно и/или више шумских стоваришта, али под условом да је њена граница одређена једном од следећих технолошких или природних карактеристика које утичу на прву фазу транспорта дрвета: i) смјером привлачења, односно привлачењем у паду или у успону, при чему се код исте удаљености привлачења јављају различити учинци и самим тим различити трошкови привлачења, ii) просторним односом између положаја пута и одјела у случају у коме се дрво из једног одјела привлачи на два различита пута али је рељеф терена такав да је на оба пута могуће привлачење у истом или различитом смјеру, iii) рељеф и облик одсјека су такви да би одређивање јединственог тежишта без утврђивања положаја границе транспорта довео до невјеродостојне средње удаљености привлачења. Управо се на овај начин постиже оптимални распоред привлачења, а већи ниво детаља, уосталом као и у општем случају, гаранције боља рјешења са мањим трошковима.



**Слика 10.** Трошак привлачења скидером у паду и у успону

Према томе, транспортна зона може да обухвата један одсјек или његове дијелове. Дефинисање граница транспортних зона за које је касније одређена и средња удаљеност и трошак привлачења извршено је према смјеру привлачења на основу Техничких норми рада у привлачењу облог дрвета за средње тешке зглобне тракторе (Сарајево, 1989). Коришћена је норма учинка изражена у  $t/RD$  приликом привлачења у паду и у успону на сувој до влажној подлози. Улазни елементи које је потребно познавати за читавање норме учинка односе се на просјечну запремину комада приликом привлачења ( $t$ ), средњу удаљеност привлачења витлом до ваке ( $m$ ) и средњу удаљеност привлачења по влаци ( $m$ ).

Максималну удаљеност привлачења која представља границу транспорта чини она удаљеност код које се јавља равнотежа трошкова привлачења у паду и у успону. Угрубо су трошкови код ова два смјера привлачења у односу  $2/3$  у паду и  $1/3$  у успону од укупне удаљености привлачења. Удио трошкова привлачења у успону се креће од 34%. Са повећањем удаљености привлачења дужина привлачења у успону расте да би код дужине привлачења од 1000 m износила приближно 39%.

На основу утврђених транспортних зона извршена је подјела свих састојина букве и јеле, а на тако добијене површине, у циљу одређивања средње геометријске удаљености привлачења примијењена је метода тежишта површина. Овако одређена средња удаљеност привлачења представља средњу геометријску удаљеност

привлачења. Средња геометријска удаљеност привлачења представља најкраће, праволинијско растојање између постављеног тежишта просторне јединице и најближе тачке на шумском камионском путу. Након одређивања средње геометријске удаљености привлачења сваке појединачне транспортне зоне, за укупну површину са које се привлачи у паду и у успону те за укупно подручје на коме се налазе састојине букве и јеле одређена је просјечна геометријска средња удаљеност привлачења. За овај је случај коришћена формула за пондерисану аритметичку средину (24), а као пондери су узете израчунате вриједности облог дрвета.

$$\overline{S_{dg}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{dg(i)} E_i}{\sum_{i=1}^n E_i} \quad (24)$$

гдје је:  $\overline{S_{dg}}$  – просјечна геометријска удаљеност привлачења (m);  $S_{dg(i)}$  – геометријска средња удаљеност привлачења  $i$ -те просторне јединице (m);  $E_i$  – израчуната количина облог дрвета у  $i$ -тој просторној јединици (m<sup>3</sup>).

Израчуната количина облог дрвета из једне састојине, уколико је она на описани начин раздијељена границом транспорта, подијељена је на онолико дијелова на колико просторних јединица је подијељена састојина сразмјерно њиховој површини.

Како се по најкраћој линији, осим у равничарским подручјима, привлачење дрвета стварно не обавља, добијене вриједности средње геометријске удаљености привлачења потребно је кориговати примјеном одговарајућег фактора због хоризонталног и вертикалног извијања линије привлачења у односу на праву линију (формула 25.).

$$S_{ds(i)} = S_{dg(i)} \cdot k_g \quad (25)$$

$S_{ds(i)}$  – стварна средња удаљеност привлачења  $i$ -те просторне јединице (m);  $k_p$  – фактор корекције привлачења.

Примијењена вриједност фактора корекције привлачења одређена је из односа геометријске и стварне удаљености привлачења и према Петковићу и др. (2017) за ПЈ Козара-Мљечаница износи 1,85.

Након одређивања стварне средње удаљености привлачења свих састојина или транспортних зона, одређене су просјечне стварне средње удаљености привлачења за транспортне зоне дефинисане смјером привлачења те укупно за истраживани дио

привредне јединице. Исто као и у случају одређивања просјечне геометријске удаљености привлачења, и у овом је случају коришћена формула за пондерисану аритметичку средину са запремином облог дрвета као пондером (формула 26.).

$$\overline{S_{ds}} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{ds(i)} E_i}{\sum_{i=1}^n E_i} \quad (26)$$

гдје је:  $\overline{S_{ds}}$  – просјечна стварна средња удаљеност привлачења (m);  $S_{ds(i)}$  – стварна средња удаљеност привлачења  $i$ -те просторне јединице (m);  $E_i$  – израчуната количина облог дрвета у  $i$ -тој просторној јединици (m<sup>3</sup>).

Нето количина облог дрвета која ће се привлачити из сваког одсјека или његовог дијела за који ће се одређивати трошкови привлачења добијена је на основу укупне дрвне запремине у састојинама букве и јеле одређене планом сјеча за плански период, те коефицијената удјела нето запремине свих сортимената у запремини цијелог стабла и коефицијента удјела облог дрвета у нето запремини сортимената. Укупна дрвна запремина или запремина цијелог стабла, према Дринићу и др. (1980) обухвата запремину цијелог стабла укључујући и дрвну запремину ситних грана и четина код четинара.

На основу информације добијене из Исказа сјеча за плански период од 2009 до 2018 године, коефицијент удјела нето запремине у запремини цијелог стабла у састојинама букве и јеле се креће од 68% за четинаре до 76% за лишћаре са просјеком од 75%. Добијен на основу Таблица сортиментног напада (Дринић и др., 1980), коефицијент удјела облог дрвета укључујући техничко и целулозно обло дрво износи приближно 67%.

Међутим, анализом реализоване дрвне запремине из категорије редовних сјеча утврђено је да постоје знатна одступања у количинама цијепаног огрјевног дрвета у односу на количине пројектоване извођачким пројектима. У највећој мјери се огрјевно дрво привлачи у форми облог дрвета па се због примјене различитих транспортних средстава јављају и различити трошкови. Из тог разлога су усвојене измјене у економско-финансијској анализи којима се укупна пројектована количина огрјевног дрвета раздваја на обло огрјевно и цијепано огрјевно дрво у односу 70:30. Због овога је удно облог дрвета за које ће се одређивати трошкови привлачења

повећан са 67% на 90%, а укупна количина облог дрвета за десетогодишњи плански период износи 149.991 m<sup>3</sup>.

#### 7.4.5. Одређивање трошкова привлачења дрвета

Добијене информације о густини шумских камионских путева и средњој удаљености привлачења дрвета потребно је употпунити и трошковима привлачења дрвета. На трошкове привлачења дрвета утиче велики број фактора, али је највећи утицај средње удаљености привлачења и просјечне запремине комада. Од ова два фактора највише зависи учинак трактора у привлачењу, а за одређивање његових вриједности коришћене су Јединствене норме радова у шумарству (Соколац, 2002). За ову сврху неопходно је одредити још и средњу удаљеност привлачења витлом. Наведене норме рада су дјелимично модификоване Техничке норме рада у искоришћавању шума (Сарајево, 1989), а код одређивања норме учинка у привлачењу дрвета прилагођене су дебловној методи израде дрвних сортимената. Уколико се сјеча и израда обављају сортиментном методом, препоручује се читавање норме учинка са просјечном запремином комада од 0,5 m<sup>3</sup>.

**Табела 7.** Фактори за дефинисање услова рада приликом привлачења дрвета

Фактори услова рада	Број бодова/вриједност фактора по условима рада		
	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
Нагиб терена	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>10</b>
	<10°	10°-30°	>30°
Нагиб тракторског пута	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>6</b>
	5-10%	10-15%	0-5% контра пад
Врста земљишта	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>9</b>
	Плитко	Сред.дуб. или	Дубоко-мочварно
Надморска висина	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>6</b>
	<1000 m	1000-1500 m	>1500 m
Удаљеност од гаража	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>6</b>
	< 2 km	2-6 km	>6 km
Сред.преч.дозначеног стабла	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>8</b>
	>46 cm	31-45 cm	<30 cm
Дозначена запремина по хектару	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>10</b>
	>80 m <sup>3</sup> /ha	60-80 m <sup>3</sup> /ha	<60 m <sup>3</sup> /ha

За одређивање норме учинка за све састојине унутар газдинске класе неопходно је одредити услове рада дефинисане помоћу 7 фактора наведених у табели 7. На основу одређених стварних вриједности овим елементима се додјељују бодовне



вриједности, а на основу вриједности збира бодова сврставају се у једну од 5 категорија услова рада како је то приказано у табели 8.

**Табела 8.** Категорије услова рада

Услови рада	I	I/II	II	II/III	III
Број бодова	<18	19-25	26-32	33-41	>41

Норма учинка и трошкови привлачења дрвета одређени су за сваку састојину или њен дио, а затим су одређене просјечне вриједности за транспортне зоне дефинисане смјером привлачења и укупно за истраживани дио привредне јединице. Као удаљеност привлачења узете су вриједности стварне средње удаљености привлачења, те просјечне вриједности израчунате за транспортне зоне и цијело истраживано подручје.

Просјечна запремина комада је добијена на основу анализе података који су дио базе података и информационог система ЈП Шуме Републике Српске. Анализом су обухваћени сви сортименти испоручени као обло дрво укључујући Ф и Л (Ф2) трупце, затим трупце за резање I, II и III класе, рудно дрво, дрво за целулозу и дестилацију и дрво за огрјев I и II класе. У обзир су узете све врсте дрвећа које се у мјешовитим састојинама јављају поред букве и јеле.

За средњу удаљеност привлачења вилом узета је вриједност од 30 m, те је у том случају максимална удаљеност привлачења витлом 60 m. За одређивање трошкова привлачења коришћене су вриједности норме учинка обрачунате за ову удаљеност јер је постојећа мрежа тракторских влака прилагођена овој дужини ужета на витлу.

Како је норма учинка дата посебно за лишћаре, а посебно за четинаре, просјечна норма за сваку састојину или њен дио добијена је на основу омјера смјесе четинара и лишћара како је то наведено у уређајним елаборатима за мјешовите састојине.

Јединични трошак рада трактора приликом привлачења добијен је на основу Калкулација цијена коштања средстава рада по радном дану (Соколац, 2018). Према овим калкулацијама трошак рада трактором ЛКТ-81 износи 357,06 €/rd.

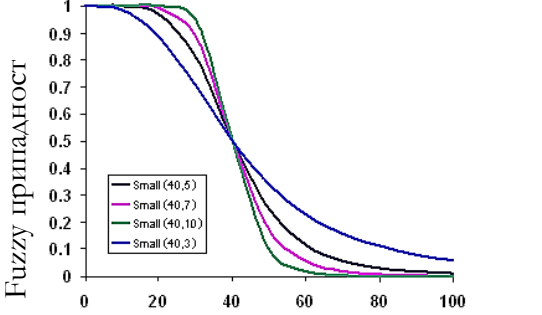
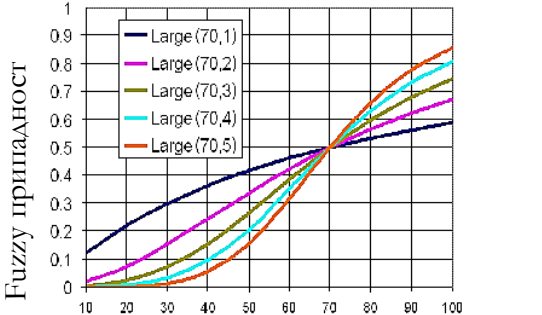
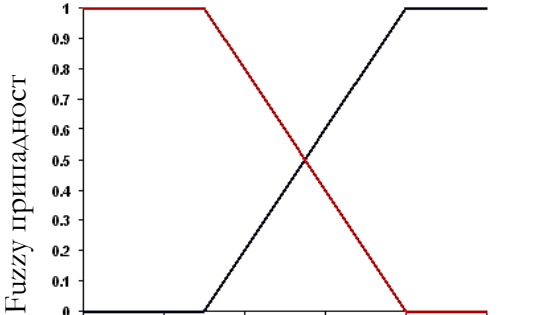
## 7.5. Дефинисање приоритетних подручја за отварање

Иако је већ проведеном анализом средње удаљености и трошкова привлачења, те релативне отворености у доброј мјери познат даљи ток отварања састојина букве и јеле, ради што учинковитијег развијања будуће мреже примарних и секундарних шумских путева дефинисана су подручја којима је у даљем поступку отварања потребно дати приоритет. Овај је приоритет резултатна неколико изабраних фактора којима се најчешће најстоје смањити постојећи високи трошкови производње дрвета узроковани великом даљином привлачења. Истовремено су ови фактори комбиновани са факторима који усмјеравају идејне трасе будућих шумских путева у погледу њиховог просторног положаја одређеног техничким захтјевима или трошковима изградње.

Изабрани фактори се приказују у растерском облику, а свака растерска ћелија садржи просторну информацију о вриједности појединог фактора добијену већ дефинисаним функцијама или из постојеће базе података. За сваку растерску ћелију сваког од изабраних фактора, у процесу фазификације се помоћу изабране функције припадности, на основу њихових вриједности, одређује ниво припадности fuzzy скупу. У ArcGIS програмској платформи интегрисано је неколико математичких функција помоћу којих се врши трансформација основних информација. За дефинисање приоритета за будуће отварање коришћени су фактори попречног нагиба терена, удаљености од постојеће мреже камионских путева, просјечног јединичног трошка привлачења, стварне средње удаљености привлачења, прираста и јединичног етата.

Попречни нагиб терена је један од фактора од којег у највећој мјери зависе трошкови изградње камионског пута. Са повећањем попречног нагиба терена повећава се количина земљаних радова, док је општи став да би подручја са попречним нагибом терена већ изнад 65% требало отворати шумским жичарама. За трансформацију вриједности попречног нагиба терена коришћена је FuzzySmall функција. Ова функција је графички представљена сигмоидном кривом (слика 11.) дефинисаном једначином облика 
$$\mu_x = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{f_2}\right)^{f_1}}$$
 са параметрима  $f_1$  који представља ширину и  $f_2$  који представља средњу вриједност фактора. Промјеном параметра ширине крива функције припадности постаје више или мање стрма што утиче на ниво

припадности факторских вриједности. Као вриједност овог параметра коришћена је стандардна вриједност 5, док је за параметар средње вриједности узета вриједност просјечног нагиба терена од 41% због чега вриједности испод ове имају већу припадност fuzzy скупу, а изнад ње мању.

 <p style="text-align: center;">Вриједности скупа</p>	<p>а) FuzzySmall функција припадности</p> <p>Једначина функције:</p> $\mu_x = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{f_2}\right)^{f_1}}$
 <p style="text-align: center;">Вриједности скупа</p>	<p>б) FuzzyLarge функција припадности</p> <p>Једначина функције:</p> $\mu_x = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{f_2}\right)^{-f_1}}$
 <p style="text-align: center;">Вриједности скупа</p>	<p>ц) FuzzyLinear функција припадности</p> <p>Једначина функције:</p> $\mu_x = \frac{(x - \min)}{(\max - \min)}$

Слика 11. Функције Fuzzy припадности (извор: <http://pro.arcgis.com/>)

Фактор удаљености од пута представљен је растером еуклидове удаљености од сваког појединачног пута у мрежи која отвара састојине букве и јеле. Припадност fuzzy скупу за вриједности овог фактора одређена је помоћу FuzzyLinear функције чији је графички облик приказан на слици 11. Према дефиницији је  $\mu_x = 0$  ако је  $x < \min$  и  $\mu_x = 1$  ако је  $x > \max$ , односно у осталим случајевима  $\mu_x = \frac{(x-\min)}{(\max-\min)}$ . Овом функцијом припадност вриједности фактора скупу линеарно расте са повећањем њихове величине. У овом случају већу припадност имају они дијелови анализираних површина који су удаљенији од пута јер њима треба дати приоритет у поступку даљег отварања. Функција је ограничена дефинисаним минимумом и максимумом, а замјеном њихових вриједности припадност се изражава инверзном линеарном функцијом. С обзиром да је одређена циљана геометријска средња удаљеност привлачења од 119 m, за вриједност минимума линеарне функције узета је максимална вриједност геометријске удаљености привлачења од 238 m. Ова подручја се сматрају отвореним те их у даљем поступку треба изоставити. Њима је процесу трансформације додијељена вриједност 0.

Фактор јединичног трошка привлачења представљен је по транспортним зонама, а припадност fuzzy скупу је одређена функцијом FuzzyLarge. Графички је ова функција представљена сигмоидном кривом (слика 11.), а једначина има облик  $\mu_x = \frac{1}{1+(\frac{x}{f_2})^{-f_1}}$ . Овом функцијом веће вриједности фактора имају већи ниво припадности и обратно. И ова је функција дефинисана параметрима ширења и средње вриједности. За параметар ширења је коришћена стандардна вриједност 5, док је као средња вриједност узета висина трошка од 6,95 €/m<sup>3</sup>. Изнад ове вриједности, припадност скупу се повећава са повећањем трошкова привлачења за све транспортне зоне у којима је то случај. Супротно томе, припадност се смањује са смањивањем трошкова испод дефинисане средње вриједности.

И фактор средње удаљености привлачења одређен је за транспортне зоне. Овај ће фактор у одређеној мјери имати исти утицај на приоритет отварања као и фактор удаљености од постојећег пута. Припадност вриједности овог фактора fuzzy скупу одређена је помоћу линеарне функције код које је за вриједност минимума употребљена удаљеност од 221m. Овај фактор превасходно је коришћен да би се

елиминисале састојине и транспортне зоне код којих је средња удаљеност привлачења унутар дефинисаних граница циљане средње удаљености привлачења, а истовремено већи приоритет дао састојинама код којих је стварна средња удаљеност привлачења неколико пута већа од ове вриједности.

Прираст састојине је један од најважнијих елеманата састојине од којег, између осталог, зависи и величина етата и једини је таксациони елемент састојине који је уврштен у процјену приоритета отварања. Како је планским документима дата само величина просјечног периодичног прираста газдинске класе, одређивање прираста сваке састојине вршено је помоћу процента прираста. Трансформација добијених вриједности вршена је помоћу fuzzy линеарне функције (слика 11.). Овом је функцијом обезбјеђен већи ниво припадности fuzzy скупу састојинама са већим прирастом и обратно.

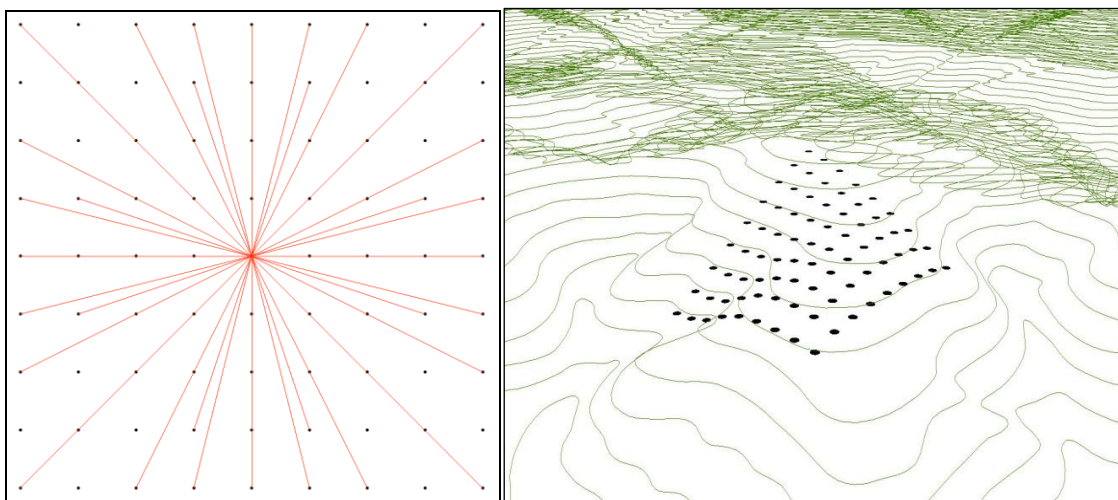
Јединични етат је одређен за поједине састојине. На основу запремине на почетку уређајног периода увећане за петогодишњи прираст сјечива дрвна запремина по хектару је одређена помоћу интензитета сјече прописаног шумскопривредном основом за газдинску класу. У процесу фазификације фактора етата коришћена је функција FuzzyLarge. У високим састојинама букве и јеле у просјеку се сјечиви етат креће приближно око  $80 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ . Зато је ова вриједност узета као средња вриједност, док је као фактор ширења задржана вриједност 5. Практично, све састојине са запремином од око  $80 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  имају припадност fuzzy скупу 0,5, док припадност осталих вриједности расте или пада према приказаној функцији.

Иако је за комбиновање растерских података чијим вриједностима су дефинисане fuzzy припадности у интервалу од 0 до 1 намијењена функција FuzzyOverlay, одређивање приоритета за отварање извршено је помоћу функције тежинског преклапања садржане у алату WeightedSum. Овим је алатом обезбјеђен једнак утицај свих фактора у процјени приоритета. Функција тежинског преклапања захтјева коришћење тежина фактора, те да би се вриједности добијеног резултата задржале у интервалу од 0 до 1, тежински утицај је расподијељен равномјерно на свих 6 изабраних фактора па је његова вриједност 0.167. Из добијеног резултата нивои приоритета на основу којих ће се усмјеравати поступак проширења постојеће мреже путева су подијељени у 3 категорије. За одређивање класа приоритета коришћен је

Јенксов алгоритам природних граница (Natural Breaks). Такозване природне границе формирају хомогене класе унутар којих су вриједности најбоље распоређене. Границе класа се идентификују тако да се најбоље групишу сличне вриједности, а да се истовремено увећају разлике између класа (<http://pro.arcgis.com>). Фактички се овом методом смањује варијанса унутар класе, а максимизира варијанса између класа. Добијени је резултат рекласификован у цјелобројне вриједности, а за сваку класу нивоа приоритета је одређена површина коју унутар састојина букве и јеле обухвата.

## 7.6. Варијанте мреже примарних шумских путева

На основу извршене анализе индикатора постојеће отворености састојина букве и јеле, те добијеног растерског модела нивоа приоритета којим се поступак отварања даље усмјерава, у радном окружењу програмског пакета ESRI ArcGIS формиране су три варијанте мреже примарних шумских путева. За формирање варијанти мреже шумских путева коришћен је Дијкстрин алгоритам (Dijkstra, 1959) који је интегрисан у алате мрежне анализе.



**Слика 12.** Положај чворова у скупу мрежних података и веза међу њима

Услов за примјену овог алгоритма је формиран скуп мрежних података (engl. Network dataset) (слика 12.) помоћу којих се врши моделовање транспортних мрежа. Мрежа представља систем међусобно повезаних елемената као што су линије и тачке и оне представљају могуће руте између двије локације (<http://desktop.arcgis.com/>). Унутар мрежне анализе се налази неколико функција којима се рјешава проблем усмјеравања на графу или одређивања пута. Неке од ових, попут функције руте

(Routes), најближи објекат (Closest Facility) или матрица трошкова (OD Cost Matrix) користе, између осталог, класични Дијкстрин алгоритам за проналажење најкраћег пута на неусмјереном, ненегативном, тежинском графу.

За формирање је варијанти мреже примарних шумских путева формиран скуп мрежних података на цијелој површини унутар Козаре-Мљечанице на којој се налазе састојине букве и јеле. Овај се скуп састоји од тачака које у будућој мрежи представљају чворове и линија које представљају лукове или гране мреже. Мрежа се састоји од скупа правилно распоређених тачака које се налазе на међусобном растојању од 20 m. Из сваке тачке формирано је 40 грана према сусједним тачкама (слика 12.) у следећим формама: дијагонална, 1+1, 1+2, 2+1, 1+3, 3+1, 2+3, 3+2, 1+4 и 4+1. Свака од ових грана представља потенцијални сегмент будућег шумског пута. Минимална дужина гране која повезује свака два чвора износи 20 m, док је максимална 82,46 m код форме 1+4 и 4+1. На цијелој истраживаној површини налазе се укупно 71222 чвора повезана са приближно 1.300.000 грана.

Да би било могуће формирање варијанти мреже примарних шумских путева, свим је гранама одређен нагиб у којем се крећу између два чвора. У том је смислу свакој почетној и крајњој тачки на грани додијељена висина са дигиталног елевационог модела терена, а нагиб сваке гране одређен је према формули 27.

$$i = \frac{\Delta h}{d} \cdot 100 (\%) \quad 27.$$

$i$  – уздужни нагиб гране (%),  $\Delta h$  - висинска разлика између почетне и крајње тачке на грани (m),  $d$  – дужина гране (m)

На овако дефинисаној мрежи чворова и грана формиране су варијанте мреже примарних шумских путева. За сваку од идејних траса унутар мреже одабране су почетна и крајња тачка, те једна или више међутачака у зависности од дужине идејне трасе. Алгоритам је покренут минимално једном за сваку трасу. Због дужине идејних траса, дужина појединих грана и облика рељефа терена између почетне и крајње тачке, повезивање крајњих тачака најчешће није могуће извести без неколико међутачака које су усмјеравале кретање будуће трасе. Почетна тачка се увијек налази на постојећем камсионском путу, док су крајња тачка и све остале међутачке

постављене тако да се у складу са обликом рељефа и нагибом терена најбоље отворе површине приоритетне за отварање.

У зависности од категорије шумског пута алгоритам најкраће трасе се креће по гранама са ограниченом вриједношћу нагиба. Максимални нагиби су дефинисани Правилником о пројектовању шумских камионских путева према којем они износе за главни шумски пут 8%, споредни 10% и прилазни 12%. Поред категорије, формиране варијанте мреже примарних шумских путева се разликују према укупној дужини, а на основу ова два фактора одређени су трошкови њихове изградње. Са проширењем постојеће мреже примарних шумских путева започело се на подручјима која, на основу дефинисаног нивоа приоритета имају јак приоритет, а након њих отворена су подручја са slabим нивоом приоритета.

С обзиром да је постојећа мрежа примарних шумских путева релативно равномерно распоређена на цијелој површини састојина букве и јеле, неотворена подручја се састоје од једне па све до неколико састојина у којима су велики трошкови привлачења резултат неповољног односа геометријске и стварне средње удаљености привлачења. То је уједно разлог због чега се у варијантама примарне мреже не јавља категорија главних шумских путева. Идејне трасе су у свим варијантама или у категорији споредних или прилазних шумских камионских путева. Однос дужине ове двије категорије варира по варијантама, што ће, с обзиром да се прилазни шумски путева се најчешће граде без коловоза, довести до разлике у трошковима изградње и одржавања између појединих варијанти мреже.

#### **7.7. Варијанте мреже секундарних шумских путева**

Јединственим нормама радова у шумарству (Соколац, 2002) норма учинка трактора приликом привлачења дрвета дата је за средње удаљености привлачења витлом од 10, 20 и 30 m. За формирање варијанти мреже тракторских путева изабране су средње удаљености привлачења витлом од 20 и 30 m. Обје варијанте формиране су на постојећој мрежи тракторских влака. Код варијанте I постојећа мрежа је модификована на тај начин да се код максималне дужине ужета на витлу од 40 m постигне што већи ниво отворености придржавајући се при том ограничења везаних за нагиб терена.



Варијанта II представља такође унапријеђену мрежу постојећих тракторских влака али је она у овом случају у мањој мјери модификована у односу на варијанту I. У варијанти II постојећа мрежа тракторских влака је проширена само у оним случајевима у којима је релативна отвореност на нивоу недовољне, слабе или једва добре отворености. У осталим случајевима, с обзиром да је степен покривености састојина за одабрану дужину ужета на витлу изнад 80%, сматрало се да нема потребе за изградњом нових тракторских влака.

У погледу попречног нагиба терена као гранична вриједност изнад које изградња тракторских влака не долази у обзир узета је вриједност од 60%. Према Љубојевићу (2010) ова вриједност представља горњу границу оправданости изградње тракторских влака због чега су подручја са нагибима изнад ове вриједности искључена приликом полагања варијанти мреже. Други ограничавајући фактор се односи на максимални уздужни нагиб тракторске влаке. Тракторске влаке се граде са већим уздужним нагибима у односу на камионске путеве. Ови нагиби нарочито у смјеру привлачења у паду имају вриједности и до 50%. Међутим, према Јеличићу (1983) максимални уздужни нагиби би требали да буду од 12 до 16% из разлога конверзије у камионски пут те смањења утицаја ерозије. У случају проширења постојеће мреже тракторских влака, за максимални дозвољени уздужни нагиб узета је вриједност од 15%.

Како еколошки фактори нису директно узети у обзир код дефинисања подручја према приоритету за отварање, еколошких се ограничења придржавало директно код полагања тракторских влака. Ова ограничења су дио интерних смјерница Јавног предузећа која се превасходно односе на извођење радова око водотока и планирање мреже тракторских влака. У оба ова случаја неопходно је формирати заштитну зону око водотока чија се ширина, у зависности од ширине водотока, креће од 2 до 20 m. Унутар ове зоне није могуће извођење никаквих радова, што укључује дознаку стабала за сјечу, те планирање и изградњу тракторских влака и стоваришта. Иста ограничења важе за изворишта воде, влажна и мочварна земљишта. У оним случајевима у којима се прелазак преко водотока не може избјећи планира се изградња премосница. Наведена ограничења су примјјењена само на сталне водотоке, док сезонски водотоци приликом полагања секундарне мреже путева нису узети у обзир.

За формирање варијанти мреже секундарних шумских путева коришћен је исти скуп мрежних података на којем су формиране варијанте мреже примарних шумских путева. Како број грана на цијелој површини прелази 1.000.000, слиједeћи препоруке у погледу максималног уздужног нагиба влаке те дефинисану границу од 15%, све гране са нагибом изнад ове вриједности су елиминисане. На овако редукованој мрежи Дијкстрин алгоритам је покренут за сваку појединачну тракторску влаку.

#### **7.8. Одређивање трошкова изградње и одржавања примарне и секундарне мреже шумских путева**

Један од критеријума на основу којег се врши поређење варијанти мреже камионских путева и тракторских влака представљају трошкови њихове изградње. Већи се захтијеви у погледу конструктивних карактеристика, утицаја на шумски простор и трошкова изградње јављају код камионских путева. Трошкови њихове изградње значајно варирају у зависности од услова терена и земљишта, категорије пута, трошкова рада машине и радника, као и од вјештине радника и оператера на машини (FAO, 1998). У оквиру дефинисаних варијанти мреже камионских путева, поступак проширења постојеће мреже извршен је са категоријама споредних и прилазних шумских путева. За разлику од категорије споредних шумских путева, код прилазних путева је, с обзиром да отварају поједине одјеле, искључена изградња коловоза. Трошкови њихове изградње се састоје од припремних радова, земљаних радова и непредвиђених радова, док су трошкови израде коловозне конструкције и објеката искључени.

Трошкови изградње сваке од варијанти мреже шумских камионских путева представљају збир трошкова изградње свих нових путева којима је свака варијанта допуњена. Према шумскопривредној основи са роком важности од 2019-2028, просјечни трошкови изградње камионских путева у Републици Српској износе око 35.897 €/km. Како се ова вриједност односи на шумске путеве са коловозом она ће се користити код одређивања трошкова изградње споредних шумских путева. За категорију прилазних шумских путева трошак изградње коловоза се није узео у обзир.

У укупним трошковима изградње камионских путева, трошкови израде коловоза зависе, између осталог, од грађевинске категорије терена, врсте и дебљине коловоза,

категорије пута и др. Према Stückelbergeru et al. (2006) око 80% укупних трошкова изградње шумских путева на стрмим теренима чине трошкови земљаних радова. Према Kozaru i dr. (2009) на два камионска пута укупне дужине 13,73 km трошкови израде макадамског коловоза обухватају 25% и 30% у укупним трошковима изградње. Као просјечна вриједност удјела трошкова изградње коловоза у укупним трошковима узета је вриједност од 60% добијена на основу главних пројеката за шумске камионске путева изграђене у оквиру шумскопривредног подручја козарачког. Према томе, трошкови изградње прилазних шумских путева износе 14.359 €/km.

Према временском периоду у ком се обавља, одржавање шумских путева се дијели на редовно и инвестиционо. Према Potočniku (2007 и 2012) трошкови редовног одржавања шумских путева са макадамским коловозом износе 2-4% годишње од укупних трошкова изградње. Петковић (2019) трошкове редовног и инвестиционог одржавања одређује помоћу рентног фактора од 19,02, те у периоду амортизације шумског пута од 50 година у привредној јединици Просара трошкови одржавања износе 13.694 €/km. Редовним одржавањем обухваћени су трошкови профилисања планума и чишћење одводних канала, док су у оквиру инвестиционог одржавања обухваћени трошкови ископа материјала у позајмишту, утовар и транспорт, планирање и збијање материјала и израда банкина. Ова вриједност је коришћена за одређивање трошкова одржавања камионских путева у састојинама букве и јеле у привредној јединици Козара-Мљечаница. Укупни трошкови одржавања мреже путева унутар сваке варијанте представљају производ ове вриједности и дужине путева у свакој од варијанти.

За одређивање трошкова изградње и одржавања тракторских влака коришћени су нормативи грађевинске механизације који се примјењују за обрачун трошкова изградње и одржавања секундарне мреже приликом израде извођачких пројеката искоришћавања одјела. Као норма времена код изградње тракторских влака узета је норма ископа у широком откопу у земљишту III категорије са гурањем на удаљености од 20 до 40 m која према овим нормативима износи 0,0333 h/m<sup>3</sup>. За одржавање постојећих тракторских влака коришћена је норма рада на скидању хумуса дебљине 10 до 20 cm са гурањем на удаљености од 20 до 40 m. Ова норма износи 0,0323 h/m<sup>3</sup>, а у оба случаја коришћене су норме за булдозер TG 90 и TG 110. Трошак рада за наведене булдозере износи 35,90 €/h.

Трошак изградње или одржавања тракторских влака у свакој од формираних варијанти мреже представља производ наведених норми и количине земље која се јавља код изградње или одржавања сваке појединачне тракторске влаке. Према таблицама површина и елеманата попречних профила за тракторске путева у земљишту III категорије (Јеличић, 1983), површина откопа на тракторским путевима ширине 3,5 m се креће од 1,268 m<sup>2</sup> до 1,639 m<sup>2</sup> код попречног нагиба терена од 40 и 45%. Код планирања трошкова секундарног отварања, Инвестиционим програмом отварања привредне јединице Козара-Мљечаница (1975) коришћена је просјечна количина откопа од 1,5 m<sup>3</sup>/m'. Како се ради о истој привредној јединици, при просјечном нагибу терена од 41,2% у састојинама букве и јеле количина ископа од 1,5 m<sup>3</sup>/m' је прихваћена за све тракторске влаке у оквиру обје варијанте секундарне мреже.

Одржавање тракторских влака је повезано са њиховим враћањем након коришћења у првобитно стање, а односи се углавном на санацију возне површине и одвођење воде. Како се санација не изводи на свим тракторским влакама, одређивање трошкова одржавања одређено је са претпоставком да се у просјеку на свакој влаци у току одржавања уклања слој дубине 0,1 m. Овим је начином утврђена просјечна количина ископа од 0,35 m<sup>3</sup>·m<sup>-1</sup>, а трошкови одржавања добијени су на основу укупне дужине постојећих тракторских влака у обје варијанте секундарне мреже путева. Овим трошковима је обухваћен период амортизације тракторских влака који, како наводи Rebula (1983), износи три опходњице. У том периоду трошкови тракторских влака износе 150-160% од трошкова прве изградње.

#### **7.9. Одређивање нивоа покривености површине мрежом примарних и секундарних шумских путева**

За сваку варијанту мреже примарних и секундарних шумских путева, површина на којој се ови путеви налазе је у одређеној мјери њима и отворена. У овом се смислу покривеност површине мрежом шумских путева дефинише појмом релативне отворености. За прихваћене начине одређивања релативне отворености, формиране варијанте мреже шумских путева се међусобно разликују према нивоу којим мрежа путева покрива површину састојина букве и јеле за вриједност средње удаљености привлачења у случају мреже примарних и дужине узета на витлу у случају мреже секундарних шумских путева. Код примарне мреже, дужина путева се повећава од

прве ка трећој варијанти, те се истовремено повећава ниво покривености површине. У случају секундарне мреже, боља покривеност је остварена са другом варијантом код које је примијењена дужина ужета на витлу од 60 метара. Разлика покривености површине између варијанти представљена је међусобним односом збира површина које су отворене мрежом примарних и секундарних шумских путева.

#### **7.10. Одређивање величине непроизводне површине за варијанте мреже примарних и секундарних шумских путева**

Изградњом мреже примарних и секундарних шумских путева дио шумског земљишта се најчешће за дужи временски период изузима из производње. Ово је нарочито карактеристично за камионске путеве. Утицај тракторских путева и влака је, у односу на камионске путеве, нешто мањи. Риџман (1995) за четири варијанте мреже тракторских влака различитог уздужног нагиба добија да се удио површине под тракторским влакама креће од 3,32 до 3,67%. Јелић (1983) наводи да се код мреже тракторских влака од 100 m/ha са ширином огољене површине за њихову изградњу од 5 m губи свега 5% продуктивне површине, те се и тај губитак с временом смањује.

За одређивање величине површине која се изузима из производње код свих варијанти мреже примарних шумских путева коришћена је једначина регресије (28.) на основу које се, према Соколовић и др. (2008), одређује ширина просјеке пута у зависности од попречног нагиба терена на III категорији земљишта.

$$y = -1,12 + 29,04 \cdot NT \quad (28)$$

Гдје је:  $y$  – ширина просјеке (m),  $NT$  – нагиб терена (%).

Укупна непродуктивна површина за сваку варијанту мреже примарних шумских путева представља суму непродуктивних површина насталих изградњом свих појединачних траса унутар сваке варијанте. Непродуктивна површина за сваку појединачну трасу добијена је на основу просјечне вриједности попречног нагиба терена којим траса пролази и њене дужине.

За разлику од мреже примарних, мрежу секундарних шумских путева чине тракторски путеви и тракторске влаке. Ширина планума тракторских путева износи 2,5 m за стандардне тракторе и 3,5 m за зглобне тракторе. Иако имају мању ширину у односу на камионске путеве, по јединици површине граде се у неколико пута већој

дужини. За одређивање ширине појаса који је потребно посјећи за изградњу тракторског пута коришћена је формула Јеличића (29.) (1985).

$$p = 1 + (\check{s} - a) + e \quad (29)$$

Гдје је:  $p$  — ширина појаса за изградњу пута (m),  $\check{s}$  — ширина планума пута (m),  $a$  — дио планума пута на самониклом земљишту (m),  $e$  — удаљеност шкарпе од нулте тачке (m).

За ширину планума пута прихваћена је вриједност од 3,5 m, док су параметри  $a$  и  $e$  одређени на основу таблица Јеличића (1983) за просјечни нагиб терена у састојинама букве и јеле од 41,2%. Вриједност параметра  $a$  износи 1,96, док је вриједност параметра  $e$  3,34. Укупна површина која се изузима за сваку варијанту мреже тракторских влака представља производ вриједности параметра  $p$  и дужине свих тракторских влака унутар сваке варијанте.

#### 7.11. Дијкстрин алгоритам најкраћег пута

Према математичкој теорији графова, граф представља скуп чворова или тачака међусобно повезаних линијама које се називају лукови или гране. Математички приказано, граф представља уређени пар  $G = (V, E)$  у којем је  $V$  скуп чворова чији су елементи  $(v_i) \in V$ , док је  $E$  скуп грана са елементима  $(e_i) \in E$ . Код рјешавања реалних проблема најчешће се захтјева додијеливање тежина  $w(e_i)$  гранама на графу. Тежине су представљене реалним бројевима, а сам граф је у овом случају тежински граф. Усмјерени тежински граф се назива мрежом, а математичка теорија графова има релативно велику примјену код рјешавања проблема најкраћег пута у транспортним мрежама. Проблем идентификације најкраћег пута у путној мрежи је фундаментални проблем у мрежној анализи са примјеном од навођења у навигационим системима до рјешавања проблема просторне алокације (Win, 2018).

Најчешће се за рјешавање проблема најкраћег пута користи Дијкстрин алгоритам. Овај алгоритам описао је Едсгер Дијкстра (1959) у циљу рјешавања проблема са једним исходиштем на графу уз услов ненегативности тежина грана. Спада у домен хеуристичких процедура. Показало се да је Дијкстрин алгоритам веома ефикасан у одређивању најкраћег пута од исходишног до одредишног чвора или од исходишног до свих осталих чворова у мрежи (Tan, 1999). Тежина грана може да се представи

удаљеношћу, цијеном или временом (Акау et al., 2013) па је, према томе, најкраћи пут између два чвора на графу онај чија је сума тежина грана минимална. Како алгоритам функционише само са једним исходним чвором, најкраћи пут за сваки други чвор на графу се одређује у односу на њега.

Ако се мрежа путева представи као граф, у том би случају мјеста гдје се спајају два пута представљала чворове а поједини путеви гране графа. У новије вријеме, развојем програмских платформи које подржавају примјену хеуристичких алгоритама, теорија графа се све више користи код рјешавања различитих проблема из домена шумске транспортне инфраструктуре. Тако су се Дијкстрином методом најкраћег пута служили Tan (1999), Anderson и Nelson (2004), Stückelberger et al. (2006), Picard et al. (2006), Aruga et al. (2011) Imani et al. (2012), Parsakhoo и Mostafa (2015), Parsakhoo и Jajouzadeh (2016), Naderializadeh и Crowe (2018).

Дијкстрин алгоритам у ArcGIS програмском пакету имплементиран је у алате просторне и мрежне анализе. У првом случају алгоритам се примјењује на растерској, а у другом на векторској подлози. Код растерске подлоге, смјер у којем је могуће кретање пута ограничен је на осам сусједних ћелија, док је код примјене векторске подлоге могућ већи број смјерова који нису ограничени на правилну мрежну структуру (Stückelberger et al. 2006).

#### **7.12. Вишекритеријумски избор мреже шумских путева**

У оквиру примарног отварања, формиране су три варијанте мреже шумских путева, а у свакој од њих постојећа мрежа је у одређеној мјери допуњена новим путевима. Нови путеви су из варијанте у варијанту полагани према нивоу приоритета подручја за отварање дефинисаном у поглављу 7.5., а крајњи циљ је приближавање циљаној средњој удаљености привлачења и смањивање трошкова привлачења дрвета. Мрежа секундарних шумских путева је модификована кроз двије варијанте прилагођене дужини привлачења ужетом на витлу. У варијанти I, максимална удаљеност привлачења витлом којој је мрежа тракторских влака прилагођена износи 40 m, а у варијанти II 60 m. Ове двије варијанте се разликују према трошковима привлачења на основу норме учинка која се остварује за одабрану дужину ужета на витлу и трошкова изградње и одржавања с обзиром на различиту дужину мреже између варијанти.

Свака од наведене три варијанте мреже примарних шумских путева и двије варијанте мреже секундарних шумских путева стављена је у међусобну комбинацију чиме је формирано шест варијанти мреже примарних и секундарних шумских путева приказаних у табели 9.

**Табела 9.** Алтернативе мреже примарних и секундарни шумских путева

Варијанта мреже примарних шумских путева	Варијанта мреже секундарних шумских путева	Алтернатива
Варијанта I	Варијанта I	Алтернатива I
Варијанта I	Варијанта II	Алтернатива II
Варијанта II	Варијанта I	Алтернатива III
Варијанта II	Варијанта II	Алтернатива IV
Варијанта III	Варијанта I	Алтернатива V
Варијанта III	Варијанта II	Алтернатива VI

Добијене варијанте мреже шумских путева представљају алтернативе између којих се избор врши помоћу TOPSIS методе вишекритеријумске анализе. Избор између алтернатива вршен је на основу следећих критеријума:

1. Трошкови изградње и одржавања мреже примарних и секундарних шумских путева унутар сваке алтернативе – K1 (тип **min**↓) (€).
2. Трошкови привлачења дрвета који се остварују код сваке алтернативе мреже примарних и секундарних шумских путева – K2 (тип **min**↓) (€).
3. Покривеност површине мрежом примарних и секундарних шумских путева код сваке алтернативе мреже примарних и секундарних шумских путева – K3 (тип **max**↑) (%).
4. Величина непродуктивне површине, односно површине које се изузима из производње код сваке алтернативе мреже примарних и секундарних шумских путева – K4 (тип **min**↓) (ha).

Прва два критеријума се односе на трошкове везане за мрежу шумских путева и производњу дрвета те припадају групи економских критеријума. У процесу вриједновања и избора алтернатива тежи се минимизацији критеријумских вриједности. Трећи критеријум представља површину која је доступна примјењеном транспортном средству привлачења код сваке од алтернатива мреже шумских путева.



Припада групи технолошких критеријума, те представља једини критеријум чије се вриједности максимизирају. Последњи критеријум је из групе еколошких критеријума. Критеријумске вриједности се у процесу избора алтернатива минимизирају.

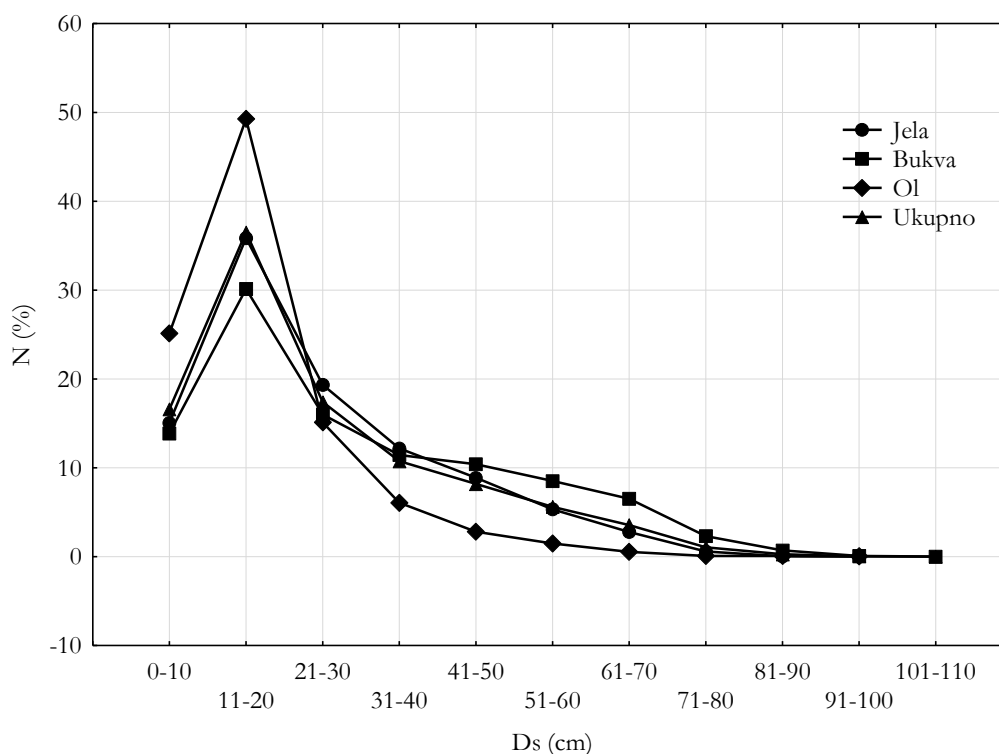
Како сви коришћени критеријуми немају исту важност у вишекритеријумској анализи, за одређивање тежина критеријума коришћена је Shannonova метода ентропије. Ова метода припада групи метода за објективно оцјењивање тежина критеријума. Тежине критеријума се одређују кроз неколико корака при чему се вриједности ентропије ( $e_j$ ), дивергенције ( $d_j$ ) и тежина критеријума ( $w_j$ ) одређују помоћу формула (21), (22) и (23).

Добијене вриједности тежинских коефицијената критеријума су коришћене за вриједновање и рангирање алтернатива TOPSIS методом имплементираним у MS Excelовој апликацији под називом SANNA. SANNA (Jablonský i Urban, 1998) представља систем за анализу алтернатива (engl. System for ANalysis of Alternatives), односно њихову процјену у односу на већи број критеријума. Ова excelова апликација се састоји од пет модула: i) модул за управљање подацима, ii) филтер недоминантности, iii) модул за одређивање тежина, iv) модул са вишекритеријумским методама и v) модул за формирање извјештаја. Поред TOPSIS методе, од метода вишекритеријумске анализе SANNA садржи методе ELECTRE I, ELECTRE III, MAPPAS, ORESTE, PROMETHE и WSA. За одређивање тежина критеријума могу да се користе методе попут Fullerove или AHP методе, или се тежине критеријума уносе директно ако су одређене на неки други начин. Апликација је ограничена на анализу 100 алтернатива у односу на 50 критеријума. Примјена апликације је једноставна, а доносилац одлуке може да анализира велике проблеме помоћу различитих метода за релативно кратко вријеме (Jablonský, 2014).

## 8. РЕЗУЛТАТИ

### 8.1. Карактеристике састојина букве и јеле

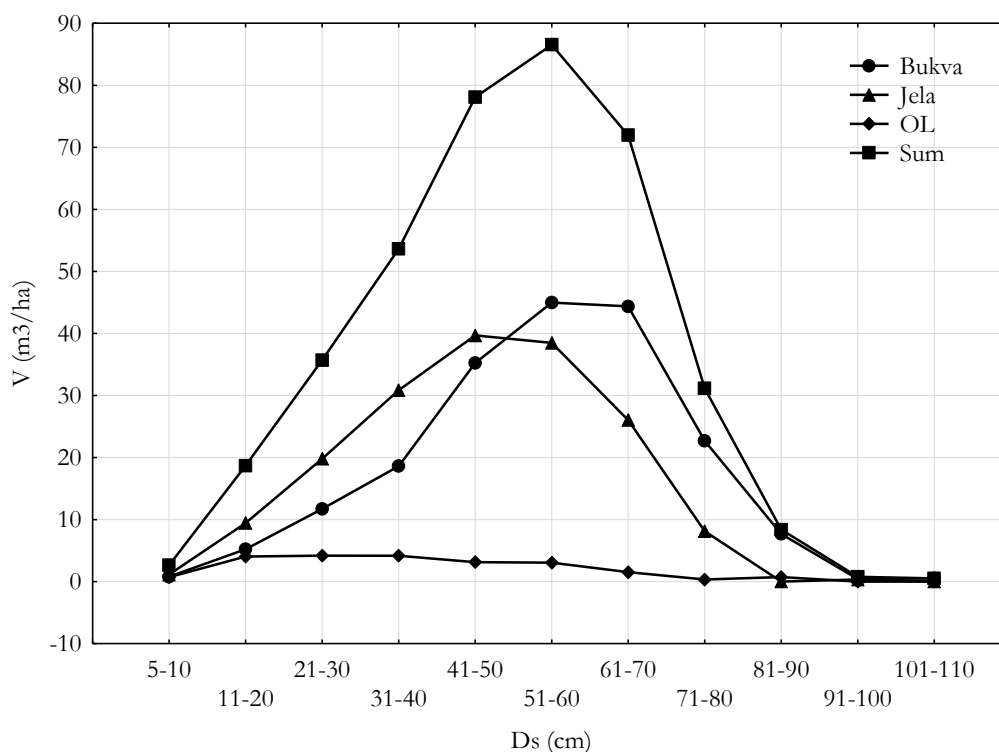
На одабраним круговима је, у циљу анализе дебљинске структуре састојина букве и јеле, премјером обухваћено 12.237 стабала. На свим стаблима изнад 7 cm биљежен је пречник на прсној висини. Посебно су евидентирани пречници за букву и јелу, док су све остале врсте лишћара које се у састојинама букве и јеле јављају, попут храста китњака, цера, тополе или јохе, сврстане у категорију осталих лишћара. Просјечно се по хектару налази 395 стабала, од чега је 128 стабала букве, 190 стабала јеле и 77 стабала осталих лишћара. Број стабала лишћара и четинара је приближно једнак и налази се у односу 52:48.



Слика 13. Дебљинска структура у састојинама букве и јеле

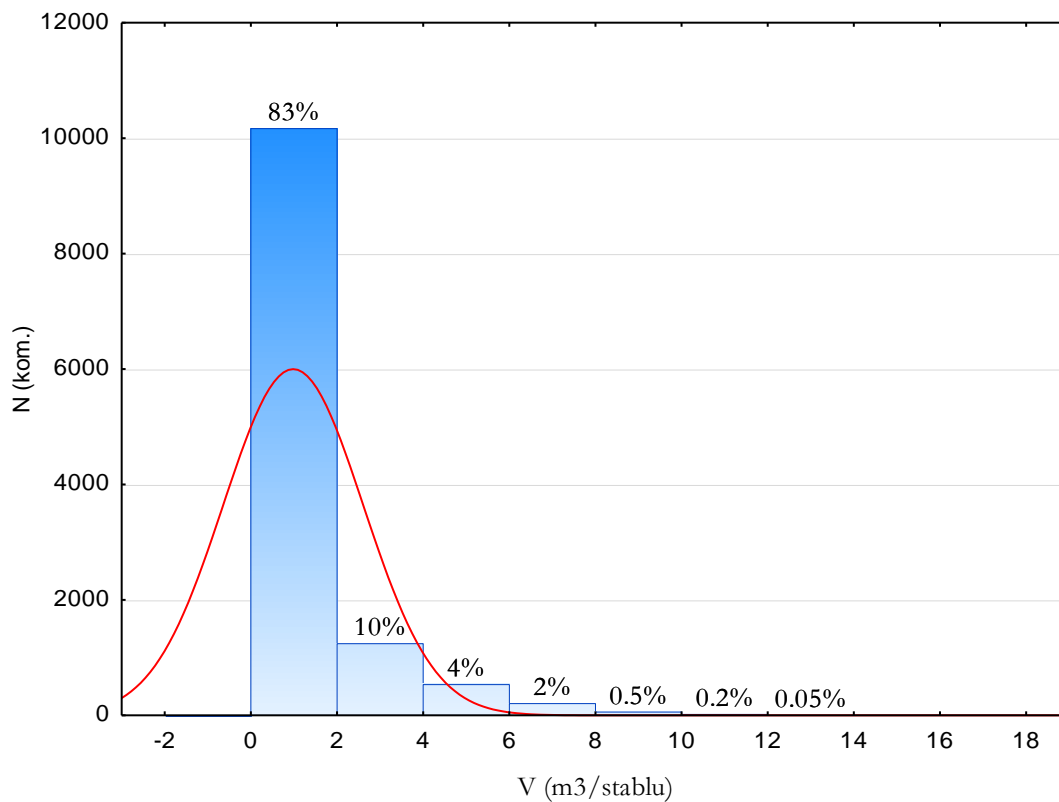
Расподјела стабала по дебљинским степенима приказана на слици 13. карактеристична је за разнодобне састојине. Јела је заступљена у већој мјери у тањим дебљинским степенима. Међутим, од дебљинског степена 50-60 cm број стабала јеле у односу на букву се смањује. Број стабала букве и осталих лишћара је скоро идентичан у најнижим дебљинским степенима. Од дебљинског степена 21-30 cm број стабала осталих лишћара нагло опада, док је учешће стабала изнад 50 cm

занемарљиво. Добијена расподјела стабала по дебљини показује да је дебљинска структура у састојинама букве и јеле скоро потпуно идентична оној из 1983. године приказаној на слици 4. И према тој је расподјели сличан однос зашупљености букве и јеле. Веће учешће јеле је у тањим дебљинским степенима, док се према већим пречницима број стабала букве у односу на јелу повећава. За разлику од расподјеле из 1983. године, само су код букве изражене двије старосне групе, док број стабала јеле након дебљинског степена од 21-30 cm карактерише стално опадајућа расподјела.



**Слика 14.** Запреминска структура у састојинама букве и јеле

Удио букве у запремини састојина букве и јеле износи 49,53%, удио јеле 44,82%, док је удио осталих лишћара по запремини свега 5,65%. Према расподјели укупне запремине по дебљинским степенима приказаној на слици 14., 14,7% запремине се налази код стабала пречника до 30 cm, 33,9% код стабала до 50 cm и 48,86% код стабала до 80 cm прсног пречника. У односу на јелу код које је број стабала у дебљинским степенима 31-50 и 51-80 скоро идентичан, код букве је број стабала у дебљинском степену 51-80 приближно двоструко већи. Из тог је разлога крива расподјеле запремине приказана на слици 14. код букве помјерена удесно, односно према вишим пречницима у односу на јелу. Крива расподјеле запремине код свих врста је блиска нормалној расподјели.



**Слика 15.** Расподјела укупног броја стабала по запреминским степенима

Просјечна запремина стабла за све врсте износи  $0,98 \text{ m}^3$ . Највећа се запремина по стаблу остварује код букве и износи  $1,50 \text{ m}^3$ , затим код јеле  $0,91 \text{ m}^3$ , а код осталих лишћара свега  $0,27 \text{ m}^3$ . Просјечни бонитет према уређајном елаборату за период од 2009. до 2018. године износи за јелу и букву 2,1, а за остале лишћаре 4,5. Од укупног броја стабала, у просјеку се по хектару 328 стабала налази у запреминском степену 0-2  $\text{m}^3$ , 40 стабала у степену од 2-4  $\text{m}^3$ , те 27 стабала у свим осталим запреминским степенима (слика 15.).

Табела 10. Број стабала, запремина и средњи пречник премјерених стабала у узорачким састојинама према врстама дрвећа

Састоји	Буква	Јела	Оста. лиш.	$\Sigma$	Буква	Јела	Оста. лиш.	$\Sigma$	Буква	Јела	Оста. лиш.
	Број стабала (ком/ха)				Запремина (m <sup>3</sup> /ха)				Средњи пречник (cm)		
3	55	172	19	246	66,46	119,8	13,78	200.10	34	28	30
4	23	293	41	357	106,27	85,33	58,93	250.53	59	20	38
5	65	239	153	457	171,36	224,8	47,29	443.49	46	30	24
7/2	56	218	293	567	92,67	154,8	74,16	321.69	39	28	19
9	151	78	95	324	69,69	207,0	38,89	315.63	24	47	24
17/1	176	110	88	374	167,87	137,3	19,55	324.76	31	34	21
17/2	202	158	34	394	156,15	307,3	33,04	496.54	28	41	34
19/2	18	190	93	301	72,65	270,4	15,11	358.16	56	36	17
24	33	231	79	343	99,72	327,1	11,54	438.45	47	36	18
26	156	235	26	417	370,51	100,5	1,21	472.26	43	22	11
27	136	194	56	386	213,32	285,1	9,78	508.21	38	35	17
28	113	140	89	342	275,62	152,7	6,83	435.21	45	32	12
29	130	107	80	317	282,62	90,63	11,49	384.74	42	28	18
33	180	123	115	418	320,22	102,4	27,03	449.73	38	29	19
35	250	67	95	412	268,54	75,81	26,74	371.09	33	33	23
36	240	81	47	368	309,33	64,37	18,37	392.07	35	28	26
46	148	105	152	405	145,54	188,1	47,18	380.84	32	40	24
49/2	134	165	77	376	249,88	130,5	23,38	403.85	41	29	21
76/2	164	371	49	584	183,66	275,8	4,76	464.29	32	28	14
77	153	237	59	449	167,25	128,9	7,42	303.66	33	25	16
80/1	73	173	23	269	250,18	184,5	4,94	439.70	52	31	18
80/2	142	166	12	320	413,02	76,23	3,77	493.02	49	23	22
81	166	172	30	368	257,53	95,58	7,49	360.60	38	24	22
83	214	327	91	632	216,92	279,3	11,83	508.10	31	30	15
95	148	234	57	439	246,58	263,6	17,58	527.76	39	32	22
97	125	379	30	534	144,81	353,2	20,46	518.54	34	31	33
100	26	271	127	424	83,82	221,6	33,56	339.05	50	29	22
102	170	110	62	342	137,87	63,08	19,57	220.52	29	25	24
104	125	301	76	502	111,07	229,0	5,54	345.70	29	28	12
106	97	56	115	268	86,06	43,62	55,40	185.08	29	28	26
107	101	193	8	302	221,85	152,6	2,63	377.08	43	29	22

Последњим је уређивањем, у складу са измјенама у техничком циљу газдовања, повећан удјо јеле у омјеру смјесе према нормалном стању шуме за уређајни период

од 2019-2028 године (табела 11.). Запремина нормалне састојине између два уређивања повећана је за 28%. Ово је највећим дијелом резултат промјене бонитета састојина. Просјечни бонитет у састојинама букве и јеле увећан је са 2,12 на 2,78, што је заједно са прирастом довело до рачунског увећања дрвне залихе у састојинама са 381 на 474 m<sup>3</sup>/ha. Са просјечним интензитетом сјече у односу на дрвну залиху од 16,5%, сјечиви етат у овим састојинама износи 87 m<sup>3</sup>/ha, што је за 11% више у односу на претходни уређајни период.

**Табела 11.** Омјер смјесе врста дрвећа и распоред дрвне запремине за нормално стање састојина букве и јеле на половини опходњице за уређајни период 2019-2028 године

Врста дрвета	Бонитет станишта	Омјер смјесе	Степен склопа	Дебљинске класе					
				6-10	11-20	21-30	31-50	51-80	Укупно
				m <sup>3</sup> /ha					
Јела	2,4	0,30		6,63	10,59	31,35	75,66	41,75	165,98
Буква	1,9	0,65		24,62	34,44	82,61	131,43	19,04	292,14
Пл.лиш.	3,5	0,05		1,86	2,6	6,25	9,94	1,44	22,09
УКУПНО		1,00	0,73	33,11	47,64	120,21	217,03	62,22	480,21

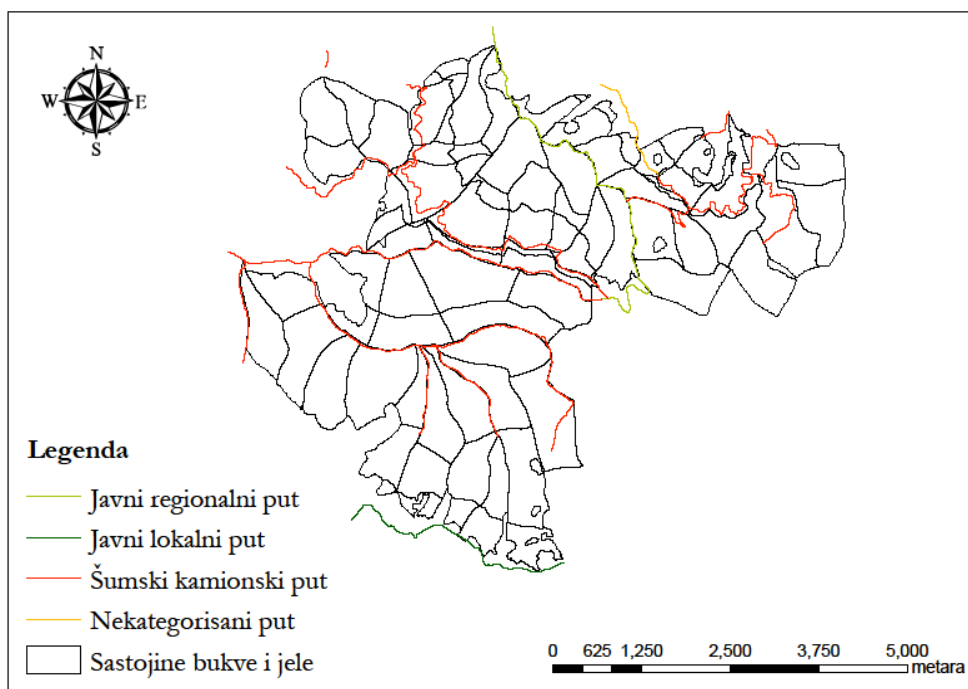
## 8.2. Отвореност привредне јединице

### 8.2.1. Примарна класична отвореност

Иако је шумскопривредно подручје први пут уређивано 1929. године, све до завршетка 2. свјетског рата у привредној јединици није постојала нити једна шумска комуникација. Први Програм инвестиционе изградње за отварање и експлоатацију шумскопривредног подручја козарачког ураћен је 1957. године. Са отварањем се започело из два смјера. Са источне стране привредну јединицу је требало отворити према магистралном путу Козарска Дубица – Приједор саобраћајницом која иде уз поток Мљечаница и Грачаница, а која ће касније постати главна саобраћајница у привредној јединици.

Са сјеверне стране слив Маглаје је отворен према Козарској Дубици камионским путевима, док се са изградњом путева у сливу Моштанице започело тек након 1963. године. Све до тада транспорт дрвета из цијелог слива обављао се шумском пругом котурачом. Период након 1963. године представља период интензивне изградње шумских путева у цијелом шумскопривредном подручју. Према стању на дан

01.01.1968. године у привредној јединици било је 53,2 km шумских камионских путева, а отвореност је износила 6,5 m·ha<sup>-1</sup>.



**Слика 16.** Мрежа камионских путева који отварају састојине букве и јеле према категорији

Међутим, у цијелом шумскопривредном подручју, отвореност узимајући само шумске комуникације је износила свега 2,0 m·ha<sup>-1</sup>, док је укупна отвореност која је укључивала 97,7 km жељезничких пруга и 361,2 km камионских и тракторских путева износила 14,0 m·ha<sup>-1</sup>. Према подацима из катастра саобраћајница на дан 31.12.1971. године у привредној јединици Козара-Мљечаница укупна дужина саобраћајница које су отварале ову привредну јединицу износила је 39,8 km па је отвореност у односу на укупну обраслу површину износила 4,67 m·ha<sup>-1</sup>. Иако је за период од 1968-72 планирана изградња 2,3 km шумских путева у Козари, због великих оштећења узрокованих високом водом из катастра су избачена три шумска пута у дужини од 13,4 km. Отуда се и јавила разлика у отворености од 1,83 m·ha<sup>-1</sup> између два уређивања.

У технолошки процес производње 1973. године у транспортну фазу привлачења уводе се зглобни трактори па се код одређивања трошкова привлачења као средња удаљеност привлачења узимала удаљеност од 1000 метара. На повољне услове рада у

привлачењу отпадало је свега 14% површине привредне јединице, на средње повољне 60, а на неповољне 26%. Средња удаљеност превоза је износила 24 km.

**Табела 12.** Стање саобраћајница у привредној јединици према шумскопривредној основи за период од 2008. до 2019. и 2019. до 2028. године

Дужина путева (km)			Путеви који отварају (km)						Отвореност (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )					
Јавни пут	Шумски пут	Укупно	Високе шуме са природном обновом	Шумске културе	Изданачке шуме	Површине подесне за пошумљавање и газдовање	Површине неподесне за пошумљавање и газдовање	Укупно	Високе шуме са природном обновом	Шумске културе	Изданачке шуме	Површине подесне за пошумљавање и газдовање	Површине неподесне за пошумљавање и газдовање	Укупно
<b>од 2009. до 2018. године</b>														
11,00	128,35	139,35	70,10	6,90	1,30	-	0,30	78,60	8,54	18,00	9,22	-	39,21	8,89
<b>од 2019. до 2028. године</b>														
114,56	79,14	193,70	68,74	6,60	4,75	0,78	0,27	81,14	8,34	21,26	19,32	14,80	25,96	9,16

Због изузетно високих трошкова привлачења, потреба за даљим отварањем довела је 1975. године до израде Инвестиционог програма отварања и експлоатације господарске јединице Козара-Мљечаница. Анализом отворености утврђена је стварна средња удаљеност привлачења од 1500 m при степену отворености камионским путевима од 5,1 m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>. У циљу смањења удаљености и трошкова привлачења, програмом отварања за изградњу је планирано 39,5 km чиме би отвореност дошла на ниво од 10,7 m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>, а средња удаљеност привлачења на 712 m. Овим инвестицијама укупни трошкови производње дрвета који у себе укључују трошкове сјече, израде, привлачења и износа те трошкове одржавања и



реконструкције постојећих путева и превоза камионима били би мањи у просјеку за 17%.

Отвореност се према планским документима изражава дужином јавних и шумских камионских путева који пролазе кроз шуме и шумска земљишта или их тангирају и степеном отворености шумскопривредног подручја и привредних јединица. Посебно се отвореност изражава за категорије шума. Према шумскопривредној основи за период од 2009 до 2018 године, укупна дужина путева у привредној јединици износи 139,35 km при чему је отвореност 8,89 m·ha<sup>-1</sup>. У току уређајног периода у Козари-Мљечаници постојећа мрежа шумских камионских путева допуњена је изградњом два нова камионска пута. Стање путева на крају уређајног периода за привредну јединицу Козара-Мљечаница по категоријама шума наведено је у табели 12.

Према табели 12., између два уређајна периода дошло је до промјене дужине путева унутар појединих категорија, те унутар категорија шума које ти путеви отварају. Ова друга промјена је дјелимично резултат промјена односа у површини између категорија шума у оквиру два уређивања и са друге стране положаја путева у односу на поједине категорије. Укупно је дужина путева која отвара све категорије повећана за 2,54 km, а отвореност за 0,27 m·ha<sup>-1</sup>.

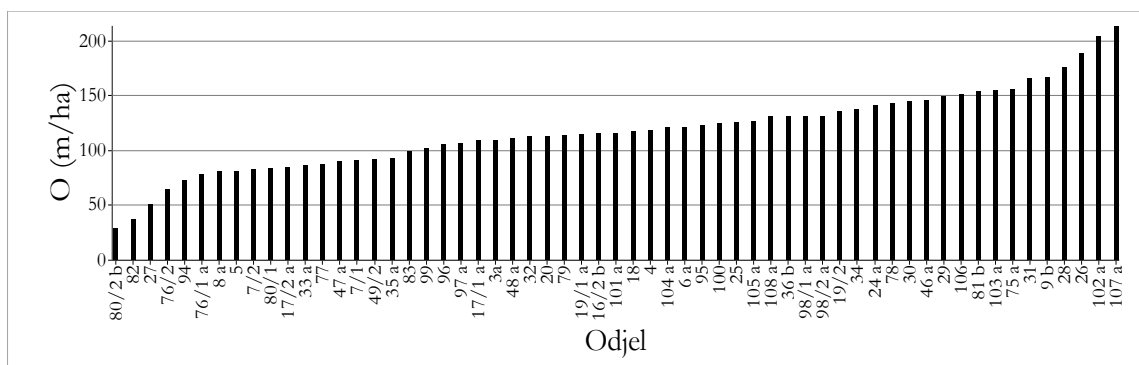
Однос између дужине путева и категорије шума коју ти путеви отварају узрокјује релативно неповољан однос отворености појединих категорија шума. Најмањи ниво отворености постигнут је код високих шума са природном обновом, док је највећа отвореност код површина које су неподесне за пошумљавање и газдовање, те код шумских култура.

Укупна дужина путева која у привредној јединици отвара састојине букве и јеле износи 48,21 km. Од ове дужине, у обрачун отворености улази 79% или 37,86 km, па је отвореност ових састојина на нивоу од 13,28 m·ha<sup>-1</sup>. Осим шумских камионских путева, састојине букве и јеле отворене су са два јавна пута од којих је један дио регионалног пута Моштаница-Мраковица. Јавни путеви се налазе у дужини од 10,62 km, док је укупна дужина шумских камионских путева 35,90 km. Некатегорисани пут Одјел 9 - Присјека дужине 1,68 km представља једини пут који нема тузанички коловоз.

У анализираном дијелу привредне јединице шумскопривредном основом у периоду од 2019. до 2028. планирана је изградња три нова камионска пута укупне дужине 11,6 km који би унутар састојина букве и јеле додатно отварали површину од 715 ha.

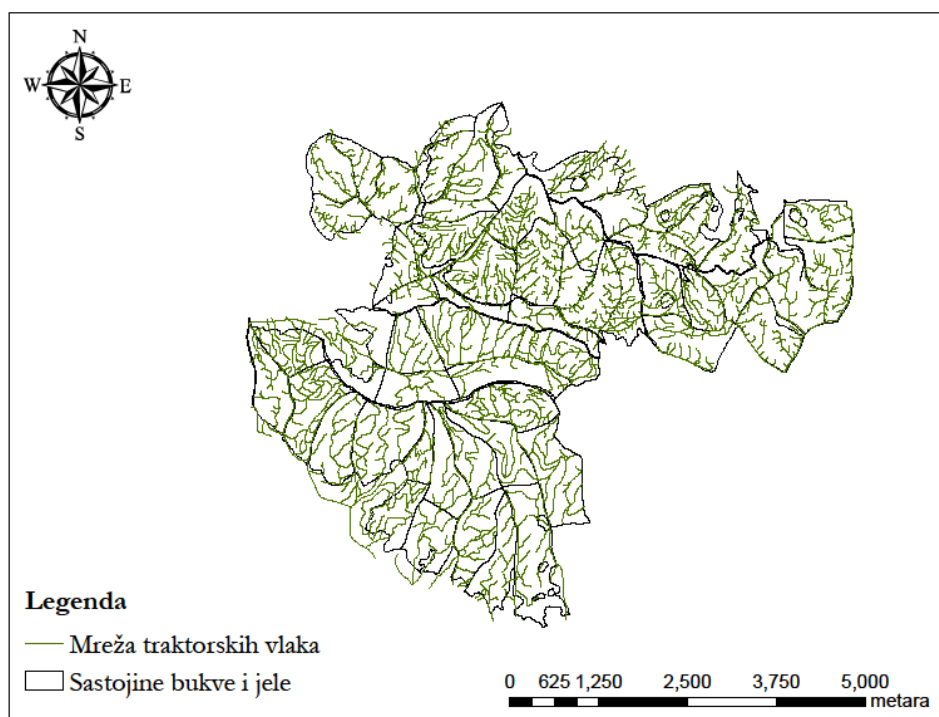
### 8.2.2. Секундарна класична отвореност

Секундарна класична отвореност одређена је за сваку састојину из односа укупне дужине тракторских влака и површине састојине у којој се те влаке налазе. Изражена је у истим мјерним јединицама као и примарна класична отвореност, а добијене вриједности секундарне отворености за све анализиране састојине приказане су на слици 17.



Слика 17. Секундарна класична отвореност у састојинама букве и јеле

Ниво секундарне класичне отворености има релативно широк интервал који обухвата вриједности од 37 до 213  $m \cdot ha^{-1}$ . Ова отвореност се постиже са исто тако широким интервалом унутар којег се дужине влака у појединим састојинама налазе. Са минималних 1200 m и максималних 12000 m унутар једне састојине, укупна дужина тракторских влака у свим састојинама букве и јеле износи 286,68 km. Са овом вриједношћу просјечна отвореност састојина букве и јеле износи  $100,56 m \cdot ha^{-1}$ .



**Слика 18.** Мрежа тракторских влака унутар састојина букве и јеле

Од укупног броја, у 18 састојина постојећа отвореност тракторским влакама се налази испод  $100 \text{ m} \cdot \text{ha}^{-1}$ . У односу на наводе Rebule (1983), Jeličića (1983), Zdjelara (1990) и Ričmana (2007) према којима је потребна густина изнад  $100 \text{ m} \cdot \text{ha}^{-1}$ , ова отвореност може да се сматра недовољном. У 39 састојина секундарна отвореност се налази између  $100$  и  $200 \text{ m} \cdot \text{ha}^{-1}$ , али од овог броја само у 9 састојина отвореност се налази изнад  $150 \text{ m} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Међутим, просјечна отвореност ових састојина око  $100 \text{ m} \cdot \text{ha}^{-1}$  је у складу са смјерницама Матића (1973) и Дринића (1975а) према којима однос дужине камионских путева и тракторских влака износи 1:10.

У односу на нагиб терена, положај појединих тракторских влака може да има нарочит значај, посебно у подручјима гдје се стрми терени јављају у већој мјери. У састојинама букве и јеле просјечни нагиб терена износи 41,2%. Површине на којима је попречни нагиб терена изнад 60% налазе се на 382,45 ha или скоро 14% од укупне површине. Ова подручја, која је приликом пројектовања мреже тракторских влака потребно избјегавати из економских и еколошких разлога, већ имају око 18 km изграђених тракторских влака. Ове изразито стрме површине не формирају компактна подручја већ се налазе у облику мањих или већих енклава неправилно распоређених по површини састојине. Са друге стране, преко 1000 ha унутар истог

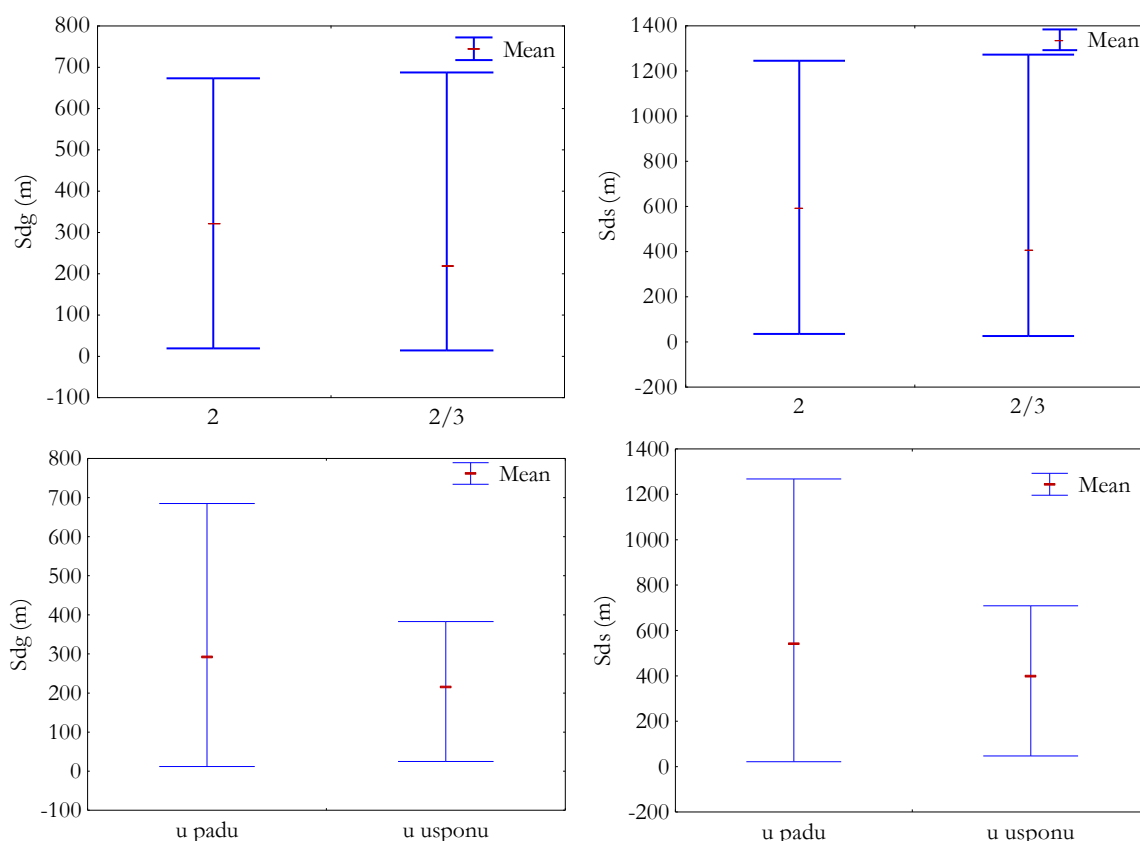
подручја има нагиб мањи од 35%, а скоро 1500 ha је са попречним нагибом у интервалу од 35-60%. Због овога је у будућем планирању мреже тракторских влака у већој мјери потребно искористити ове површине, а стрме дијелове појединих састојина потпуно изоставити.

**Табела 13.** Списак путева који отварају састојине букве и јеле према категорији и врсти коловоза

Редни број	Назив пута	Категорија пута	Врста коловоза	Укупна дужина пута (m)	Улази у отвореност (m)	Отвара одјеле
1.	Бешића пољана	Јавни локални пут	туцаник	3742	1871	23/1-24/2, 97-98/2, 101, 102
2.	Моптаница-Папини	Јавни регионални пут	туцаник	6880	5608	15/3-19/1, 20, 24-29, 33-37
3.	Мачјак	Прилазни шумски	туцаник	945	860	94
4.	Саставци-Горња	Споредни шумски	туцаник	5220	4426	81-84, 94-96, 99, 104-107
5.	Шпињетковац	Прилазни шумски	туцаник	1724	1724	96-99
6.	Вучјак	Прилазни шумски	туцаник	1345	1345	100, 102, 103
7.	Лајшиновац	Споредни шумски	туцаник	1498	749	96, 99, 104-113
8.	Радилиште-Папини	Главни шумски пут	туцаник	5953	4796	69, 72-74, 76/1-81, 107, 114
9.	Маглаја поток	Прилазни шумски	туцаник	249	250	43, 45, 46, 49/1-51
10.	Велики палеж-	Споредни шумски	туцаник	2754	1719	31, 32, 47, 48, 54, 55, 58, 66,
11.	Маглајци-Палеж	Главни шумски пут	туцаник	1636	1502	31, 32, 35, 36, 38, 39/2, 42-44,
12.	Папини конаци-Палеж	Главни шумски пут	туцаник	5424	5309	25, 26, 28, 30, 31, 76/2, 77
13.	Вучана-Одјел 9	Прилазни шумски	туцаник	689	689	8, 9, 18
14.	Јанковац-Столин јарак	Споредни шумски	туцаник	4767	4143	3, 7/1, 7/2, 18, 19/1, 19/2
15.	Столин јарак-Ледени	Прилазни шумски	туцаник	1901	1792	5, 6
16.	Одјел 9-Присјека	Некатегорисани пут	без кол.	1680	1080	8, 9, 16/2, 17/2, 18
		<b>Јавни пут</b>		<b>10622</b>	<b>7479</b>	
		<b>Главни шумски пут</b>		<b>13013</b>	<b>11607</b>	
		<b>Споредни шумски</b>		<b>14239</b>	<b>11037</b>	
		<b>Прилазни шумски</b>		<b>8653</b>	<b>6660</b>	
		<b>Некатегорисани пут</b>		<b>1680</b>	<b>1080</b>	
		Сви путеви		<b>48207</b>	<b>37863</b>	

### 8.2.3. Средња удаљеност привлачења дрвета

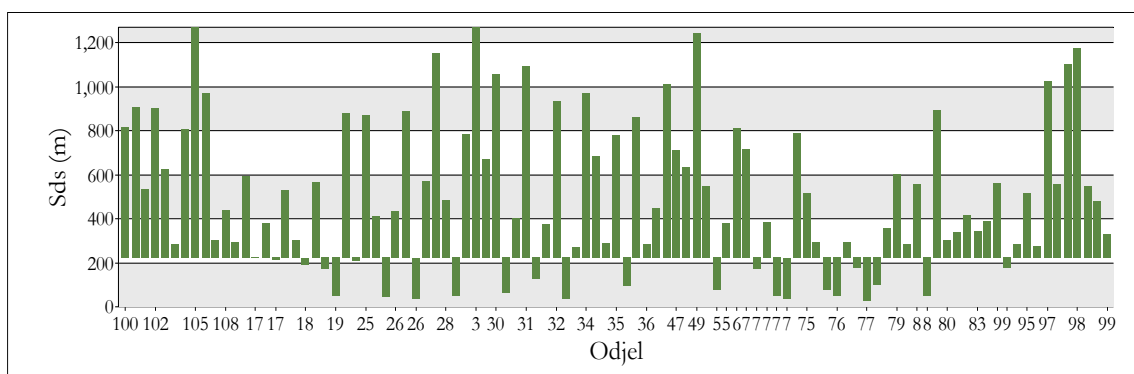
Дефинисањем граница транспортних зона, 59 састојина букве и јеле је подијелено на 99 мањих просторних јединица. За сваку од ових површина је одређено тежиште, а затим најкраће растојање од тежишта до најближе тачке на једном од постојећих јавних или шумских камионских путева. Претпостављајући да површине мање од 1 ha немају већи утицај на средњу удаљеност привлачења дрвета, такве су површине, уколико су се јављале, придружене сусједним већим површинама. У паду се привлачи из 70 транспортних зона, а величина површине износи 2343,92 ha или 82%, док се у успону привлачење обавља из 29 транспортних зона величине 506,88 ha или 18% од укупне површине.



**Слика 19.** Средње геометријске и стварне удаљености привлачења према условима рада и смјеру привлачења

Добијена геометријска средња удаљеност привлачења се креће у интервалу од 12 до 685 m. Просјечна геометријска средња удаљеност привлачења код привлачења у паду износи 343 m, а у случају привлачења у успону 256 m. Просјечна геометријска средња удаљеност привлачења за цијело истраживано подручје износи 332 m.

Овако добијене геометријске удаљености привлачења кориговане су фактором корекције привлачења - ( $k_p$ ) чија вриједност за привредну јединицу Козара-Мљечаница износи 1,85 (Петковић и др., 2017). На овај начин су одређене стварне средње удаљености привлачења свих просторних јединица, док су просјечне стварне средње удаљености привлачења одређене према формули 26. Просјечна стварна средња удаљеност привлачења код привлачења у паду износи 635 m, док је код привлачења у успону 474 m. Просјечна стварна средња удаљеност привлачења цијелог подручја износи 614 m.



**Слика 20.** Однос између стварне средње удаљености привлачења и циљане средње удаљености привлачења

Од укупног броја формираних транспортних зона, само је у 24 стварна средња удаљеност привлачења мања од циљане (слика 20.). Удио ових транспортних зона према површини и према запремини је приближно исти и износи око 10% у укупним вриједностима. У просјеку су остварене стварне средње удаљености привлачења 3 пута веће од циљане средње удаљености привлачења, а у неколико случајева и 6 пута.

### 8.3. Дефинисање услова рада

#### 8.3.1. Фактор нагиба терена

Нагиб терена је један од одлучујућих фактора код дефинисања услова рада. Овај фактор је према свом утицају подијељен на три категорије, а припадност појединих транспортних зона једној од категорија одређена је примјеном алата просторне анализе интегрисаних у ArcGIS програмској платформи. За цијело истраживано подручје, нагиб терена у степенима је одређен на основу ДЕМа просторне резолуције 10x10 метара. На добијену карту нагиба терена положена је карта

транспортних зона, а просјечне вриједности унутар сваке транспортне зоне одређене су коришћењем функције *Zonal Statistic*. Добијеним су вриједностима транспортне зоне разврстане по категоријама услова рада, а у односу на припадност додијељен им је одговарајући број бодова.

### **8.3.2. Одређивање нагиба тракторског пута**

Најбитнија карактеристика тракторских путева је њихов уздужни нагиб (Соколовић и др. 2011), а у шумарској производњи овај фактор је значајан са економске, техничке и еколошке стране. У овом случају, уздужни нагиб тракторског пута анализиран је само са аспекта утицаја на услове рада приликом привлачења дрвета, односно на остварени учинак трактора у овој транспортној фази. Сви постојећи тракторски путеви и влаке у састојинама букве и јеле су просторно раздијељени у зависности од припадности одређеној транспортној зони. На овакву су мрежу затим примјењене функције алата 3D анализе у циљу одређивања уздужног нагиба свих тракторских путева у мрежи. Информација која је коришћена за дефинисање услова рада је просјечни нагиб тракторског пута у транспортној зони. Све транспортне зоне из којих се привлачење обавља у успону сврстане су у последњу категорију услова рада према овом фактору с обзиром на отежане услове и смањен учинак приликом привлачења у успону.

### **8.3.3. Фактор врсте земљишта**

Према основној геолошкој карти Републике Српске (R 1:300.000), геолошку подлогу Козаре чине алвеолинско-нумулитски кречњак, офиолитски меланж кога чине пјешчари, глинци и рожњаци, еоценски флиш (алтерација пјешчара и алевролита) и дијабаз. У процесу педогенезе на овим супстратима формирала су се дистрична и еутрична смеђа земљишта (дистрични и еутрични камбисол), илимеризована земљишта (лувисол) и еутрично и дистрично хумусно силикатно земљиште (ранкер). Наведена земљишта се јављају или самостално или у различитим комбинацијама. Дубина ових земљишта добијена је на основу педолошких профила (Кнегињић, 2009). Ова информација је допуњена помоћу педолошке карте Републике Српске (R 1:300.000). За разлику од ранкера чија се дубина креће обично испод 45 cm, дубина смеђих и илимеризованих земљишта износи и преко 100 cm. У највећој мјери



састојине букве и јеле се налазе на дубоким земљиштима, док су у мањој мјери заступљена средње дубока земљишта.

#### **8.3.4. Фактор средње надморске висине**

У погледу хипсометријске расподеле рељефа Kalmeta (1983) разликује брежуљак или хум (до 200 m.n.v.), брдо (200-500 m.n.v.) ниске планине (до 1000 m.n.v.), средње високе планине (1000-2000 m.n.v.) и високе планине (преко 2000 m.n.v.). Користећи исте хипсометријске интервале при анализи рељефних односа шумских области у Републици Српској, Бурлица и Говедар (2017) наводе како се од укупно доступног шумског фонда 7,3% налази испод 200 m.n.v., 27,5% у хипсометријској категорији од 200-500 m.n.v., док се 65,5% површине налази на подручјима изнад 500 m.n.v. Јединствене норме радова у шумарству прилагођене су цијелом подручју Републике Српске због чега је обрасцем за одређивање услова рада приликом привлачења дрвета трактором средња надморска висина подијељена на три категорије: i) <1000 m, ii) 1000-1500 m и iii) >1500 m. Планина Козара припада категорији ниских острвских планина чији се највиши врх Лисина налази на 978 m.n.v. У истраживаном дијелу привредне јединице Козара-Мљечаница, средња надморска висина износи 472 m при чему се висински интервал креће од 206 до 777 m.n.v. Према овој категоризацији, није могуће разврставање појединих састојина или транспортних зона према висинском критеријуму због чега је цијело подручје Козаре сврстано у прву категорију услова рада са једнаким бројем бодова.

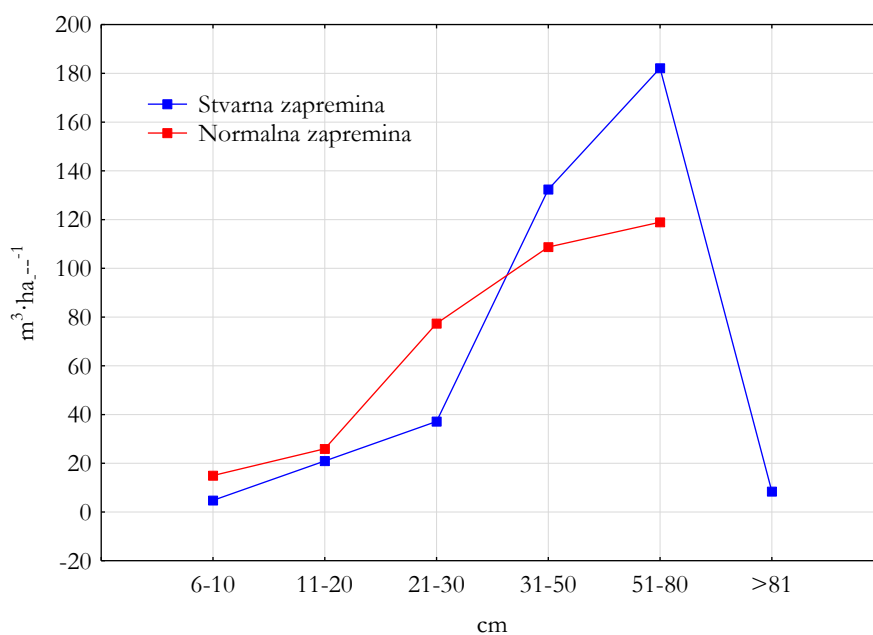
#### **8.3.5. Фактор удаљености од гаража**

За одређивање средње удаљености од гаража коришћена је функција Еуклидове удаљености. Ова функција је примијењена на цијело истраживано подручје, а као полазне тачке су коришћена два шумска радилишта у оквиру којих се налазе гараже. Једно шумско радилиште се налази на шумском камионском путу Бања Мљечаница-Радилиште, а једно на јавном регионалном Козарска Дубица-Моштаница. Од ових полазишта формиран је растер Еуклидове удаљености до свих истраживаних састојина. Како је овом функцијом представљено најкраће растојање између хелија на растеру, добијене вриједности на растеру удаљености од полазних тачака су увећане помоћу коефицијента 1,85 користећи функције математичких оператора у растер калкулатору. Овај коефицијент представља однос између стварне и

геометријске линије кретања у привредној јединици Козара-Мљечаница (Петковић и др. 2017). Са добијеног растера су одређене удаљености од гаража за сваку састојину или њен дио представљен транспортном зоном уз помоћ алата *Zonal Statistic*. С обзиром на неповољан положај оба радилишта у односу на истраживани дио привредне јединице просјечна удаљеност од гаража износи 6,33 km, док је максимална 10,95 km. Од укупног броја дефинисаних транспортних зона, само 2 улазе у I услове рада, док се у II и III условима рада налазе 44 и 53 транспортне зоне.

### 8.3.6. Фактор средњег пречника дозначеног стабла

Приликом израде изведбених пројеката, уобичајено је да се ове вриједности одређују на основу пречника свих дозначених стабала према врстама дрвећа и транспортним зонама. Остварени средњи пречник приликом дознаке стабала за сјечу у највећој мјери зависи од развојног стадијума састојине и примијењеног узгојног захвата. Од састојине до састојине и једно и друго се мијења, а примијењени узгојни захват поред узгојне потребе састојине или њеног дијела последица је и уређајних захтјева.



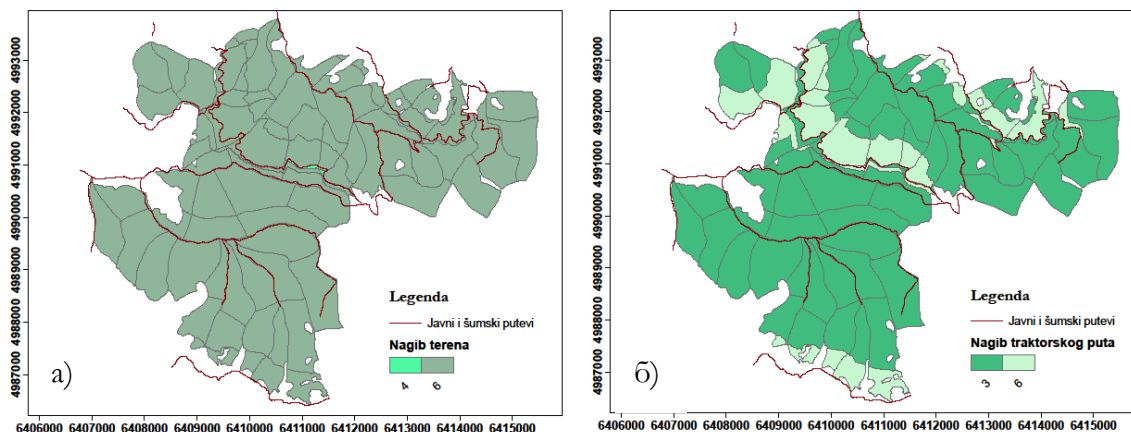
**Слика 21.** Расподјела просјечне стварне и нормалне запремине у састојинама букве и јеле по дебелинским степенима

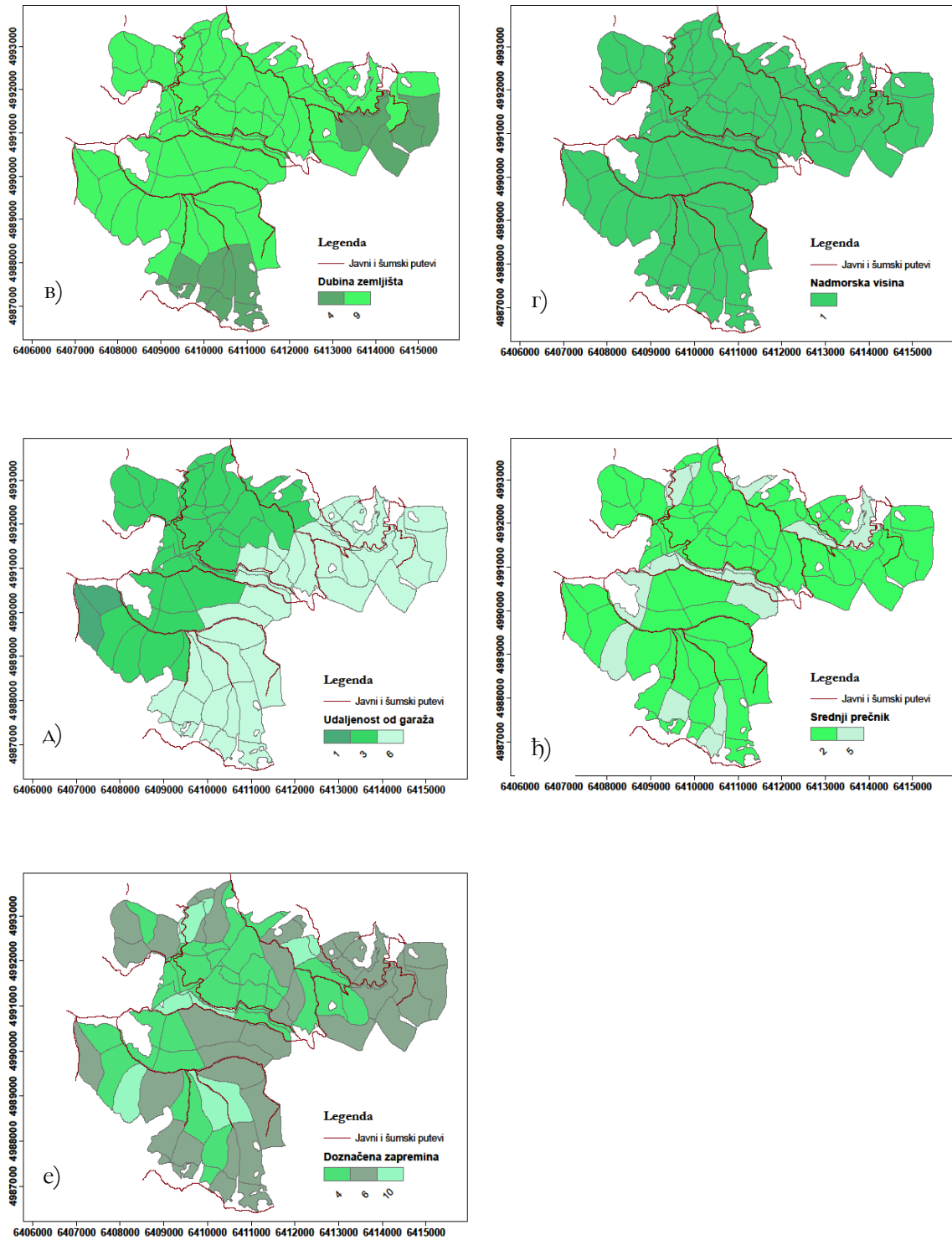
Средњи пречник дозначеног стабла у састојинама букве и јеле одређен је на основу расподјеле запремине по дебелинским степенима дате у уређајном елаборату за привредну јединицу Козара-Мљечаница. У односу на расподјелу нормалне запремине по дебелинским степенима приказане на слици 21., просјечна јединична

запремина у састојинама букве и јеле је у већој мјери заступљена у вишим деблањским степенима. Под претпоставком да ће се већи интензитет дознаке остварити у оним деблањским степенима у којима је учешће запремине веће, све састојине бикве и јеле су подијелене у двије категорије на основу расподеле запремине према којима је пречник дозначеног стабла изнад 46 cm и између 31-45 cm. Условима рада дефинисана је и категорија са средњим пречником испод 31 cm. Међутим, у стварности се овако низак средњи пречник приликом дознаке стабала за сјечу никада не остварује због чега ни једна од састојина није додијелена овој категорији.

### 8.3.7. Фактор дозначене јединичне запремине

За вриједности овог фактора узете су величине етата у састојинама букве и јеле дефинисане планом сјеча за уређајни период 2009- 2018 године. Вриједности етата у плану сјеча односе се на свеукупну дрвну запремину, а добијене су на основу запремине састојине увећане за петогодишњи прираст и интензитета сјече за газдинску класу. Према анексу шумскопривредне основе са роком важности од 2009 до 2018 године, интензитет сјече у газдинској класи букве и јеле износи 18,87% за четинаре и 18,57% за лишћаре, односно просјечно 18,64%. Јединични етат у овим састојинама се креће од 29 до 121 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>.

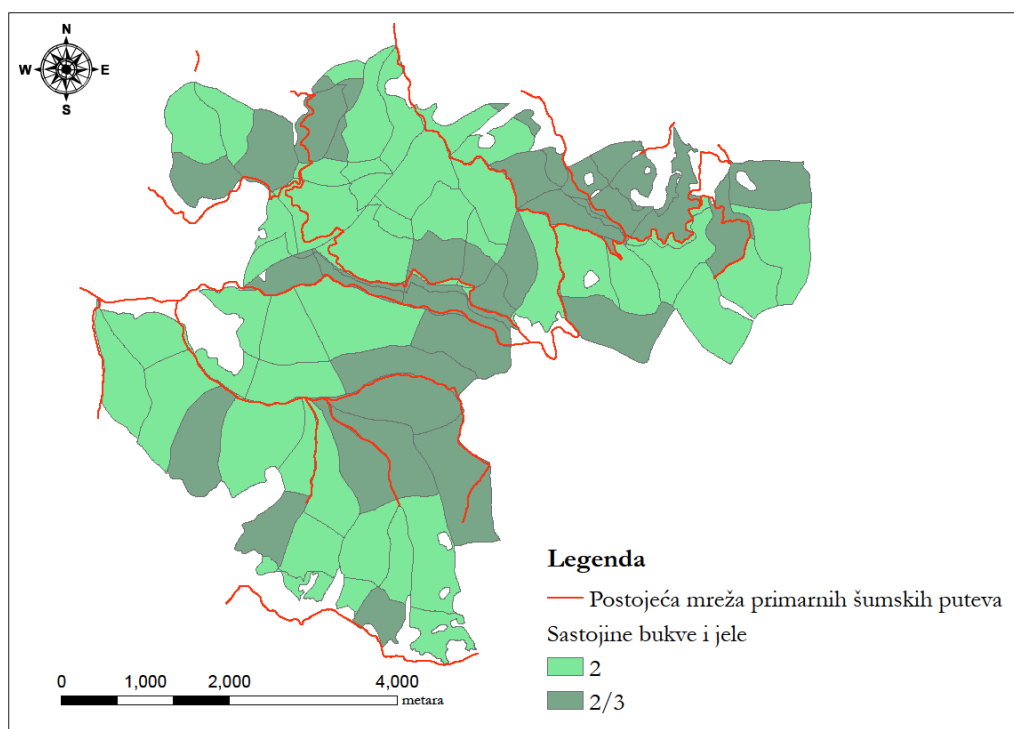




**Слика 22.** Графички приказ фактора за одређивање услова рада; а) фактор нагиба терена, б) фактор нагиба тракторског пута, в) фактор врсте земљишта, г) фактор надморске висине, д) фактор удаљености од гаража, њ) фактор средњег пречника и е) фактор дозначене запремине

### 8.3.8. Одређивање услова рада у састојинама букве и јеле

На основу дефинисаних вриједности наведених фактора, цијело подручје ПЈ Козара-Мљечаница на којем се налазе састојине букве и јеле сврстано је у једну од категорија услова рада према добијеној вриједности збира додијељених бодова за сваку састојину. Укупни постигнути збир вриједности бодова се креће од 26 до 40, те су према томе све састојине сврстане у категорије услова рада 2 и 2/3. У односу на цјелокупну категоризацију која садржи 5 категорија услова рада дефинисаних према табели 8., у цијелом истраживаном подручју изостају категорије услова рада 1, 1/2 и 3. Услови рада 2 су затупљени на површини од 1704,49 ha или приближно 60%, док преосталих 1146,31 ha припада категорији услова рада 2/3 (Слика 23.).

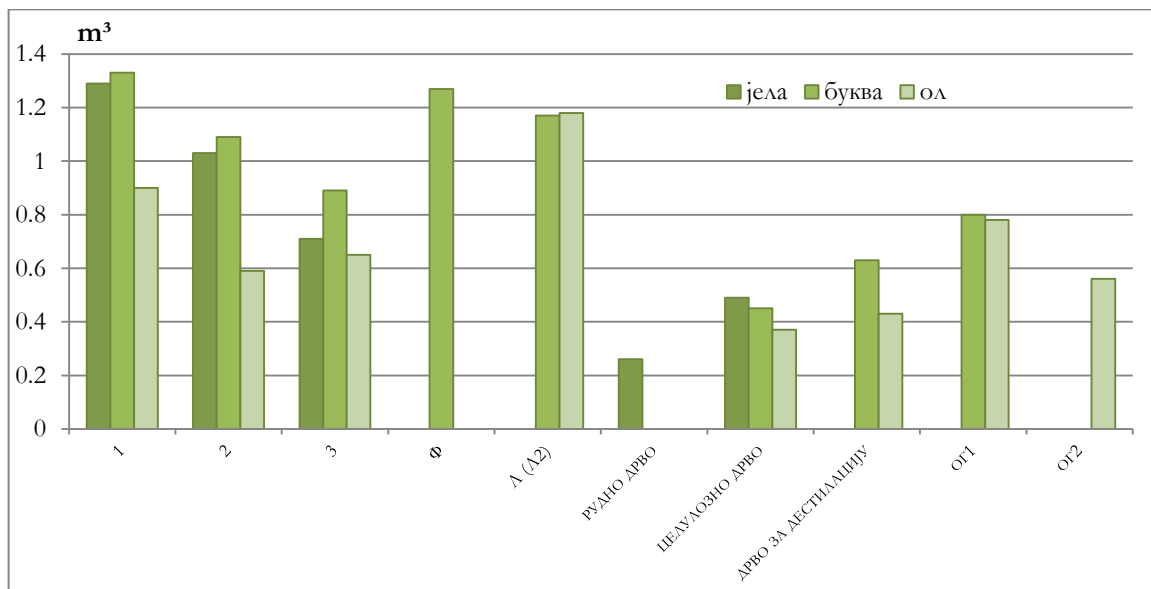


Слика 23. Карта услова рада у састојинама букве и јеле у ПЈ Козара-Мљечаница

### 8.4. Просјечна запремина комада

За одређивање просјечне запремине комада коришћене су информације из базе података интегрисане унутар информационог система Јавног предузећа Шуме Републике Српске. Просјечна запремина комада (слика 24.) одређена је по врстама сортимената. Узевши у обзир све доступне податке од почетка уређајног периода, просјечне вриједности према врсти сортимената добијене су на основу 152.706

комада јеле, букве, храста и осталих лишћара. Остварена просјечна запремина комада свих сортимената у састојинама букве и јеле у ПЈ Козара-Мљечаница износи  $0,67 \text{ m}^3$ . Највећа просјечна запремина комада остварена је код јеле и износи  $0,72 \text{ m}^3$ , код букве  $0,68 \text{ m}^3$ , код осталих лишћара  $0,56 \text{ m}^3$  и код храста  $0,46 \text{ m}^3$ .

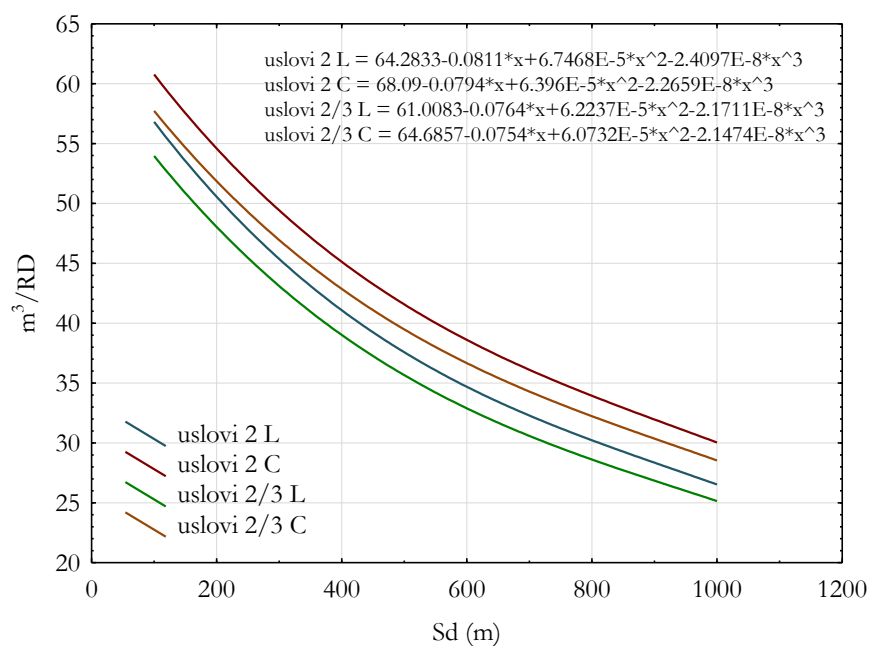


**Слика 24.** Просјечна запремина комада у састојинама букве и јеле по врстама сортимената

Код одређивања трошкова привлачења, према добијеној информацији о оствареним просјечним запреминама комада, за одређивање норме учинка у свим састојинама букве и јеле коришћена је просјечна запремина комада од  $0,5 \text{ m}^3$ .

### 8.5. Трошкови привлачења дрвета

Трошкови привлачења дрвета одређују се за сваку састојину или транспортну зону из односа дневног трошка рада трактора на привлачењу дрвета и норме учинка одређене за дефинисане услове рада, просјечну запремину комада и средњу удаљеност привлачења дрвета. Норма учинка изражена у  $\text{m}^3/\text{RD}$  дата је у Јединственим нормама радова у шумарству (Соколац, 2002). Ове норме се разликују за групе врста дрвећа и сезону рада, а одређене су за удаљености привлачења од 100 до 1000 m. Код одређивања трошкова привлачења дрвета у обзир је узета просјечна норма за љетну и зимску сезону рада по групама врста дрвећа. За вриједности испод 100 и изнад 1000 m као и за међувриједности норма учинка је одређена интерполацијом помоћу функције кубне параболе (слика 25).



**Слика 25.** Норма учинка према групама врста дрвећа и условима рада

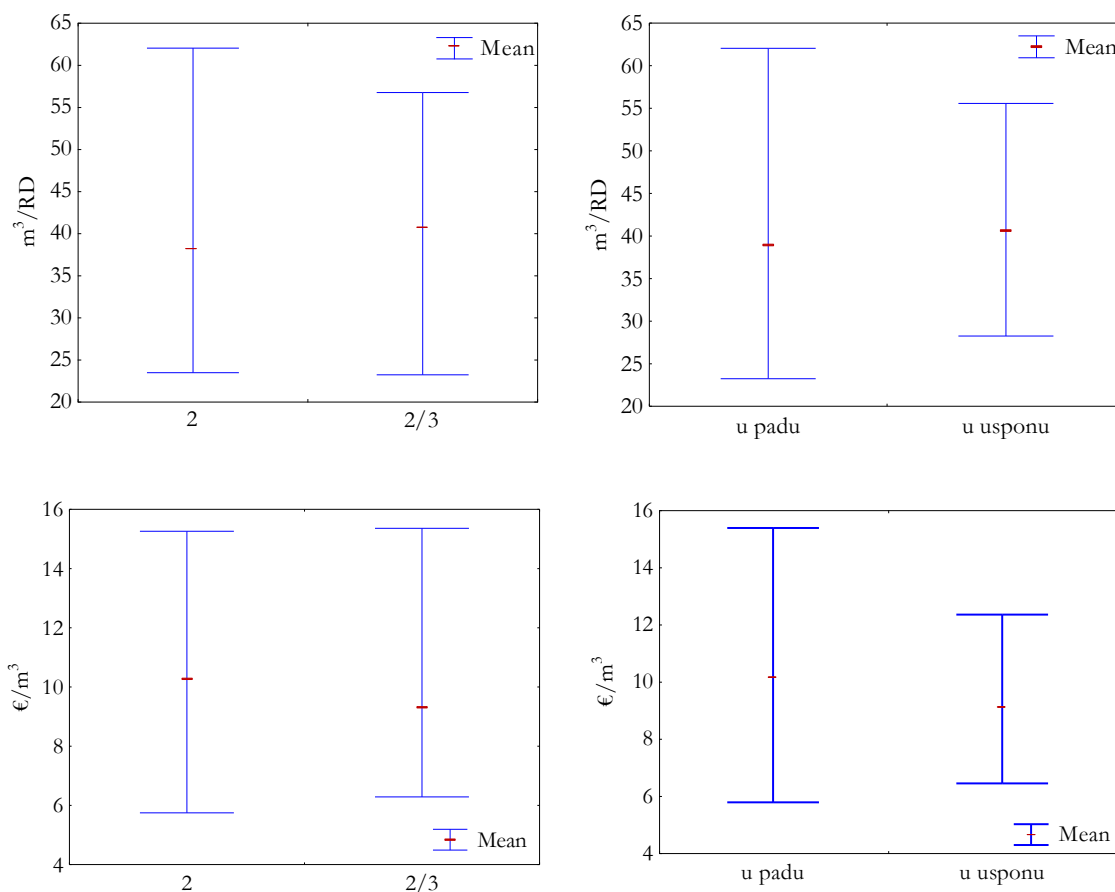
За добијене средње удаљености привлачења остварене норме учинка за групе врста дрвећа према смјеру привлачења и условима рада приказане су на слици 26. Од укупне количине облог дрвета за коју се одређују трошкови привлачења и која износи  $149.991 \text{ m}^3$ , у паду се привлачи  $122.612 \text{ m}^3$ , а остатак од  $27.379 \text{ m}^3$  се привлачи у успону.

У односу на смјер привлачења, код обеју група врста дрвећа остварене су приближно једнаке просјечне норме учинка у варијантама привлачења у паду и у успону. Просјечна норма учинка код привлачења у паду износи за четинаре  $40,58 \text{ m}^3/\text{RD}$  и  $38,37 \text{ m}^3/\text{RD}$  за лишћаре, док је код привлачења у успону  $40,75 \text{ m}^3/\text{RD}$  за четинаре и  $40,66 \text{ m}^3/\text{RD}$  за лишћаре. Овакав резултат је одређеној мјери очекиван, с обзиром да је раздвајање транспортних зона у односу на смјер привлачења извршено на основу равнотеже трошкова привлачења у паду и у успону. При константној цијени коштања рада трактора на дан, јединични трошкови привлачења су једнаки у оним случајевима у којима се остварује једнака норма учинка, а она се код различитог смјера привлачења остварује код различитих удаљености привлачења.

У односу на дефинисане услове рада, одређена норма учинка износи  $41,32 \text{ m}^3/\text{RD}$  за четинаре и  $36,98 \text{ m}^3/\text{RD}$  за лишћаре у условима рада 2, те  $39,86 \text{ m}^3/\text{RD}$  код четинара и  $41,32 \text{ m}^3/\text{RD}$  код лишћара у условима рада 2/3. Већа норма код лишћара у

условима рада 2/3 резултат је остварене мање удаљености привлачења и међусобног односа норме учинка код ове групе врста дрвећа у различитим условима рада.

За израчунате норме учинка одређени су јединични и укупни трошкови привлачења дрвета за сваку састојину или транспортну зону. Просјечни трошкови привлачења одређени су за транспортне зоне дефинисане смјером привлачења, те за цијело истраживано подручје дефинисано условима рада. Просјечни трошкови привлачења у паду за четинаре износе 9,57 €/m<sup>3</sup> и 10,31 €/m<sup>3</sup> за лишћаре. У успону су ови трошкови 9,87 €/m<sup>3</sup> за четинаре и 9,11 €/m<sup>3</sup>. Просјечни трошкови привлачења за обје групе врста дрвећа приказани су на слици 26.



**Слика 26.** Просјечна, максимална и минимална норма учинка и трошкови привлачења према дефинисаним условима рада и смјеру привлачења

Однос остварених норми учинка и трошкова привлачења приказаних на слици 26. у већој мјери је резултат различитог односа заступљености услова рада у транспортним зонама привлачења у паду и у успону. У транспортној зони са које се привлачи у паду, 65% површине припада условима рада 2. У случају привлачења у успону, 64%



површине транспортне зоне спада у услове рада 2/3. Међутим, у случају привлачења у успону, чак и при већем удјелу површине у неповољнијим условима рада, остварена је већа просјечна норма учинка и мањи трошак привлачења. Овакав однос је резултат остварене средње удаљености привлачења дрвета и примјене Јединствених норми радова у шумарству у чијим таблицама норма учинка није издиференцирана према смјеру привлачења.

У односу на пројектоване цијене привлачења у ШГ Приједор од 6,95 €/m<sup>3</sup>, добијени просјечни трошкови привлачења у састојинама букве и јеле су за око 30% већи и износе 9,82 €/m<sup>3</sup>. Укупни трошкови привлачења дрвета у састојинама букве и јеле за цијели уређајни период износе 1.592.223 €.

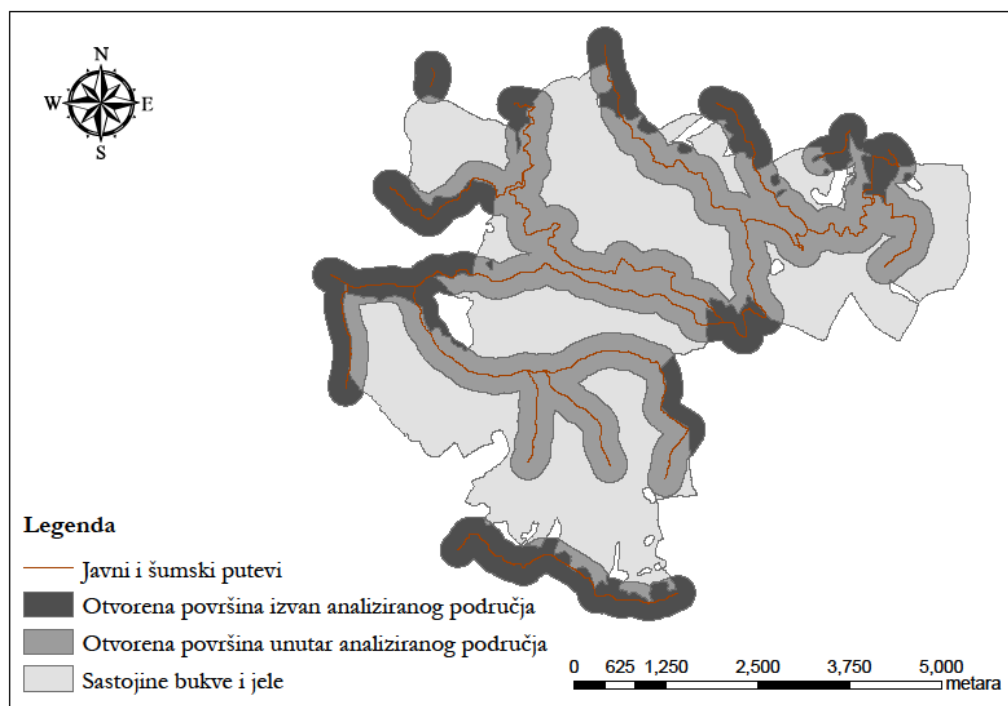
## **8.6. Релативна отвореност**

### **8.6.1. Примарна релативна отвореност**

Релативна отвореност анализираног дијела привредне јединице одређена је на основу вриједности просјечне стварне средње удаљености привлачења која је добијена на начин описан у поглављу 7.4.3.1., те која износи 221 m. Како се за рачунање релативне отворености користи геометријска средња удаљеност привлачења, добијену вриједност просјечне стварне средње удаљености привлачења је неопходно трансформисати. За трансформацију је коришћен коефицијент привлачења –  $k_p$  чија вриједност за Козару Мљечаницу према Петковићу и др. (2017) износи 1,85. Рачунајући са наведеним коефицијентом привлачења вриједност геометријске удаљености привлачења износи 119 m. Ова вриједност представља просјечну геометријску удаљеност привлачења, а приликом одређивања релативне отворености узима се њена двострука дужина.

Величина површине анализираног подручја која је отворена омеђеном површином за вриједност двоструке просјечне геометријске удаљености привлачења износи 1276,81 ha. У односу на укупну површину анализираног подручја, релативна отвореност добијена према формули 3. износи 44,79%. Према систему процјене релативне отворености који су дефинисали Pentek i др. (2005) ова отвореност спада у недовољну отвореност.

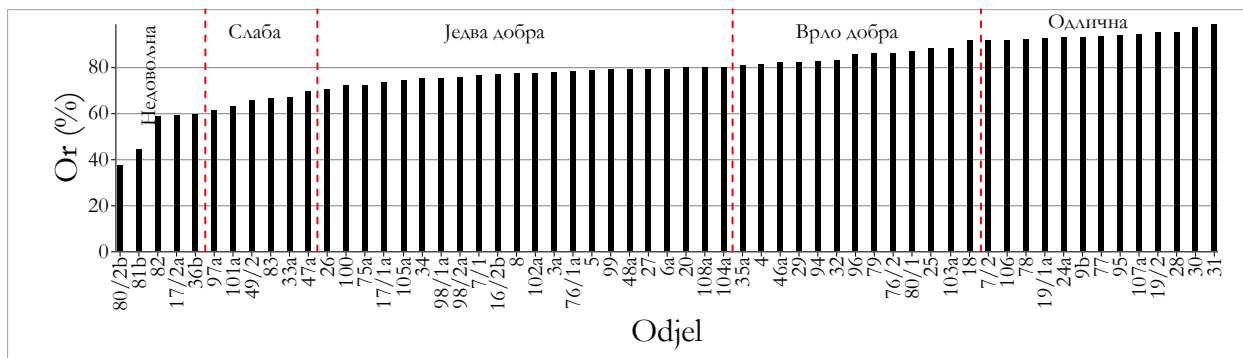
Коефицијент ефикасности одређен према формули 5. за постојећи мрежу јавних и шумских путева износи 81,57%, односно  $\approx 82\%$ , при чему је величина површине која је отворена са два или више путева 235,27 ha. Истовремено је површина отворена потојећом мрежом јавних и шумских путева изван анализираниог подручја 710,87 ha.



**Слика 27.** Површине унутар састојина букве и јеле отворене за вриједност двоструке циљане средње удаљености привлачења

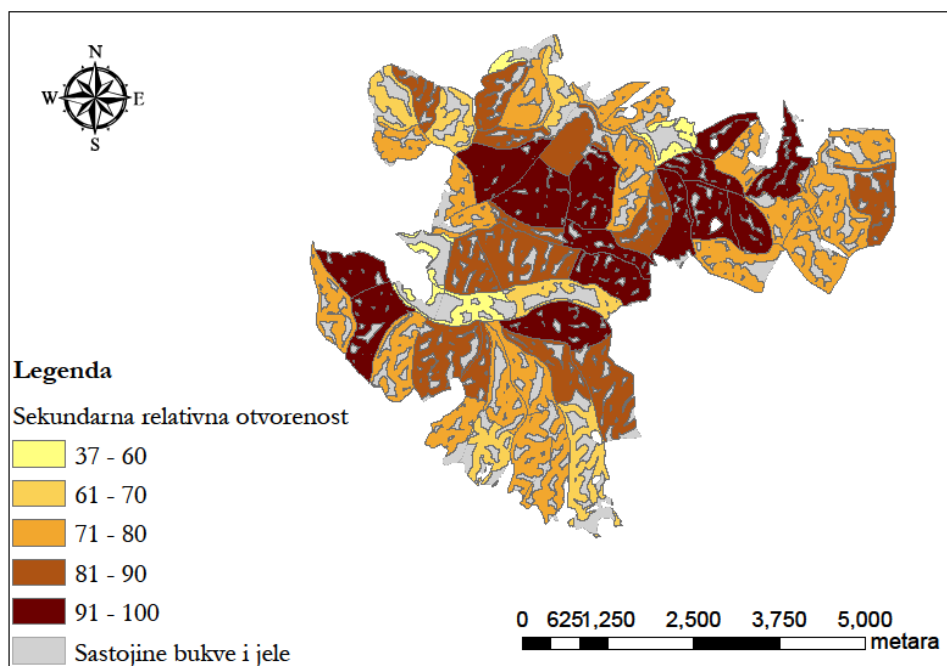
### 8.6.2. Секундарна релативна отвореност

Код одређивања секундарне релативне отворености, око сваке тракторске вlake положене су омеђене површине чија је масимална ширина 60 m. Унутар сваке састојине је одређена величина ових омеђених површина, а из односа добијених вриједности и површине састојине према формули 4. добијена је информација о нивоу секундарне релативне отворености. На основу ове информације све састојине су сврстане у једну од категорија дефинисаних класификацијом Penteka i др. (2002) и приказане на слици 28.



**Слика 28.** Секундарна релативна отвореност у састојинама букве и јеле

Према добијеним подацима, у категорији недовољне отворености код које је покривеност састојине тракторским влакама испод 60%, налази се 5 састојина. Слаба отвореност са нивоом покривености влакама између 60 и 70% је заступљена у 6 састојина. У 21 састојини покривеност површине се креће између 70 и 80%, док је у преосталих 27 састојина релативна отвореност у категорији врло добре и одличне.



**Слика 29.** Површина унутар састојина букве и јеле покривена за дужину ужета на витлу

У односу на добијене вриједности апсолутне отворености, у појединим састојинама добијена релативна отвореност одступа у већој мјери. У појединим случајевима при нивоу класичне отворености од 100 или 130  $m \cdot ha^{-1}$  релативна отвореност може да

буде у категорији слабе или недовољне. Узрок овој појави је превасходно везан за однос површине на којој се налазе тракторске влаке и површине састојине, ако се истовремено код одређивања секундарне релативне отворености у обзир узимају камионски путеви у оној дужини којом пролазе кроз састојину. Други се разлог због којег се ова разлика јавља односи на оне тракторске влаке које поједине састојине повезују са камионским путем, а налазе се изван састојине. Код апсолутне отворености ове тракторске влаке су уврштене у калкулацију, док код релативне нису. Овој разлици на крају доприноси и начин третирања рубних тракторских влака. Састојина је у методи омеђених површина отворена само једном њеном страном, а код апсолутне отворености рачуна се цијела њена дужина.

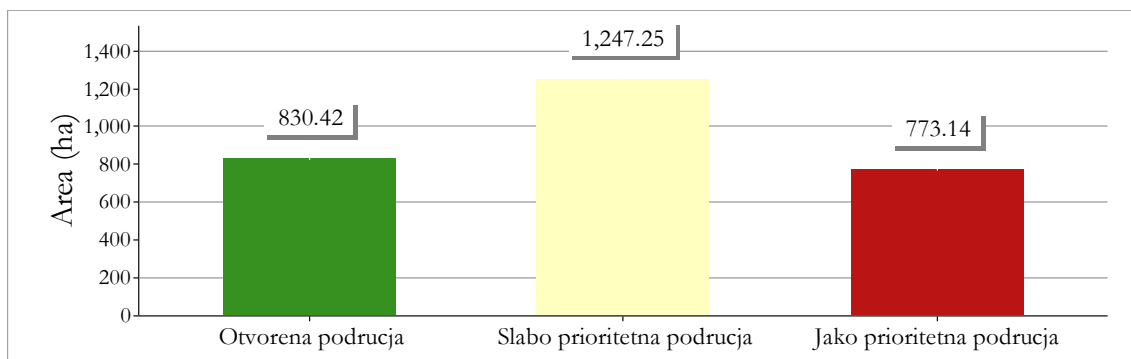
На 1400 ha или 50% површине свих састојина отвореност је врло добра или одлична. Према томе, на 50% површине секундарна релативна отвореност није задовољавајућа због чега би постојећу мрежу у одређеној мјери требало допунити новим тракторским влакама. Међутим, релативна мјера отворености састојина изражена кроз однос површине отворене за дужину ужета витла и површине састојине не мора увијек да буде добар показатељ покривености површине тракторским влакама. Планирање мреже тракторских влака врши се истовремено када и дознака стабала за сјечу. Ова два процеса су блиско повезана и у брдско-планинским подручјима која су више захтјевна према мрежи тракторских влака њиховом просторном распореду одговара распоред дозначених стабала. У таквим случајевима цијела површина састојине не може да буде мјеродавна као фактор оцјењивања релативне отворености. Практично би се требала узимати у рачун површина са које ће се привлачење дрвета стварно обављати. Међутим, положај стабала дозначених за сјечу је ријетко када познат због чега је приликом одређивања секундарне релативне отворености коришћена површина цијеле састојине.

### **8.7. Дефинисање приоритетних подручја за отварање**

Сваком од изабраних фактора за оцјену приоритета даљег отварања додијељена је једна од расположивих функција fuzzy припадности помоћу које је извршена трансформација њихових вриједности на скалу од 0 до 1. Тежинским преклапањем овако дефинисаних вриједности изабраних фактора добијена је карта подручја диференцирана према нивоима приоритета који у поступку будућег отварања њима припадају. С обзиром да су факторске вриједности у комбинацију ушле са тежинским

коэффицијентима сразмјерним укупном броју фактора, вриједности резултата функције тежинског преклапања се такође налазе у интервалу од 0 до 1.

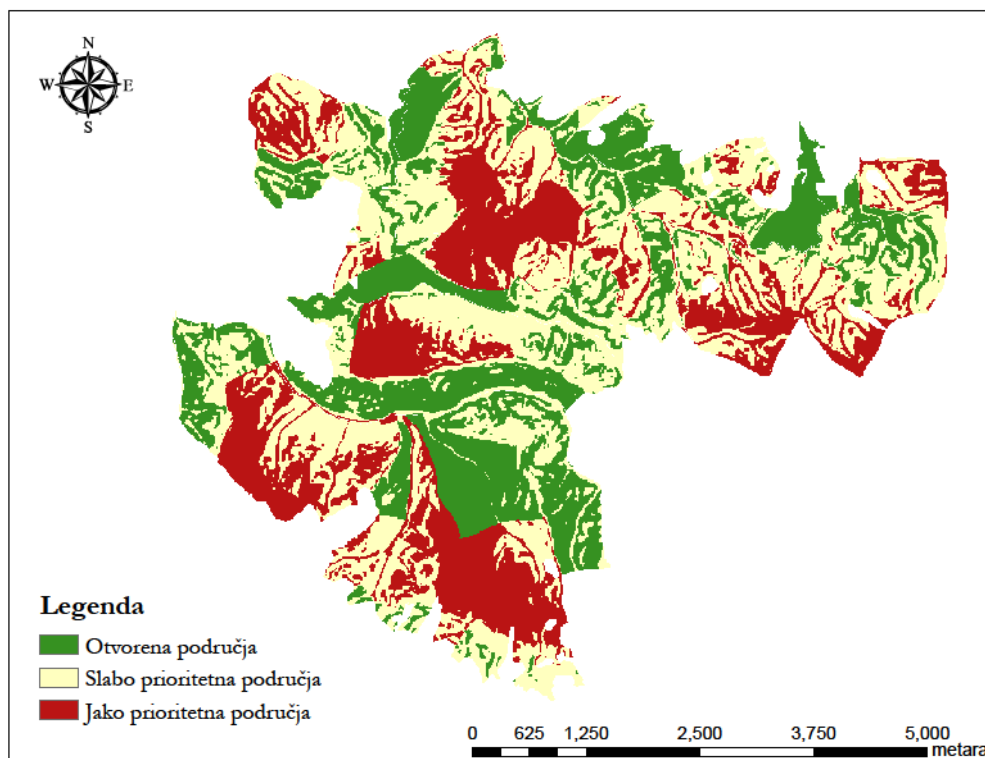
На првом нивоу се налазе подручја са јаким приоритетом. У даљем поступку успостављања оптималне отворености ова подручја имају приоритет и она се прва отварају. То су, у ствари, она подручја која су са аспекта сваког од изабраних фактора најповољнија. Како најповољније вриједности сваког од фактора имају припадност fuzzy скупу блиску 1, приоритетне вриједности резултата ће такође имати вриједности блиске 1. На другом нивоу су подручја са slabим приоритетом. Она се отварају у каснијим фазама успостављања оптималне мреже шумских путева, односно након што се заврши за отварањем подручја јаког приоритета. На последњем мјесту се налазе подручја која немају асполутно никакав приоритет. То су већ отворена подручја која у даљем поступку отварања треба изоставити. Овде се налазе подручја код којих је већ остварена циљана средња удаљености привлачења, као и подручја са великим вриједностима попречног нагиба терена. Код дефинисања функције припадности њима су додијелене вриједности 0 (нема припадност) или су потпуно искључене у поступку отварања.



**Слика 30.** Површине нивоа приоритета унутар састојина букве и јеле

Просторни односи наведених нивоа приоритета у састојинама букве и јеле су приказани на слици 30. У односу на изабране факторе, подручја која не треба даље отворати обухватају 29% од укупне површине састојина букве и јеле. Подручја са slabим приоритетом обухватају 44%, док преосталих 27% површине подручја спада у ниво јаког приоритета. Према томе, у поступку даљег отварања, постојећу мрежу примарних шумских путева потребно је у одређеној мјери допунити на површини од 2020 ha или на 71% од укупне површине. На који начин ће просторно постојећа

мрежа камионских путева бити допуњена зависи превасходно од просторног и површинског односа између дефинисаних нивоа приоритета на којима је изградња нових путева неопходна.



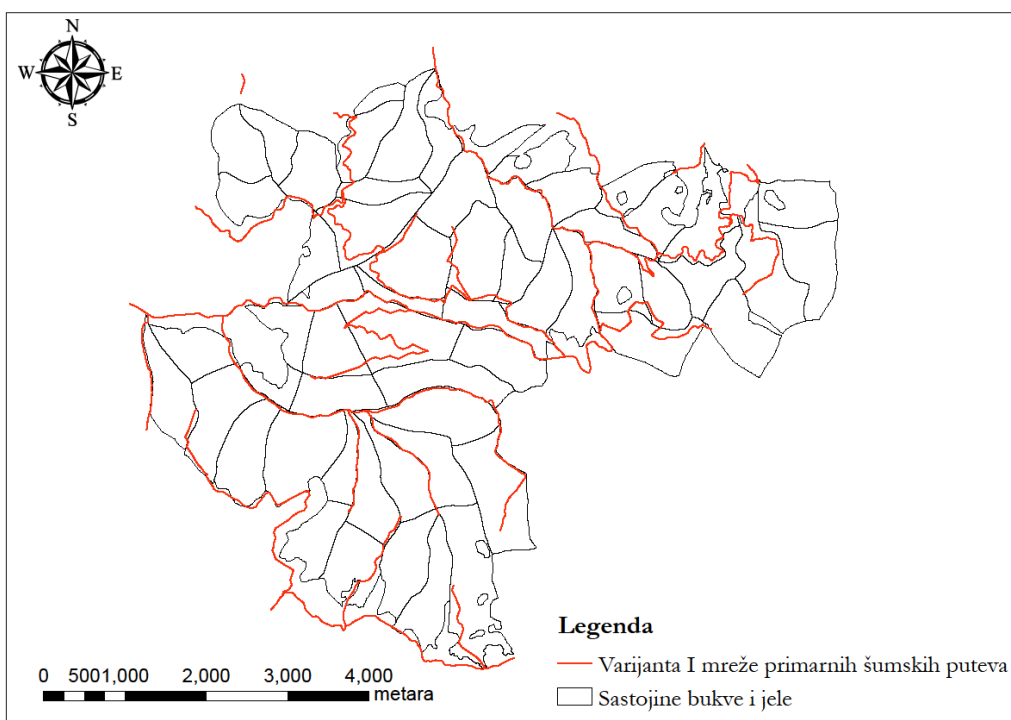
**Слика 31.** Графички приказ нивоа приоритета унутар састојина букве и јеле

Од свих укључених фактора, само је кроз фактор нагиба терена разматрана просторна погодност истраживаног подручја за изградњу путева. Фактори као што су удаљеност од постојеће мреже путева, стварна средња удаљеност привлачења и трошкови привлачења представљају фактички однос између подручја која су већ отворена и оних која се ради смањења трошкова производње дрвета морају што прије отворити. Узевши у обзир и факторе етата и прираста, наведеном је приоритизацијом даљи ток отварања релативно грубо усмјерен. Из тог разлога је ова подручја потребно отворити са неколико варијанти мреже, а избор најбоље извршити на основу анализе параметара отворености.

#### **8.8. Варијанте мреже примарних шумских путева**

Постојећа мрежа примарних шумских путева у састојинама букве и јеле модификована је кроз три варијанте. Варијантом I (слика 32.) нове идејне трасе

положене су у подручјима која у односу на дефинисане нивое имају јак приоритет за отварање. У оквиру ове варијанте положено је седам идејних траса шумских камионских путева, од којих је пет у категорији споредног шумског пута, а два у категорији прилазног шумског пута. Укупна дужина свих путева у варијанти I износи 15122 m, од чега су споредни 13162 m, а прилазни 1960 m. Са овом варијантом постојећа мрежа примарних шумских путева у састојинама букве и јеле има дужину од 63332 m, док у обрачун отворености улази 49143 m. Добијена апсолутна отвореност за варијанту I износи  $17,23 \text{ m} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Релативна отвореност са 60,4% спада у категорију слабе отворености, док је коефицијент ефикасности мреже 79,4%.

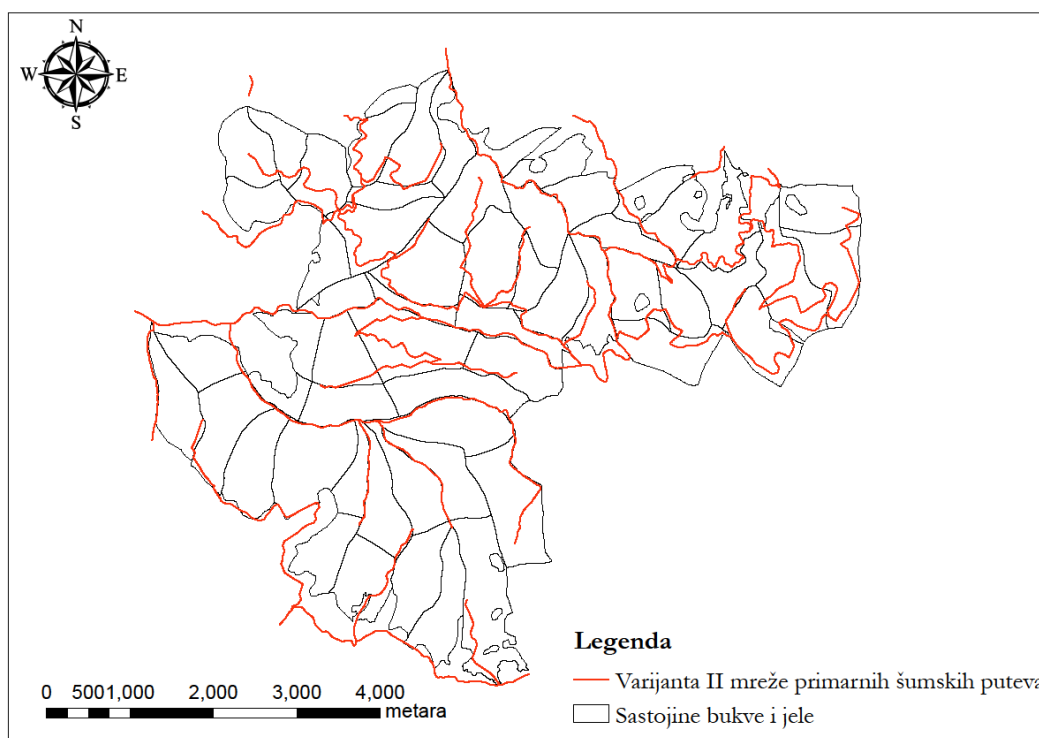


**Слика 32.** Варијанта I мреже примарних шумских путева

Варијанта II (слика 33.) се састоји од 10 идејних траса положених у подручјима која постојећом мрежом камионских путева нису отворена у довољној мјери. Овде спадају преостала подручја са јаким приоритетом за отварање као и подручја са слабим приоритетом за отварање. Пет идејних траса са дужином од 9903 m припада категорији споредног шумског пута, док је преосталих пет дужине 6002 у категорији прилазног шумског пута. Укупна дужина свих путева укључујући варијанту II износи 79237 m. У обрачун отворености улази 62673 m чиме је постигнута асолутна

отвореност од  $21,98 \text{ m}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Релативна отвореност је  $73\%$  и уз коефицијент ефикасности од  $71,03\%$  спада у једва добру отвореност.

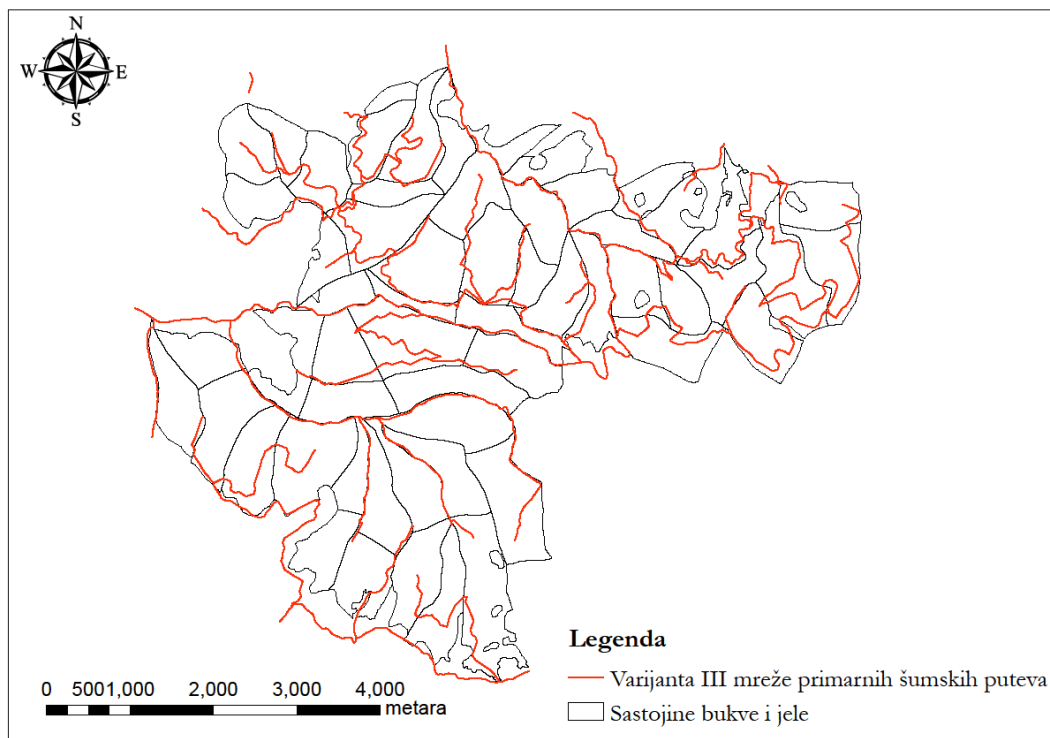
Варијантом III (слика 34.) мрежа примарних шумских путева у састојинама букве и јеле је продужена за  $8856 \text{ m}$  у односу на варијанту II, па укупна дужина мреже износи  $88093$ . Путеву у овој варијанти улазе у отвореност са  $81\%$  или  $71529 \text{ m}$  чиме се постиже ниво отворености од  $25,09 \text{ m}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Овом варијантом настојало се у што већој мјери приближити нивоу циљане стварне средње удаљености привлачења од  $221 \text{ m}$ .



**Слика 33.** Варијанта II мреже примарних шумских путева

Продужење мреже примарних шумских путева дефинисане варијантом II вршено је само у оним случајевима у којима средња удаљеност привлачења изнад циљане, а у односу на изабране критеријуме подручје припада категорији јаког или слабог приоритета за отварање. Према томе, у оним случајевима у којима је средња удаљеност привлачења већа од циљане, а подручје припада категорији отвореног подручја, продужења постојеће мреже није било. Како се овом варијантом отварају поједина одјељења, сви путеви унутар ње припадају категорији прилазних шумских путева. Са варијантом III постигнута је релативна отвореност од  $77\%$  која спада у категорију врло добре отворености. Коефицијент ефикасности мреже примарних шумских путева у овој варијанти износи  $42\%$ .

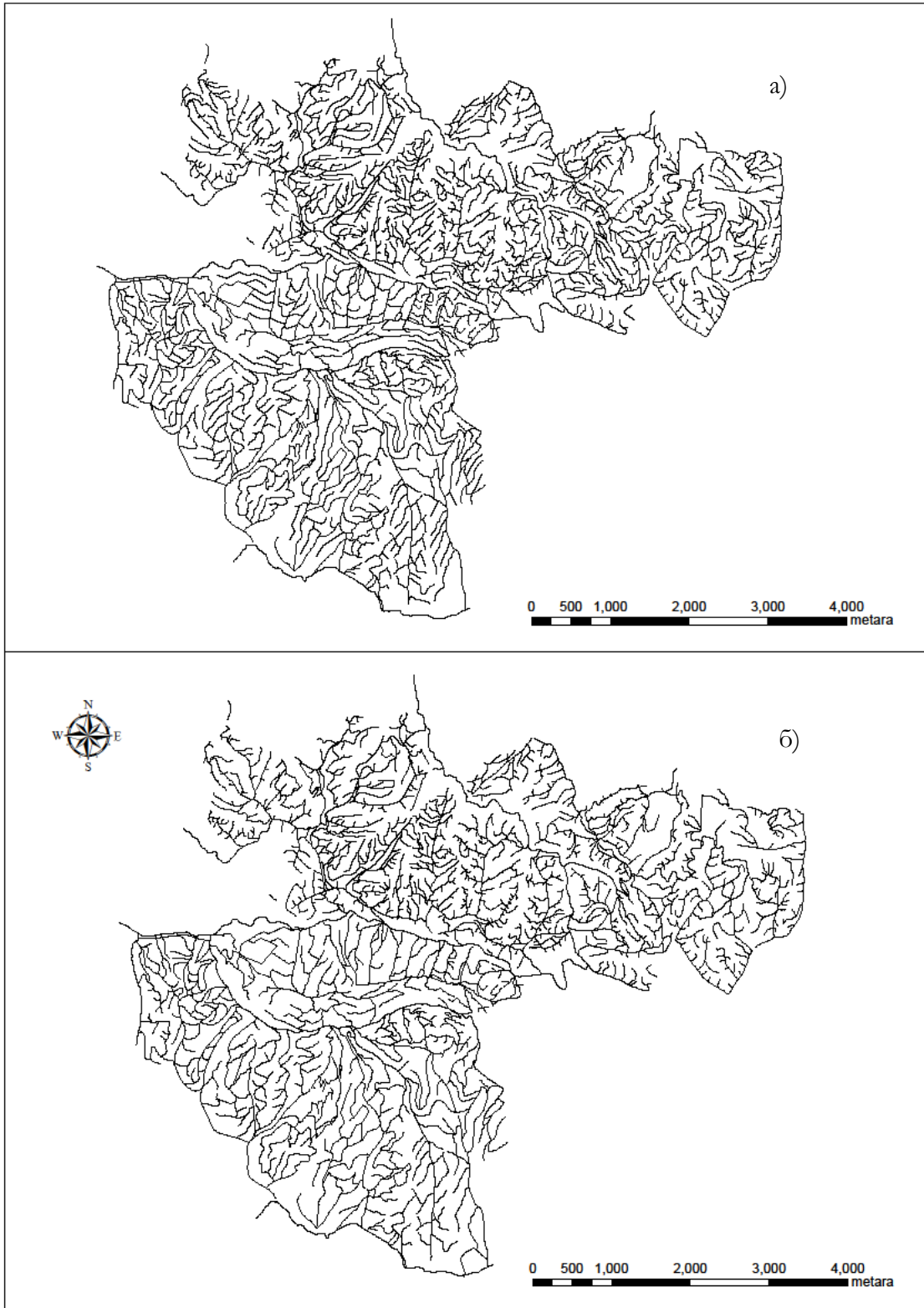




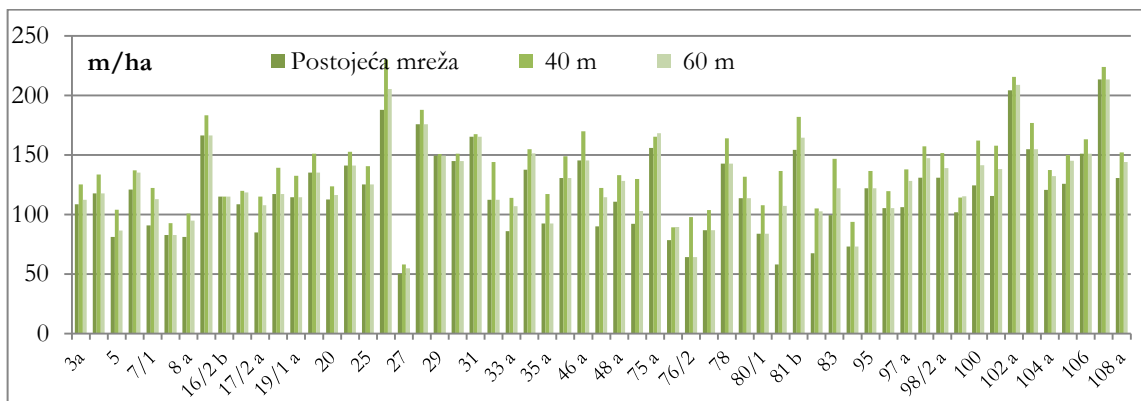
**Слика 34.** Варијанта III мреже примарних шумских путева

### 8.9. Варијанте мреже секундарних шумских путева

Оквиром секундарног отварања састојина букве и јеле формиране су двије варијанте мреже тракторских влака. Основ за формирање обје варијанте представља мрежа постојећих тракторских влака у састојинама букве и јеле. Ова мрежа је проширена према постављеним захтјевима и ограничењима за сваку од варијанти. Ограничења се односе на максимални уздужни нагиб тракторских влака који износи 15%, и максимални нагиб терена на којем изградња влака долази у обзир а који износи 60%. У варијанти I (слика 35a.) постојећа мрежа је прилагођена средњој даљини привлачења витлом од 20 m. Мрежа тракторских влака у овој варијанти је дужа за 58,6 km у односу на постојећу, док је просјечно у састојинама постојећа мрежа увећана за 14%. Укупна дужина тракторских влака на цијелој површини износи 395,8 km. Апсолутна отвореност појединих састојина се креће од 57 до 230 m/ha, док је њена просјечна постигнута вриједност 140 m·ha<sup>-1</sup>. У односу на постојећу мрежу тракторских влака, ниво релативне отворености испод 60% задржао се у двије састојине, док се у категорији слабе отворености налази 20 састојина. Једва добра отвореност постигнута је у 21 састојини, врло добра у 15, а одлична само у једној састојини.



Слика 35. Варијанта I а) и варијанта II б) мреже секундарних шумских путева



**Слика 36.** Секундарна отвореност састојина за постојећу мрежу тракторских путева и варијанте I и II

Варијанта II (слика 35б.) прилагођена је средњој даљини привлачења витлом од 30 m. За разлику од претходне варијанте, постојећа мрежа је продужена само у 31 састојини које се налазе у категорији недовољне, слабе и једва добре отворености. Од укупног броја састојина које се код постојеће мреже тракторских путева налазе у једној од наведених категорија, у двије састојине из разлога услова и нагиба терена постојећа мрежа није модификована. Дужина нових тракторских путева износи 23,3 km, те је ова варијанта за свега 7% дужа у односу на постојећу мрежу. Укупна дужина мреже тракторских путева у овој варијанти износи 360,5 km, при чему је просјечна секундарна отвореност 127 m/ha. У категорији недовољне релативне отворености налазе се 2 састојине, једва добру отвореност има 8 састојина, док је у преосталих 49 састојина постигнута релативна отвореност изнад 80% и спада у категорију врло добре и одличне отворености.

#### 8.10. Трошкови изградње и одржавања варијанти мреже примарних и секундарних шумских путева

Трошкови варијанти мреже примарних шумских путева састоје се од трошкова изградње и одржавања. У просјеку, код кампионских путева ови трошкови износе 49.591 €/km, од чега су трошкови изградње 35.897 €/km, а трошкови одржавања 13.694 €/ km. Међутим, трошкови изградње између варијанти се разликују према дужини путева и према удјелу појединих категорија. У варијанти I, са удјелом прилазних путева од 13%, трошкови изградње по километру износе 33.110 €, док су трошкови изградње цијеле мреже 500.626 €. Укупни трошкови изградње и одржавања износе 1.367.894 €. У варијанти II, због удјела прилазних путева од 38% у укупној дужини мреже, трошкови изградње по километру износе 27.769 €. Са трошковима

изградње од 942.296 € укупни трошкови ове варијанте укључујући одржавање износе 2.027.367 €. Варијантом III мреже шумских путева предвиђени су само путеви из категорије прилазних. Њихова изградња по километру износи 14.359 €, а за укупну дужину 1.069.515 €. Укупни трошкови изградње и одржавања ове варијанте износе 2.275.860 €.

У односу на варијанту I трошкови изградње варијанте II су већи за 33%, док су трошкови изградње варијанте III за 11% већи од трошкова изградње варијанте II. Остварени укупни трошкови по километру у варијанти I износе 21.602 €, у варијанти II 25.585 €, а у варијанти III 25.834 €.

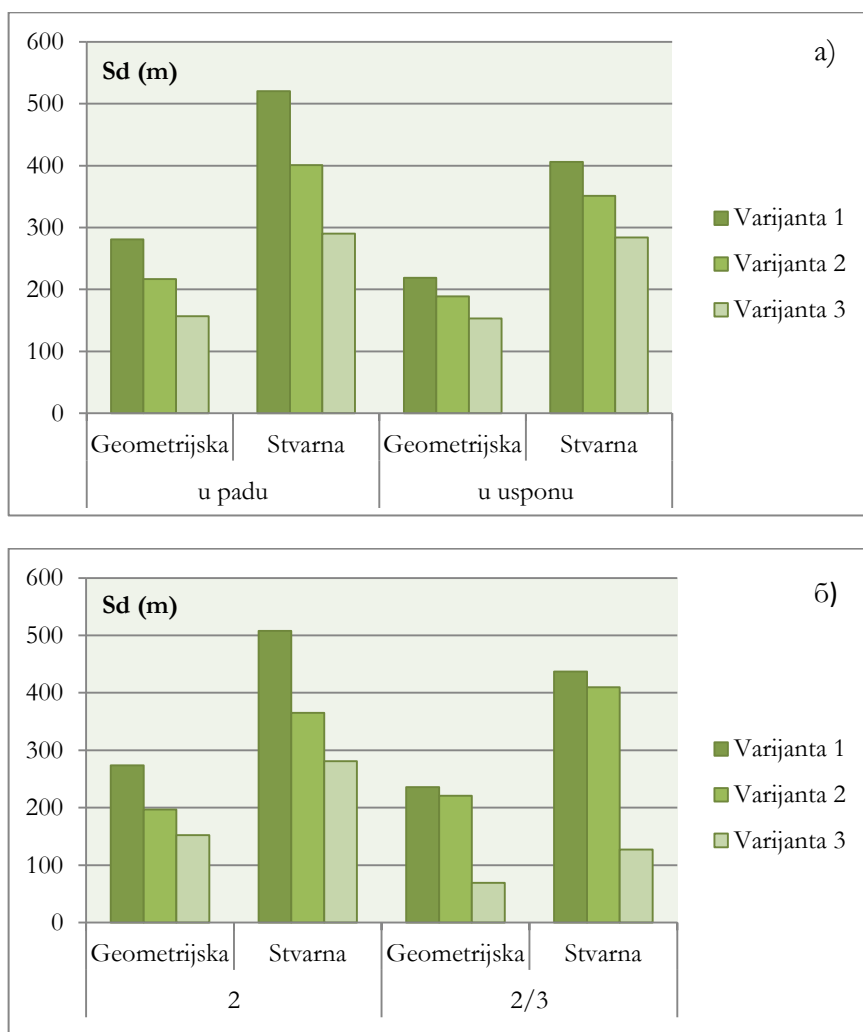
И у оквиру варијанти мреже секундарних шумских путева укупни трошкови се састоје од трошкова изградње и трошкова одржавања. Ови трошкови су добијени на основу норме учинка која код одржавања износи 0,0323 h/m<sup>3</sup> и 0,0333 h/m<sup>3</sup> код изградње нових тракторских влака и трошка рада булдозера TG 90 и TG 110 од 35,90 €/h. На основу овога су постигнути јединични трошкови изградње тракторских влака од 1,79 €/m, док су трошкови одржавања 1,22 €/m. Укупни трошкови изградње варијанте I мреже тракторских влака са трошковима одржавања у периоду амортизације од 30 година износе 587.004 €, а трошкови варијанте II 480.778 €.

#### **8.11. Средња удаљеност привлачења дрвета за варијанте мреже примарних шумских путева**

За предложене варијанте мреже примарних шумских путева одређене су геометријске и стварне средње удаљености привлачења. Сваком је од три дефинисане варијанте мреже путева подручје на којем се налазе састојине букве и јеле подијељено на транспортне зоне.

Број транспортних зона по варијантама се мијења са промјеном дужине и положаја појединих путева у мрежи, а у свакој варијанти мреже примарних шумских путева оне су одређене у односу на смјер привлачења и услове рада. Управо су за овако дефинисане категорије одређене просјечне геометријске и стварне средње удаљености привлачења приказане на слици 37. Варијантом I мреже шумских путева формиране су 123 транспортне зоне, варијантом II 135, а варијантом III 159. За сваку транспортну зону одређено је тежиште, а затим геометријска и стварна удаљеност

привлачења. Добијене геометријске средње удаљености привлачења износе 261 m, 205 m и 156 m, а стварне 483 m, 380 m и 288 m у варијантама I, II и III.



**Слика 37.** Остварене средње удаљености привлачења према смјеру привлачења а) и условима рада б) за варијанте мреже примарних шумских путева

Остварене геометријске средње удаљености привлачења су због примјене јединственог фактора корекције привлачења скоро двоструко мање у односу на вриједности стварне средње удаљености привлачења. Између варијанти се као посљедица увећања густине мреже шумских путева просјечна вриједност удаљености привлачења смањује. У варијанти II просјечна средња удаљеност привлачења је мања за 21% у односу на варијанту I, а у варијанти III за 40% у односу на варијанту I. Средња удаљеност привлачења остварена у варијанти III је најближа циљаној стварној средњој удаљености привлачења која износи 221 m. Иако ова циљана вриједност није у потпуности постигнута, остварена средња удаљеност привлачења у

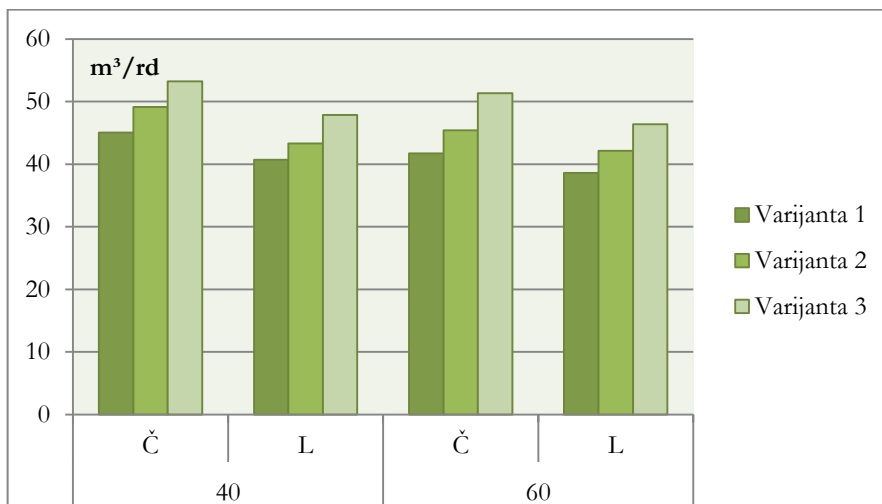
варијанти III износи свега 47% у односу на удаљеност привлачења код постојеће мреже шумских путева.

Однос остварене удаљености привлачења између два смјера се од прве ка последњој варијанти постепено изједначава. За разлику од првобитно утврђеног односа од око 67%:33% између удаљености привлачења у паду и у успону, у оквиру варијанти I, II и III овај однос је 56%:44%, 53%:47% и 51%:49%. Овакав однос је резултат отварања гребенским путевима, те промјена односа у величини транспортних зона диференцираних смјером привлачења. У односу на постојећу мрежу шумских путева код које укупна површина транспортне зоне са које се привлачи у успону износи 513 ha, код варијанте III у успону се привлачи са површине од 1133 ha.

Како се површина која припада одређеним условима рада између варијанти мреже шумских путева незнатно мијења, средње удаљености привлачења остварене по варијантама се разликују само према дужини путева који отварају подручја која припадају дефинисаним условима рада. У просјеку 60% површине спада у услове рада 2, те ће у њима услед веће норме учинка приликом привлачења на истој удаљености бити остварени мањи трошкови у односу на подручја са условима рада 2/3. Према томе, само је варијантом II постигнут неповољан однос између ове двије категорије услова рада у погледу остварене средње удаљености привлачења. У овој варијанти је код услова рада 2/3 остварена већа средња удаљеност привлачења за 11% у односу на услове рада 2. У варијанти I средња удаљеност привлачења код услова рада 2/3 је мања за 14%, а у варијанти III за 55%.

#### **8.12. Трошкови привлачења за варијанте мреже примарних шумских путева**

Просјечна норма учинка и пројечни трошкови привлачења одређени су за све варијанте мреже примарних и секундарних шумских путева. На норму учинка варијантама мреже примарних шумских путева утиче се преко средње удаљености привлачења дрвета, док се варијантама мреже секундарних шумских путева на норму учинка утиче преко средње удаљености привлачења витлом. Просјечна остварена норма учинка за групе врста дрвећа према варијантама примарне и секундарне мреже шумских путева приказана је на слици 38.



**Слика 38.** Остварена норма учинка за варијанте примарне и секундарне мреже шумских путева

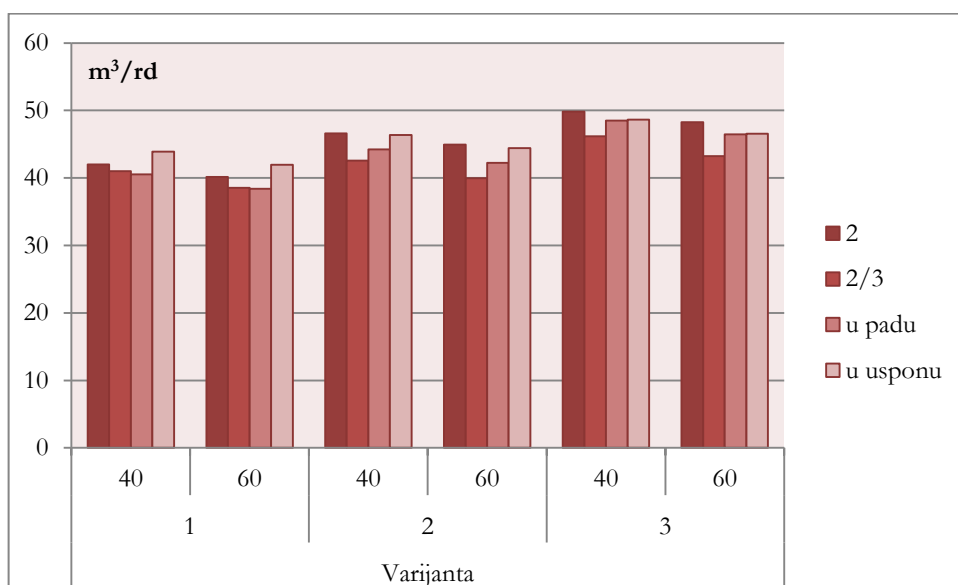
Према слици 38. већа норма учинка остварује се при мањим средњим удаљеностима привлачења по влакама и привлачења витлом до влаке. Самим тим, највећи учинци остварују се код варијанте III мреже примарних шумских путева и варијанте I мреже секундарних шумских путева. У овом случају остварује се највећа укупна дужина мреже примарних и секундарних шумских путева, али и најмањи трошак рада у привлачењу дрвета. Најмања остварена просјечна норма учинка износи 42,02, а највећа 49,55 m<sup>3</sup>/rd (табела 14.)

**Табела 14.** Остварена просјечна норма учинка за варијанте мреже примарних и секундарних шумских путева

Варијанта мреже секундарних шумских путева	Варијанта мреже примарних шумских путева		
	I	II	III
	(Алтернатива)/Норма учинка (m <sup>3</sup> /rd)		
I	(A1) 42,02	(A3) 45,17	(A5) 49,55
II	(A2) 39,59	(A4) 43,17	(A6) 47,96

Норма учинка за варијанте мреже примарних и секундарних шумских путева у односу на услове рада и смјер привлачења приказана је на слици 39. У категорији услова рада 2/3 остварује се у свим случајевима мања норма учинка у односу на категорију услова рада 2. Норма учинка између ове двије категорије услова рада код варијанте I мреже тракторских влака се разликује просјечно за 7%, а код варијанте II за 9% за све варијанте мреже примарних шумских путева. Са друге стране, унутар

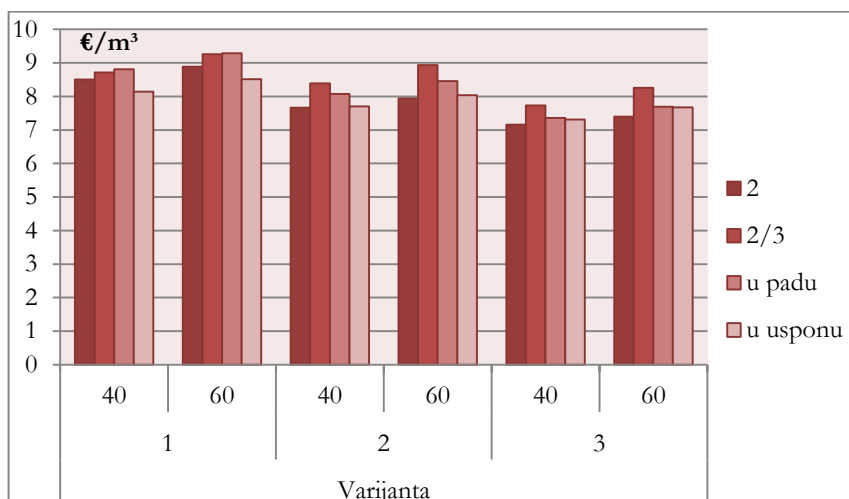
категорије услова рада 2, код варијанте I мреже тракторских влака норма учинка је за 14% већа у варијанти III у односу на варијанту I мреже примарних шумских путева, док је у категорији услова рада 2/3 остварена норма учинка већа за 12%. Слични односи се остварују и код варијанте II мреже тракторских влака, а норма учинка се разликује за 17% и 11%. Код привлачења у паду норма учинка између I и III варијанте мреже примарних шумских путева опада за 17%, а код привлачења у успону за 10%. Код свих варијанти мреже примарних и секундарних шумских путева остварује се већа норма учинка приликом привлачења у успону која је резултат остварене мање средње удаљености привлачења у успону. У оквиру свих анализираних случајева, најмања норма учинка од 38,42 m<sup>3</sup>/rd се остварује код привлачења у паду са варијантом I мреже примарних и варијантом II мреже секундарних шумских путева, док највећа норма учинка износи 48,65 m<sup>3</sup>/rd код привлачења у успону са варијантом III мреже примарних и варијантом I мреже секундарних шумских путева.



**Слика 39.** Остварена норма учинка за варијанте примарне и секундарне мреже шумских путева у односу на услове рада и смјер привлачења

Трошкови привлачења дрвета представљају однос између дневног трошка рада трактора приликом привлачења и остварених норми учинака према дефинисаним условима рада и смјеру привлачења за варијанте мреже примарних и секундарних шумских путева. Остварени просјечни јединични трошкови привлачења у односу на услове рада и смјер привлачења приказани су на слици 40.





**Слика 40.** Просјечни јединични трошкови привлачења за варијанте примарне и секундарне мреже шумских путева у односу на услове рада и смјер привлачења

Остварени просјечни трошкови привлачења за варијанте примарне и секундарне мреже шумских путева приказани су у табели 15.

**Табела 15.** Остварени просјечни јединични трошкови привлачења за варијанте примарне и секундарне мреже шумских путева

Варијанта мреже секундарних шумских путева	Варијанта мреже примарних шумских путева		
	I	II	III
	(Алтернатива)/Трошкови привлачења (€/m³)		
I	(A1) 8,50	(A3) 7,90	(A5) 7,21
II	(A2) 9,02	(A4) 8,27	(A6) 7,44

Јединични трошкови рада трактора приликом привлачења смањују се са повећањем норме учинка. Како је највећа норма учинка постигнута код варијанте III мреже примарних шумских путева и варијанте I мреже секундарних шумских путева, код ове варијанте мреже примарних и секундарних шумских путева остварују се минимални трошкови привлачења. У односу на трошкове привлачења који се остварују код циљане средње удаљености привлачења од 6,95 €/m³, трошкови добијени овом варијантом су за 0,26 €/m³ или свега 4% већи.

У табели 16. приказани су укупни трошкови привлачења дрвета. Ови трошкови се за сваку варијанту мреже примарних и секундарних шумских путева остварују у оквиру једног уређајног периода за укупну количину облог дрвета која се из свих састојина букве и јеле привлачи трактором.

**Табела 16.** Остварени укупни трошкови привлачења за варијанте мреже примарних и секундарних шумских путева

Варијанта мреже секундарних шумских путева	Варијанта мреже примарних шумских путева		
	I	II	III
	(Алтернатива)/Трошкови привлачења (€)		
I	(A1) 1.274.923	(A3) 1.184.928	(A5) 1.081.435
II	(A2) 1.352.919	(A4) 1.240.425	(A6) 1.115.933

**8.13. Одређивање нивоа покривености површине мрежом примарних и секундарних шумских путева**

Ниво покривености површине састојина букве и јеле представљен је површинама које су отворене за сваку од варијанти мреже примарних и секундарних шумских путева. Отворене површине у овом смислу представљају површине које су отворене за вриједности средње удаљености привлачења и дужине ужета на витлу трактора. За сваку од комбинација мреже примарних и секундарних шумских путева, ниво покривености приказан у табели 17. представљен је збиром примарне и секундарне релативне отворености.

**Табела 17.** Покривеност површине варијантама мреже шумских путева

Варијанта мреже секундарних шумских путева	Варијанта мреже примарних шумских путева		
	I	II	III
	(Алтернатива)/Покривеност површине (%)		
I	(A1) 135	(A3) 148	(A5) 152
II	(A2) 146	(A4) 159	(A6) 163

Према табели 17. ниво отворености се повећава од прве ка последњој алтернативи што је последица превасходно повећања дужине примарних шумских путева. У случају секундарне мреже, већи ниво покривености је остварен са другом варијантом. Из тог је разлога, код свих алтернатива у које је укључена друга варијанта мреже секундарних шумских путева ниво покривености површине већи.

**8.14. Одређивање величине непроизводне површине за варијанте мреже примарних и секундарних шумских путева**

Величина непроизводне површине која би се добила изградњом варијанти мреже примарних шумских путева добијена је помоћу једначине регресије (28). Овом

једначином, ширина просјеке за изградњу шумског пута добијена је на основу попречног нагиба терена док је површина појаса који заузима сваки шумски пут добијена на основу вриједности добијене ширине просјеке и дужине шумског пута. У варијанти I просјечна вриједност попречног нагиба терена на којем се налазе путеви износи 28,61%, док је укупна величина површине коју путеви у овој варијанти заузимају 41,79 ha, односно 1,47% од укупне површине коју заузимају састојине букве и јеле.

У варијанти II просјечни нагиб терена на којем се налазе путеви износи 31,20%. Изградњом ове варијанте мреже шумских путева непроизводне површине би износиле 57,56 ha или 2% у укупној површини састојина букве и јеле. Варијантом III, просјечни попречни нагиб терена на којем се налазе путеви је повећан на 33,99%, а укупна величина непроизводне површине износи 67,05 ha или 2,3%.

Са проширењем постојеће мреже примарних шумских путева од варијанте I до варијанте III повећава се просјечни нагиб терена на којима су положени путеви у оквиру појединих варијанти. Како је ширина просјеке за изградњу пута одређена у односу на нагиб терена, са његовим повећањем долази до повећања ширине просјеке која износи 7,18 m код варијанте I, 7,94 m код варијанте II и 8,74 m код варијанте III.

Одређивање ширине појаса који је потребно посјећи за изградњу тракторских путева коришћена је формула (29) (Јеличић, 1985). На основу ове формуле ширина појаса се одређује на основу ширине планума пута ( $\beta$ ), дијела планума који се налази на самониклом земљишту ( $a$ ) те удаљености шарпе од нулте тачке ( $e$ ). Ширина планума пута за све тракторске влаке, с обзиром да је по њима предвиђено кретање зглобних трактора, износи 3,5 m, док су параметри  $a$  и  $e$  одређени на основу таблица Јеличића (1983) за просјечни нагиб терена у састојинама букве и јеле од 41,2%. На основу вриједности ових параметара добијена је ширина појаса коју треба посјећи на тракторским путевима  $p = 5,88$  m. Површина коју заузимају тракторске влаке код варијанте I износи 232 ha, а код варијанте II 212 ha. Укупна површина која се изузима из производње узимајући у обзир варијанте примарне и секундарне мреже шумских путева приказана је у табели 18.

**Табела 18.** Величина непродуктивних површина за варијанте мреже примарних и секундарних шумских путева

Варијанта мреже секундарних шумских путева	Варијанта мреже примарних шумских путева		
	I	II	III
	(Алтернатива)/Непродуктивна површина (ha)		
I	(A1) 274,57	(A3) 290,34	(A5) 299,83
II	(A2) 253,79	(A4) 269,56	(A6) 279,05

Највећа непродуктивна површина се јавља код варијанте III мреже примарних и варијанте I мреже секундарних шумских путева. Величина површине под путевима се повећава са повећањем дужине путева у мрежи са једне и са повећањем просјечног нагиба терена на којем се путеви налазе са друге стране. У просјеку се од варијанте I до варијанте III мреже примарних шумских путева ширина просјеке потребне за изградњу путева повећава за 10%.

#### 8.15. Вишекритеријумски избор мреже шумских путева

Са три варијанте мреже примарних и двије варијанте мреже секундарних шумских путева формирано је шест алтернатива мреже шумских путева у састојинама букве и јеле. Вриједновање и рангирање алтернатива извршено је помоћу TOPSIS методе на основу четири изабрана критеријума:

**K1** – критеријум типа **min** представља критеријум трошкова изградње и одржавања мреже примарних и секундарних шумских путева унутар сваке алтернативе (€).

**K2** – критеријум типа **min** представља критеријум трошкова привлачења дрвета трактором за сваку алтернативу мреже примарних и секундарних шумских путева (€).

**K3** – критеријум типа **max** представља ниво отворености шумског простора примарним и секундарним шумским путевима за вриједност циљане средње удаљености привлачења и дужине ужета на витлу за сваку алтернативу мреже примарних и секундарних шумских путева (%).

**K4** – критеријум типа **min** представља величину непродуктивних површина, односно површина које би се изградњом сваке алтернативе мреже шумских путева изузеле из производње (ha).

На основу номиналних вриједности критеријума за сваку алтернативу формирана је почетна матрица одлучивања приказана у табели 19.

**Табела 19.** Номиналне вриједности критеријума

Варијанта мреже примарних и секундарних шумских путева (Алтернатива)	Критеријуми			
	<b>K1 (€)</b>	<b>K2 (€)</b>	<b>K3 (%)</b>	<b>K4 (ha)</b>
<b>Алтернатива I</b>	1954898	1274923	135	274.57
<b>Алтернатива II</b>	1848672	1352919	146	253.79
<b>Алтернатива III</b>	2614371	1184928	148	290.34
<b>Алтернатива IV</b>	2508145	1240425	159	269.56
<b>Алтернатива V</b>	2862864	1081435	152	299.83
<b>Алтернатива VI</b>	2756638	1115933	163	279.05

Нормализација критеријумских вриједности из табеле 17. извршена је примјеном формуле 20. и приказана у табели 20. За одређивање тежинских коефицијената критеријума коришћена је Shannonova метода ентропије, те су вриједности ентропије ( $e_i$ ), дивергенције ( $d_i$ ) и тежинских коефицијената критеријума ( $w_i$ ) добијене помоћу формула 21., 22. и 23. и приказане у табели 21.

**Табела 20.** Нормализоване вриједности критеријума

Варијанта мреже примарних и секундарних шумских путева (Алтернатива)	Критеријуми			
	<b>K1</b>	<b>K2</b>	<b>K3</b>	<b>K4</b>
<b>Алтернатива I</b>	0.1344	0.1758	0.1596	0.1647
<b>Алтернатива II</b>	0.1271	0.1866	0.1667	0.1522
<b>Алтернатива III</b>	0.1797	0.1634	0.1649	0.1742
<b>Алтернатива IV</b>	0.1724	0.1711	0.1702	0.1617
<b>Алтернатива V</b>	0.1968	0.1492	0.1667	0.1798
<b>Алтернатива VI</b>	0.1895	0.1539	0.1720	0.1674

**Табела 21.** Вриједности параметара  $e_i$ ,  $d_i$  и  $w_i$  за дефинисане критеријуме

	<b>K1</b>	<b>K2</b>	<b>K3</b>	<b>K4</b>
$e_i$	0,99247	0,99816	0,9964	0,99902
$d_i$	0,00753	0,00184	0,0036	0,00098
$w_i$	0,5398	0,1319	0,2581	0,070

Вриједности тежинских коефицијената критеријума добијене ентропијом показују да највећи утицај на избор алтернативе мреже примарних и секундарних шумских путева има критеријум К1 – који се односи на трошкове изградње и одржавања мреже, а затим критеријум К3 – који представља покривеност површине мрежом примарних и секундарних шумских путева. Најмањи утицај на избор алтернативе остварује критеријум К4 који се односи на величину непродуктивних површина.

#### 8.16. Примјена TOPSIS методе и рангирање алтернатива

Алтернативе мреже примарних и секундарних шумских путева вриједноване су на основу четири дефинисана критеријума, а добијени резултати приказани су на слици 41. Алтернативе су рангиране према опадајућим вриједностима

TOPSIS Method  
Actual problem for 6 alternatives and 4 criteria

**DATA:**

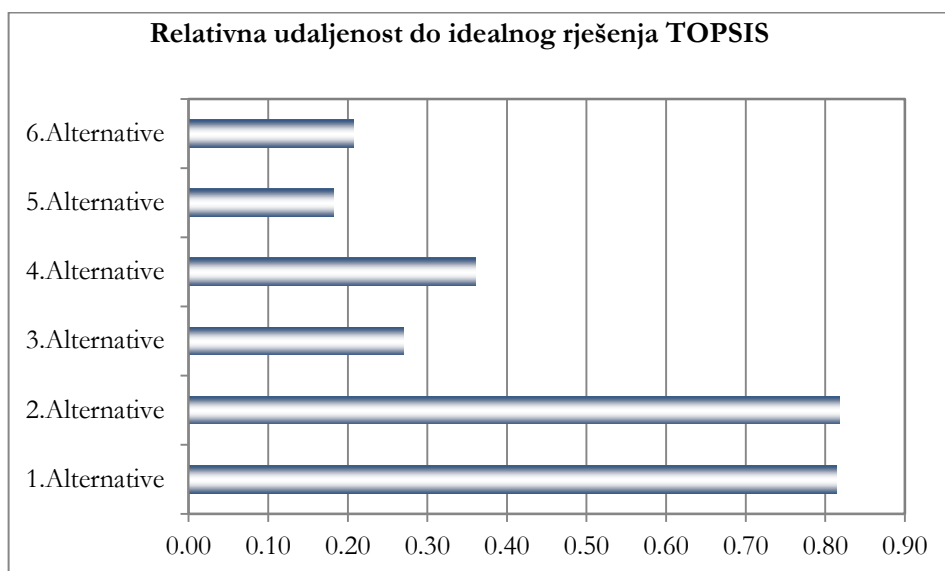
	MIN	MIN	MAX	MIN
	1.Criterion	2.Criterion	3.Criterion	4.Criterion
1.Alternative	1954898	1274923	135	274.57
2.Alternative	1848672	1352919	146	253.79
3.Alternative	2614371	1184928	148	290.34
4.Alternative	2508145	1240425	159	269.56
5.Alternative	2862864	1081435	152	299.83
6.Alternative	2756638	1115933	163	279.05
<b>Váhy</b>	<b>0.53980</b>	<b>0.13190</b>	<b>0.25810</b>	<b>0.07000</b>

**FINAL  
RANKING:**

Ranking	Alternative	R.U.V
1	2.Alternative	0.81763
2	1.Alternative	0.81412
3	4.Alternative	0.36024
4	3.Alternative	0.26976
5	6.Alternative	0.20679
6	5.Alternative	0.18237

**Слика 41.** Резултат примјене TOPSIS методе имплементиране у апликацији SANNA (Jablonský i Urban, 1998)

На основу добијених вриједности према слици 41. најближа идеалном рјешењу је алтернатива 2, те је стога она и најбоље рангирана. Блиско растојање идеалном има алтернатива 1 која је рангирана на другом мјесту. Обје ове алтернативе се састоје од варијанте I мреже примарних шумских путева у комбинацији са варијантом II (алтернатива 1) и варијантом I (алтернатива 2) мреже секундарних шумских путева. Алтернативе које се састоје од варијанте II мреже примарних шумских путева заузимају ранг 3 (алтернатива 4) и 4 (алтернатива 3). Највећу удаљеност од идеалног рјешења имају алтернативе 6 и 5, а те алтернативе чини варијанта III мреже примарних шумских путева. Разлика у релативној удаљености између најбоље и најгоре рангиране алтернативе износи 78%.



**Слика 42.** Дијаграм тежинских коефицијената критеријума (SANNA)

Ранг алтернатива опада од варијанте I према варијанти III мреже примарних шумских путева. Разлог овоме је вриједност тежинског коефицијента критеријума K1 који се односи на трошкове изградње и одржавања варијанте мреже примарних и секундарних шумских путева, те он у укупном односу критеријума на ранг алтернатива утиче са интензитетом од преко 50%. Са друге стране, код исте варијанте мреже примарних шумских путева, у свим случајевима виши ранг има алтернатива са варијантом II мреже секундарних шумских путева. У овим случајевима се остварују већи трошкови привлачења, али мали утицај овог критеријума са критеријумима K3 и K4 обезбјеђује овој варијанти виши ранг.

## 9. ДИСКУСИЈА

У раду је анализиран дио привредне јединице Козара-Мљечаница површине 2850,80 ha у оквиру којег се налазе састојине букве и јеле. За ове састојине први елаборат је израђен 1929. године. Овим су елаборатом приписиване пребирне сјече за све састојине, укључујући и састојине букве и јеле. Тек је шумскопривредном основом 1973. године у овим састојинама предвиђено потпуно напуштање пребирних сјеча и прелазак на групимично газдовање и слободну технику гајења. Примјена скупинасто-пребирног система газдовања предвиђена је тек од 1983. године. Данас се овај систем, без обзира на његове карактеристике, предвиђа за примјену у састојинама свих газдинских класа.

У циљу утврђивања структурног облика ових састојина, на 155 кругова у 31 састојини букве и јеле извршен је премјер пречника свих стабала дебљих од 7 cm. Добијени резултат показује да су ове састојине према дебљинској структури разнодобне. Крива расподеле стабала по дебљинским степенима има облик карактеристичан за разнодобне састојине. Код јеле и осталих лишћара ова крива одговара десној страни Гаусове криве, а код букве је изражена још једна старосна група стабала од 50 до 70 cm. Већи број стабала у овим дебљинским степенима узрокује мањи број стабала у најтањим дебљинским степенима због чега расподела стабала нема облик карактеристичан за пребирне састојине. Оваква структура се јавља услед неправилног извођења стаблмичне пребирне сјече. Према томе, са великом сигурношћу можемо да тврдимо да примјена скупинасто-пребирних сјеча изостаје. **На основу овога можемо да одбацимо другу хипотезу према којој се у састојинама букве и јеле примјењује скупинасто-пребирни система газдовања.**

Анализом мреже примарних и секундарних шумских путева у састојинама букве и јеле утврђене су вриједности апсолутне и релативне отворености, средње удаљености и трошкови привлачења. Тек је скоријом инвентуром путева, извршеном за потребе израде шумскопривредне основе за плански период од 2019-2028 извршена категоризација путева у складу са Правилником о пројектовању шумских камионских путева. Претходном инвентуром категоризација камионских путева није вршена, а тада формирана база података није накнадно ажурирана путевима изграђеним у току уређајног периода.



Отвореност цијеле привредне јединице према шумскопривредној основи износи 9,16 m/ha, док је отвореност у високим шумама са природном обновом 8,34 m/ha. Са друге стране, отвореност анализираних састојина букве и јеле које се налазе унутар привредне јединице износи 13,28 m/ha. Ова отвореност, која се, с обзиром на постојећу мрежу примарних шумских путева, у свим овим случајевима налази у интервалу од 5 до 15 m/ha није довољна за интензивно газдовање шумама. Како наводе Abegg (1978), Potočnik (2004), те Lepoglavec (2014), при овом нивоу отворености шумама је могуће само екстензивно газдовати. За нормално газдовање потребна је густина мреже шумских путева већа од 15 m/ha, док је према FAO (1998) за интензивно газдовање потребно преко 25 m/ha. У односу на отвореност у државама у окружењу, отвореност у Републици Српској и Босни и Херцеговини је 2 до 4 пута мања (Petković, 2019). И у односу на дрвну залиху, према Demiru (2007) густина мреже шумских путева није довољна. Са просјечном залихом у састојинама букве и јеле од 473,62 m<sup>3</sup>, те 413, 70 m<sup>3</sup> у свим високим шумама привредне јединице, густина мреже примарних шумских путева треба да износи 20 m/ha. **Наведени односи потврђују прву хипотезу према којој постојећа мрежа примарних шумских путева у састојинама букве и јеле није оптимална.**

За одређивање релативне отворености је као вриједност циљане средње удаљености привлачења коришћена је удаљеност код које се постиже трошак привлачења дефинисан интерним смјерницама Шумског газдинства Приједор од 6,95 €/m<sup>3</sup>. При овом трошку циљана средња удаљеност привлачења износи 221 m, те је релативна отвореност за постојећу мрежу шумских путева свега 44,79%. **Како су постојећи трошкови привлачења већи за 30% у односу на пројектоване, прва хипотеза је са аспекта примарне мреже путева још једном потврђена.** Према систему процјене примарне релативне отворености који су дефинисали Pentek i dr. (2005), релативна отвореност испод 55% класификована је као недовољна и припада најнижем разреду. Из тог је разлога, у циљу постизања циљане средње удаљености привлачења, постојећу мрежу путева неопходно допунити.

Постојећа мрежа примарних шумских путева је допуњена кроз три варијанте које се међусобно разликују према укупној дужини и удјелу појединих категорија шумских путева. Методом варијанти се у циљу унапређења постојеће мреже шумских путева користе се Najafi et al. (2008), Firozan et al. (2010), Ljubojević (2010), Samani et al. (2010),

Ezzati et al. (2011), Nayati et al. (2013), Stefanović et al. (2015). За формирање ових варијанти коришћени су алати мрежне анализе у чијој основи је Дијкстин алгоритам најкраће трасе. Дијкстрин алгоритам је покренут посебно за сваку идејну трасу у оквиру свих варијанти.

Пројектованим варијантама примарна отвореност је достигла ниво од 17,23 m/ha код варијанте I до 25,09 m/ha код варијанте III. Према наведеним смјерницама, при овим нивоима отворености обезбјеђени су услови за нормално газдовање шумама. Тек је другом варијантом постигнута минимална отвореност у планинском подручју према Нодићу и Јурушићу (2011). Трећом је варијантом постојећа мрежа примарних шумских путева скоро удвостручена и она одговара циљаној отворености планинских рељефних подручја према Penteku i dr. (2016).

Мрежа секундарних шумских путева у анализираном подручју у оквиру појединих састојина прилагођена је рељефним условима и распореду дозначених стабала. Ниво отворености варира у релативно широком интервалу те се у појединим састојинама креће од 37 до 213 m/ha са просјечном вриједношћу од 100,56 m/ha. Према Јеличићу (1983) ова густина спада у довољну. Међутим, према Јеличићу (1983) и Zdjelarу (1990) у оним састојинама у којима се пребирно газдује потребно је од 150 до 200 m/ha тракторских путева и влака, док је према Риџману (2007) добра отвореност у брдско-планинским подручјима 200 m/ha. У односу на ове вриједности постојећа мрежа секундарних шумских путева у састојинама букве и јеле има за 1,5 до 2 пута пута мању густину. **У односу на ове вриједности можемо да закључимо да секундарна мрежа путева у састојинама букве и јеле није оптимална, што прву хипотезу и са овог аспекта потврђује.** Ова разлика је у највећој мјери резултат односа између површине састојине на којој се врши дознака стабала за сјечу и планирање секундарне мреже шумских путева и површине цијеле састојине. Што због смјерница јавног предузећа којим се дефинише планирање и извођење радова око водотока са једне, што због избегавања стрмих и FSC стандардом заштићених подручја, површина састојине на којој се стварно врши сјеча и привлачење дрвета је мања од стварне површине састојине. Тако према Ljubojeviću et al. (2018) у одјелу 27 који се налази унутар састојина букве и јеле усљед изразито великих нагиба терена дознаком је обухваћено свега 44% од укупне површине одјела. У односу на густину секундарне мреже путева од 103 m/ha рачунајући са укупном површином одјела, узевши у обзир

само површину на којој је извршена дознака стабала за сјечу добија се густина од преко 200 m/ha. Према Извођачким пројектима у одјелима 26 и 47 који такође припадају састојинама букве и јеле у привредној јединици Козара-Мљечаница површина на којој је извршена дознака стабала за сјечу износи 53 и 61%. Рачунајући са стварним површинама на којима се унутар једне састојине тракторске влаке граде, добијене вриједности густине секундарне мреже оговарају онима које су дефинисали Rebula (1983), Јеличић (1983) и Рићман (2007). Међутим, већ је према Матићу (1973) и Дринићу (1975а) секундарна отвореност од 100 m/ha довољна узевши у обзир примарну отвореност унутар привредне јединице Козара-Мљечаница. **Ово, са друге стране, показује да прву хипотезу у односу на секундарну мрежу путева можемо да одбацимо и да је постојећа отвореност тракторским влакама у састојинама букве и јеле оптимална.**

Секундарна отвореност састојина резултат је превасходно одређених фактора које на вишим нивоима планирања од оперативног није могуће јасно дефинисати. Ако се искључе рељефне карактеристике, највећи утицај на секундарну мрежу у састојини има просторна расподјела дозначених стабала. Поред ове двије карактеристике, мрежа тракторских влака у састојини се планира према максималној дужини ужета на витлу од 60 m. Када се ове специфичности ускладе са еколошким захтјевима шумског простора, добија се мрежа тракторских влака која је у односу на цијелу површину састојине непотпуна. Према томе би секундарну отвореност требало одређивати у односу на ону површину на којој се шумарске операције стварно изводе и мрежа тракторских влака пројектује.

Секундарна релативна отвореност одређена је за сваку састојину, а за ширину омеђене зоне узета је максимална дужина ужета на витлу од 60 m дефинисана Јединственим нормама радова у шумарству (Соколац, 2002). За постојећу мрежу тракторских влака у преко 50% састојина релативна отвореност на основу система класификације Penteka i dr. (2010) има једва добру, слабу или недовољну релативну отвореност. Ова је постојећа мрежа модификована кроз двије варијанте. Једном је варијантом мрежа тракторских влака прилагођена максималној дужини ужета на витлу од 40 m, док је код друге задржана дужина од 60 m. Ове вриједности су коришћене на основу истраживања Penteka et al. (2008), Penteka i dr. (2010), Sokolović i dr. (2011), Рићмана i dr. (2011). Најчешће је примјена ових дужина ужета на витлу

оправдана или мањим трошковима привлачења или већом потребом за хуманизацијом рада. Мања дужина ужета на витлу значи и мањи трошак привлачења али истовремено и већу густину мреже тракторских влака и веће трошкове њихове изградње те већи утицај на шумски простор. Према Ljubojeviću et al. (2018) гушћа мрежа секундарних шумских путева је оправдана само у оним случајевима у којима је мања удаљеност привлачења витлом потребна или из разлога хуманизације рада или из еколошких разлога.

Варијантама мреже секундарних шумских путева секундарна отвореност је повећана за 27% и 19% у варијантама I и II. Код прве варијанте секундарна отвореност у просјеку износи 140 m/ha, док је код друге 127 m/ha. Обје су варијанте резултат модификације већ постојеће мреже секундарних шумских путева. Из тог су разлога, поред осталих ограничења, постигнуте вриједности релативне отворености по појединим састојинама неповољније у варијанти I у односу на варијанту II.

Средња удаљеност привлачења дрвета за постојећу те пројектоване варијанте мреже примарних шумских путева добијена је методом тежишта површина. На овај начин је прво добијена геометријска средња удаљеност привлачења, те је примјеном фактора корекције привлачења дрвета на основу ње добијена стварна средња удаљеност привлачења. За трансформацију геометријске у стварну удаљеност привлачења коришћен је фактор корекције привлачења одређен за Козару-Мљечаницу према Петковићу и др. (2017). Овај фактор има нешто већу вриједност у односу на вриједности до којих су дошли Segebaden (1964), Abbeg (1978) и Lepoglavec (2014) што директно указује на специфичност рељефних прилика и услова за привлачење дрвета у Козари-Мљечаници.

Постојећом мрежом примарних шумских путева остварује се просјечна стварна средња удаљеност привлачења од 614 m. За разлику од максималне удаљености привлачења коју за скидере наводе Pulkki (1997) и Meignan et al. (2012), ова удаљеност привлачења је неколико пута већа, а при њој се остварују трошкови привлачења за 30% већи у односу на пројектоване трошкове у шумскопривредном подручју. Са друге стране, Styranivsky et al. (2011) сматрају да је у подручју украјинских Карпата економски прихватљива удаљеност привлачења скидером од 600 до 800 метара при примарној отворености од 11 m/ha за доњу и 16,7 до 18 m/ha за горњу границу

удаљености привлачења. То би значило да је већ постојећа мрежа примраних шумских путева у састојинама букве и јеле довољна. Међутим, опште привредне прилике у Републици Српској захтјевају калкулацију примарне отворености и средње удаљености привлачења које су својствене условима рада у шумарској производњи и на тржишту дрвним сортиментима.

За полагање варијанти мреже примарних шумских путева као подлога коришћена је карта приоритета подручја за отварање. Ова подручја су дефинисана на основу фактора попречног нагиба терена, удаљености од постојеће мреже примарних шумских путева, јединичног трошка привлачења, стварне средње удаљености привлачења, прираста и јединичног етата. На изабране факторе је примијењен поступак фазификације, те је сваком од наведених фактора додијељена једна од функција којом се дефинише припадност fuzzy скупу. У свим су случајевима коришћене функције FuzzySmall, FuzzyLarge или FuzzyLinear. Крајња је карта са дефинисаним подручјима за отварање добијена коришћењем ArcGISovog алата WeightedSum. Тежинским је преклапањем утицај сваког од наведених фактора изједначен, а вриједности добијене преклапањем се задржавају у интервалу од 0 до 1.

Међусобно поређење свих варијанти мреже примарних и секундарних шумских путева извршено је помоћу TOPSIS методе вишекритеријумске анализе. Ову методу је код планирања шумских путева користио још и Çalişkan (2017). Друге методе попут АНРа у наведеној проблематици имају много већу примјену (Coulter et al. 2003, Coulter et al. 2006, Abdi et al. 2009, Nayati et al. 2013a, Nayati et al. 2013b, Laschi et al. 2016). Три варијанте мреже примарних и двије варијанте мреже секундарних шумских путева формирају у међусобним комбинацијама укупно шест варијанти мреже или алтернатива које се међусобно упоређују на основу критеријума трошкова изградње и одржавања мреже, критеријума трошкова привлачења дрвета, критеријума отворености шумског простора и критеријума којим је представљена величина непродуктивних површина.

Трошкови изградње предложених варијанти представљају суму трошкова изградње мреже примарних и секундарних шумских путева који се у оквиру сваке варијанте налазе. Према шумскопривредној основи за ШПП Козарачко, трошкови изградње шумских камионских путева у Републици Српској у просјеку износе око 35.897 €/km,

те је ова вриједност узета као основа за обрачун трошкова изградње али само код категорије шумских путева са коловозом. Како се у свакој од предложених варијанти мреже налазе и прилазни шумски путеви код којих се коловоз не планира, трошкови њихове изградње ће бити у одређеној мјери мањи од наведене вриједности. Трошак изградње прилазних путева умањени су за вриједност трошкова изградње коловоза. За разлику од налаза Stückelbergera et al. (2006) и Kozara i dr. (2009), на основу главних пројеката шумских путева у шумскопривредном подручју Козарачком, просјечна цијена изградње коловоза на шумским путевима износи око 60%. Овакв однос између трошкова израде доњег и горњег строја се јавља из разлога релативно ниских трошкова израде доњег строја, а већи трошкови израде горњег строја узроковани већом дебелином коловоза.

Као просјечни трошкови одржавања узета је вриједност од 13.694 €/km до које је дошао Ретковић (2019) у привредној јединици Просара. Овај трошак одржавања у себи садржи трошкове редовног и инвестиционог одржавања, а одређен је коришћењем рентног фактора од 19,02 за период амортизације шумског пута од 50 година.

Трошкови изградње и одржавања тракторских влака одређени су на основу норматива грађевинске механизације која се користи за обављање радова изградње, одржавања и реконструкције шумских путева у Републици Српској. На основу ових норматива прихваћена норма времена за изградњу тракторских влака износи 0,0333 h/m<sup>3</sup>, док је за одржавање 0,0323 h/m<sup>3</sup> за булдозере TG 90 и TG 110. Уз прихваћену просјечну површину попречног профила од 1,5 m<sup>3</sup>/m' (Јеличић, 1983; Инвестициони програм ...,1975), те јединични трошак рада булдозера, за дужину нових тракторских влака у обје варијанте одређени су укупни трошкови изградње. Добијени трошкови износе 1,79 €/m'. Ови су трошкови блиски трошковима изградње тракторских влака од 1,40 €/m' (Соколовић и др. 2013). Са друге стране, Sokolović i dr. (2011) наводе да су трошкови изградње тракторских влака у ЈП „Битовинја“ Крешево 5,29 €/m' (10,31 €/m'). Ови трошкови су за 64% већи од трошкова изградње тракторских влака у ПЈ Козара-Мљечаница.

На основу наведене норме времена за одржавање, ови се трошкови тракторских влака крећу у просјеку 1,22 €/m'. Претпоставка је да се одржавање изводи на свим влакама у

обје варијанте мреже, а трошкови одржавања су обрачунати за период амортизације који је према Rebuli (1983) три опходњице.

За сваку од варијанти мреже шумских путева одређени су трошкови привлачења као други критеријум за њихово међусобно поређење. Претходно је свакој дефинисаној транспортној зони или састојини додијељена припадност условима рада према Јединственим нормама радова у шумарству (Соколац, 2002). Цијела површина састојина букве и јеле се налази у категорији услова рада 2 и 2/3 у односу 60:40%. Иако се бодовни интервал унутар којег су дефинисане класе услова рада креће од 15 до 55, све састојине се налазе у интервалу од 26 до 41 бода. У просторном смислу, подручје на којем се налазе састојине букве и јеле је јединствено, а његова релативно мала површина резултира хомогеношћу њених појединих дијелова према појединим факторима категоризације. Такав је случај са просјечним нагибом терена, врстом земљишта, надморском висином, те дозначеном запремином по јединици површине. Примјена ове категоризације услова рада код привлачења дрвета је предвиђена за цијело подручје Републике Српске, на чијој цијелој површини се услед супстински различитих услова рада може диференцирати већи број категорија. Међутим, код мањих подручја хетерогеност често није изражена на овако дефинисаном нивоу, због чега би у будућности требало размотрити израду нове категоризације или барем измјену у погледу одређених фактора или у оквиру њих дефинисаних интервала. За ове категорије су, према утврђеној просјечној запремини комада, одређене норме учинака за обје варијанте мреже тракторских влака којима су одређене средње удаљености привлачења витлом. Средње удаљености привлачења по влакама одређене су за сваку варијанту мреже примарних шумских путева.

Ниво покривености подручја мрежом примарних и секундарних шумских путева исказан је помоћу релативне отворености. С обзиром да се код сваке варијанте мреже дужина примарних шумских путева повећава, истовремено долази до повећања нивоа покривености површине за одабрану вриједност средње удаљености привлачења. Код мреже секундарних шумских путева ниво отворености одређен је за на основу максималне дужине ужета на витлу. Обје варијанте мреже секундарних шумских путева представљају модификацију постојеће која отвара састојине букве и јеле. То је истовремено и разлог зашто је код варијанте са дужином ужета на витлу од 60 m постигнут већи ниво релативне отворености, односно покривености површине

састојина. Постојећа секундарна мрежа је већ пројектована према овој дужини ужета, те је нове тракторске влаке у њу могуће једноставно уклопити, што није случај са варијантом код које је дужина ужета на витлу 40 m.

У случајевима у којима услови терена то омогућавају, растојање између тракторских влака код постојеће мреже је прилагођено дужини ужета на витлу. Када се ова дужина смањује, нове тракторске влаке је потребно уклопити између постојећих. На овај начин се мрежа оптерећује непотребним влакама јер се утицај сусједних тракторских влака преклапа. Поред тога, трошкови изградње се повећавају, а на шумски простор се трајно негативно утиче.

Са повећањем дужине примарних и секундарних шумских путева повећава се и површина која се изузима из производње. Примарни шумски путеви у зависности од варијанте мреже заузимају 1,5 до 2,3% површине шумског подручја. Мрежа секундарних шумских путева се налази у знатно већој дужини, те заузима 8,14% у првој варијанти мреже и 7,43% у другој варијанти мреже. У односу на налазе Јелиčićа (1983) и Риџмана (1995) удио површине на којој се налазе тракторске влаке је за од 33 до 60% већи. Овакав однос је резултат укупне дужине влака и ширине појаса који се при њиховој изградњи изузима из производње. Дужина влака је, међутим, под утицајем већег броја фактора директно зависних од карактеристика шумског подручја, начина газдовања и примијењених узгојних захвата, те је два шумска подручја из тог разлога тешко упоређивати.

Дефинисана су подручја према приоритету отварања новим путевима, а за полагање идејних траса је коришћен Dijkstra алгоритам најраћег пута. Овај алгоритам је интегрисан у ArcGIS програмском пакету, а за његово коришћење је потребно формирати мрежу чворова и веза између тих чворова. Ове везе, које у различитим варијантама повезују чворове, представљају могуће дионице будућих примарних и секундарних шумских путева. Dijkstra су алгоритам ради полагања мреже шумских путева на растерској или векторској подлози користили Tan (1999), Anderson и Nelson (2004), Stückelberger et al. (2006), Picard et al. (2006), Aruga et al. (2011), Son et al. (2014) и други.

Избор дефинисаних варијанти мреже примарних и секундарних шумских путева је извршен примјеном вишекритеријумске анализе. Овај се поступак избора варијанти



мреже шумских путева све више користи, а како је у савременим оквирима планирања мрежу шумских путева потребно оцјенити са више аспеката, као што су техничко-технолошки, економски или еколошки, овај ће се приступ наметнути као стандардни у поступку отварања шума.

Добијени резултат избора алтернатива показује да је најбоље рангирана алтернатива II. Ова алтернатива се састоји од варијанте I мреже примарних и варијанте II мреже секундарних шумских путева. Варијантом I мреже примарних шумских путева постигнута је отвореност од 17,23 m/ha, и у односу на остале варијанте у овом је случају остварена најмања примарна отвореност. Како се примарна отвореност повећава, тако варијанте добијају све нижи ранг у односу на изабране критеријуме оцјене. У погледу варијанти мреже секундарних шумских путева, све варијанте у којима је мрежа влака прилагођена мањој дужини ужета на витлу слабије су рангиране. Овај се резултат у основи подудара са налазима до којих су дошли Sokolović i dr. (2011), Pičman i dr. (2011), Ljubojević et al. (2018).

## 10. ЗАКЉУЧЦИ

- Анализа примарне и секундарне отворености проведена је у састојинама букве и јеле унутар привредне јединице Козара-Мљечаница. Унутар шумскопривредног подручја козарачког, састојине букве и јеле су највриједније. У односу на остале газдинске класе високих шума у привредној јединици, састојине букве и јеле имају највећу дрвну запремину и у њима се остварује највећи запремински прираст.
- У овим се састојинама према шумскопривредној основи предвиђа примјена скупинасто-пребирних сјеча. Дебљинска структура скупинасто-пребирних састојина одговара дебљинској структури пребирних састојина. Међутим, структуру ових састојина не карактерише стално опадајућа расподјела броја стабала карактеристична за пребирне шуме, већ она одговара разнодобним састојинама са израженим старосним групама. Овај облик криве расподјеле стабала по дебљини узрокован је провођењем неуредне пребирне сјече. Због овог разлога, са великом сигурношћу можемо да тврдимо да се у састојинама букве и јеле скупинасто-пребирне сјече не проводе.
- Анализом постојеће мреже примарних шумских путева утврђено је да је постојећа отвореност испод потребног нивоа. Нивоом постојеће отворености од  $13,28 \text{ m} \cdot \text{ha}^{-1}$  није могуће провођење интензивног газдовања шумама. Истовремено је овај ниво отворености неколико пута мањи од нивоа отворености у сусједним земљама. Средња удаљеност привлачења дрвета је код постојеће мреже шумских путева за око три пута већа од циљане. Уз мању отвореност у односу на анализирани састојине, добијени се резултати могу пресликати на цијелу привредну јединицу, те остале привредне јединице унутар шумског газдинства.
- Да би се остварили пројектовани трошкови привлачења дрвета од  $6,95 \text{ €/m}^3$  постојећу мрежу шумских путева је потребно продужити за 100%. С обзиром на постојећу отвореност, те величину и распоред неотворених подручја, у будућем отварању је потребно размотрити веће учешће прилазних шумских путева. Како је, због изостанка коловоза, њихова изградња за око 50% нижа у односу на категорију прилазних шумских путева, добијена најповољнија густина мреже може да се постигне за краће вријеме.
- Секундарно отварање састојина и пројектовање мреже тракторских влака врши се приликом планирања искоришћавања састојина. Постојећа мрежа тракторских

влака прилагођена је дужини ужета на витлу од 60 m и то је максимална удаљеност привлачења витлом предвиђена Јединственим нормама радова у шумарству (Соколац, 2002). Нове тракторске влаке са мањом дужином ужета на витлу је најчешће тешко уклопити у постојећу секундарну мрежу путева која је већ изграђена. Из тог разлога, мрежу секундарних шумских путева у будућности треба планирати у односу на максималну дужину ужета на витлу.

- Ниво постојеће апсолутне секундарне отворености са просјечном вриједношћу од  $100,56 \text{ m} \cdot \text{ha}^{-1}$  је у односу на смјернице поједних аутора за 1,5 до 2 пута мањи од потребног. Анализом секундарне релативне отворености утврђено је да је она у 38 од укупно 59 састојина испод нивоа од 80%, те спада у категорију једва добре, слабе или недовољне отворености. Површина која је отворена тракторским влакама стављена је у однос са цијелом површином састојине или одјела због чега је релативна отвореност у доброј мјери неповољна. У реалности је површина састојине на којој се граде тракторске влаке мања од укупне површине, а планирана мрежа је прилагођена просторном распореду дозначених стабала, односно сортимената које је у процесу искоришћавања потребно привлачити.
- Постојећа категоризација услова рада која се примјењује за одређивање норме учинка и трошкова прилачења дрвета у ЈП Шуме Републике Српске је показала одређене недостатке. У појединим случајевима, дефинисане вриједности интервала не изражавају у најбољој мјери утицај фактора на категорију услова рада. Нарочито је такав случај са фактором надморске висине и просјечног нагиба терена. Из тог је разлога постојећу категоризацију потребно модификовати, а дефинисане интервале потребно прилагодити мањим и хомогенијим подручјима.
- При отварању састојина букве и јеле вишекритеријумска анализа је коришћена два пута. Вишекритеријумски модел примијењен је за оцјену нивоа приоритета за отварање у комбинацији са fuzzy логиком. У односу на намјену шуме, ниво искоришћавања, те постављена технолошка ограничења могуће је дефинисати најважније критеријуме. У овој су фази коришћени следећи фактори: попречни нагиба терена, удаљеност од постојеће мреже камионских путева, просјечни јединични трошкови привлачења, стварна средња удаљеност привлачења, прираст састојина и јединични етат.

- Приказани поступак планирања мреже шумских путева припада нивоу тактичког планирања. Његовим оквиром су примијењене анализе карактеристичне за студије отварања шумских подручја употпуњене савременим ставовима те савременим поступцима који су дио ширег система за подршку у одлучивању.
- Класични начин полагања идејних траса у овом је случају замијењен савременим алгоритмима какав је Dijkstra алгоритам имплементиран у ArcGISове алате мрежне анализе. За разлику од класичне методе корака шестара којом је кретање идејне трасе ограничено само на изохипсе, примјеном је мрежног алгоритма полагање трасе између било које двије тачке у знатној мјери убрзано и поједностављено.
- Избор најбоље од предложених алтернатива извршен је на основу више изабраних критеријума. С обзиром да овај поступак омогућује оцјену алтернатива на основу међусобно супротстављених и разнородних критеријума какви су економски, еколошки или социјални, њега је у будућности потребно прихватити као стандардни поступак.
- У крајњем је резултату који предстваља ранг предложених алтернатива, у међусобном односу између двије алтернативе увијек неповољнија алтернатива која укључује у себе варијанту I мреже секундарних шумских путева. Овакав однос настаје усљед неповољнијег утицаја алтернатива са варијантом I секундарне мреже у случају свих критеријума осим код критеријума K2. Оваквом резултату дјелимично доприноси и релативно мали тежински коефицијент критеријума K2.
- Добијени резултат указује на то да се до повећања густине мреже примарних шумских путева у неком шумском подручју треба ићи до одређене мјере. За изабране је критеријуме најбоље рангирана алтернатива са најмањом густином мреже. Промјеном би броја критеријума оцјене, њихових тежина или примијењене методе одлучивања дошло до промјене у поретку алтернатива. Из тог је разлога за свако шумско подручје, а најприје за привредну јединицу, нарочито важан правилан избор критеријума, а затим и њихов међусобни однос у систему оцјене понуђених рјешења.

## 11. ЛИТЕРАТУРА

- Abdi, E., Majnounian, B., Darvishsefat, A., Mashayekhi, Z., Sessions, J. 2009. A GIS-MCE based model for forest road planning. *Journal of Forest Science*, 55 (4):171-176.
- Abegg B. (1978). Die Schätzung der optimalen Dichte von Waldstrassen in traktorfähigem Gelände. *Mitt. Der Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen*. Winterthur 54(6): 453–485.
- Agarski, B. 2014. Razvoj sistema za inteligentnu višekriterijumsku procjenu opterećenja životne sredine kod ocjenjivanja životnog ciklusa proizvoda i procesa. Doktorska disertacija. Univerzitet u Novom Sadu. Fakultet tehničkih nauka. Str.173.
- Akay, A. E., 2006. Minimizing Total Costs of Forest Roads with Computer-Aided Design Model. *Academy Proceedings in Engineering Sciences (SADHANA)*. 31(5):621-633.
- Akay, A. E., Aruga, K., Bettinger, P., Sessions, J., 2013. Using optimization techniques in designing forest roads and road networks. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*. Cilt: 15, Sayı: 1-2, p 49-62.
- Akay, A., E., Karas, I., R., Sessions, J., Yuksel, A., Bozali, N., Gundogan, R., 2004. Using High-Resolution Digital Elevation Model for Computer-Aided Forest Road Design. *Geo-Imagery Bridging Continents*, Istanbul, Turkey. The International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 6 p.
- Andersson, D. 2005. Approaches to Integrated Strategic/Tactical Forest Planning. Licentiate thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Umeå, p. 29.
- Anić, I. 2007. Utjecaj strukture i podmlađivanja na potrajnost šuma bukve i jele te šuma bukve nacionalnog parka Plitvička jezera. Završno izvješće. Sveučilište u Zagrebu Šumarski fakultet. Str. 62.
- Aruga, K., Sessions, J., Akay, A. E., Chung, W., 2005. Simultaneous Optimization of Horizontal and Vertical Alignments of Forest Roads Using Tabu Search. *International Journal of Forest Engineering*, 137-151.
- Babapour, R., Naghdi, R., Salehi, A., Ghajar, I., 2014. A Decision Support System for Allocation of Mountain Forest Roads Based on Ground Stability. *Arabian Journal for Science and Engineering* 39: 199-205.
- Bajrić, M., Pičman, D., Sokolović, Dž., Gurda, S. 2011. Prevođenje traktorskih vlakova uzdužnog nagiba do 12% u prilazne kamionske puteve. *Works of the Faculty of Forestry, University of Sarajevo*, No. 1: 85-100.

Baldini, S., Pollini, C. 1998. Interaction between network of services: forestry and wood harvesting systems. FAO proceedings of the seminar on environmentally sound forest roads and wood transport.

Bojanin, S. 1983. Faktori optimalne otvorenosti šuma kod sekundarnog otvaranja. *Mehanizacija šumarstva* 11-12, 8, Zagreb, str. 322-325.

Çalışkan, E., 2013. Planning of Forest Road Network and Analysis in Mountainous Terrain. *Life Science Journal* 10(2): 2456-2465.

Çalışkan, E. 2017. Planning of environmentally sound forest road route using GIS & S-MCDM. *Šumarski list*, 11-12: 583-591.

Choo, E. U., Schoner, B., Wedley, W. C. 1999. Interpretation of criteria weights in multicriteria decision making. *Computers & Industrial Engineering* 37, 527-541.

Chung, W. and J. Sessions. 2002. Optimization of Cable Logging Layout using a Heuristic Algorithm for Network Programming. In 2002 Proceedings of the Council of Forest Engineering, June 16-20, Auburn, AL. 4pp.

Chung, W., J. Sessions, and J. Holub. 2007. SlopeRunner 1.0: A program to evaluate the effectiveness of landing and road locations for cable logging. In Proceedings of the 13th Pacific Northwest Skyline Symposium, April 1-6, Corvallis, OR.

Chung, W., Sessions, J., 2001a. NETWORK 2001 – Transportation Planning Under Multiple Objectives. The International Mountain Logging and 11th Pacific Northwest Skyline Symposium, 194-200.

Chung, W., Sessions, J., 2001b. Designing a Forest Road Network using Heuristic Optimization Techniques. 2001 Council on Forest Engineering (COFE) Conference Proceedings: „Appalachian Hardwoods: Managing Change“, Snowshoe, July 15-18, 2001, p. 5.

Chung, W., Sessions, J., Heinemann, H. R., 2001. Optimization of Cable Harvesting Equipment Placement and Road Locations Using Digital Terrain Models. FAO/ECE/ILO workshop on new trends in wood harvestinh with cable systems for sustainable forest management in mountain forests, Ossiach, Austria, June 18-24, 7pp.

Coulter, E. D., Coakley, J., Sessions, J., 2006. The Analytic Hierarchi Process: A Tutorial for Use in Prioritizing Forest Road Investments to Minimize Environmental Effect. *International Journal of Forest Engineering*, Vol. 17, No. 2: 51-69.

Coulter, E. D., Sessions, J., Wing, M. G., 2003. An Exploration of the Analytic Hierarchy Process and its Potential for Use in Forest Engineering. Council on Forest Engineering (COFEE) Conference Proceedinsgs: „Forest Operations Among Competing Forest Uses“. Bar Harbor, September 7-10, 2003, pp. 5.

- Demir, M. 2007. Impact, management and functional planning criterion of forest road network system in Turkey. *Transportation Research Part A* 41, 56-68.
- Dietz, P., Löffler, H., Knigge, W. 1984. *Walderschließung, Eine Lehrbuch für Studium und Praxis unter besonderer Berücksichtigung des Waldwegebaus*. Verlag Paul Parcy, Hamburg und Berlin, p. 1-196.
- Dodgson, JS, Spackman, M, Pearman, A and Phillips, LD (2009) *Multi-criteria analysis: a manual*. Department for Communities and Local Government: London. 168 p. Dostupno na: <http://www.fao.org/3/X0622E/x0622e0w.htm>
- Dražić, S., Danilović M, Stojnić, D., Blagojević, V, Lučić, R. 2018. Openness of forests and forest land in the Bosnia and Herzegovina entity Republic of Srpska. *Pregledni članak. Šumarski list* 3-4: 183-195.
- Dueker, K. 1979. *Land Resource Information Systems: A Review of Fifteen Years Experience*, *Geoprocessing Vol. 1*, pp: 105-128.
- Đuka, A., Grigolato, S., Papa, I., Pentek, T., Poršinsky, T. 2017. Assessment of timber extractiopl distance and skid road network in steep karst terrain. *iForest Vol 10*: 886-894.
- Dulgheru, A. 2011. *Potential use of cable yarding systems in Romania*. Master thesis. Institute of Forest Engineering. University of Natoural Resources and Life Sciences Vienna. p. 60.
- Eastman, J.R. 2005. Multi-criteria evaluation and GIS. In: Longley, P., Goodchild, M.F., Maguire, D.J., Rhind, D.W. (Eds.), *Geographical Information Systems*. Wiley, New York, Toronto, pp. 493-502.
- Enache, A. 2016. *Multi-criteria efficiency gaps analysis of forest road networks and harvesting systems in the European mountains*. Doctoral dissertation. University for Natural Resources and Life Sciences, Vienna. Department of Forest and Soil Sciences. p. 110.
- Enache, a., Kühmaier, M., Stampfer, K., Ciobanu, V. D. 2013. *An Integrative Decision Support Tool for assessing Forest Road Options in a Mountain Region in Romania*. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 31(2013)1: 43-60.
- Ezzati, S., Sammani, K. M., Najafi, A., Hasangholipour, H. 2011. Evaluate and develop an existing forest road network base on environmental factors. *Forestry Ideas*, Vol. 17, No. 2 (42): 191-199.
- FAO, 1974. *Logging abd log transport in tropical high forests. A manual on production and costs*. FAO Forestry Development Paper. No. 18, Rome. p. 102.

FAO, 1998. A Manual for the Planning, Design and Construction of Forest Roads in Steep Terrain. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Dostupno na <http://www.fao.org/3/w8297e/w8297e00.htm#Contents>.

FAO, 2007. Guide to forest road engineering in mountainous terrain. Forest Harvesting and Engineering Working Paper 2. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. p. 100. Dostupno na: <http://www.fao.org/3/a1241e/a1241e00.pdf>.

Findeis, V. 2016. An Overview of Forest Management in Austria. Nova mehanizacija šumarstva 37: 69-75.

Firozan, A. M., Hashemi, S. A., Chai, M. M. F. 2010. Evaluation of forest road network planning according to environmental criteria. American-Eurasian Journal of Agricultural&Environmental Sciences, 9(1): 91-97.

Fülöp, J.: Introduction to Decision Making Methods. Working Paper 05-6, Laboratory of Operations Research and Decision Systems, Computer and Automation Institute, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, November 2005, 15 p.

Gerdes, J. W., Spero, E. 2013. A Compact Review of Multi-criteria Decision Analysis Uncertainty Techniques. Army Research Laboratory. ARL-TR-6340. 36 p.

Ghaffarian, M.R., Stampfer, K., Sessions, J. 2007. Optimum road spacing of forwarding operation: A case study in Southern Austria. Austro2007/FORMEC'07: Meeting the Needs of Tomorrows Forests – New Developments in Forest Engineering, October 7 – 11, 2007, Vienna and Heiligenkreuz – Austria.

Ghaffariyan, M. A., Sobhani, S., 2007. Optimization of an existing forest road network using Network 2000. Croatian Journal of Forest Engineering 28(2007)2, 185-193.

Ghaffariyan, M. R., Stampfer, K., Sessions, J., Durston, T., Kuehmaier, M., Kanzian, C. 2010. Road network optimization heuristic and linear programming. Journal of Forest Science 56(3): 137–145.

Ghaffariyan, M., R., Stampfer, K., Sessions, J., Durston, T., Kuehmaier, M., Kanzian, CH., 2010. Road network optimization using heuristic and linear programming. Journal of Forest Science, 56(3): 137-145.

Govedar Z., Krstić M., Keren S., Bjelanović I., 2011: State and silvicultural problems in uneven-aged forests of beech, fir and spruce in the Republic of Srpska. International Scientific Conference First Serbian Forestry Congress – Future with Forests. Congress Proceedings: Faculty of Forestry, Belgrade, Serbia, p. 12–23.

Grigolato, S., Mologni, O., Cavalli, R. 2017. GIS Application in Forest Operations and Road Network Planning: an Overview over the Last Two Decades. Croatian Journal of Forest Engineering 38(2): 175-186.



- Gruber, G., Scholz, J. 2005. GIS based Planning of Forest Road Networks. Conference Paper, p. 8. Dostupno na: [https://www.researchgate.net/publication/232826674\\_GIS\\_based\\_Planning\\_of\\_Forest\\_Road\\_Networks](https://www.researchgate.net/publication/232826674_GIS_based_Planning_of_Forest_Road_Networks)
- Hayati, E., Abdi, E., Majnounian, B., Makhdom, M. 2013b. Application of Sensitivity Analysis in Forest Roads Network Planning and Assessment. *Journal of Agricultural Science and Technology*, Vol. 15:791-792.
- Hayati, E., Majnounian, B., Abdi, E., Sessions, J., Makhdom, M. 2013a. An expert-based approach to forest road network planning by combining Delphi and spatial multi-criteria evaluation. *Environ Monit Assess* 185: 1767-1776.
- Heinimann, H. R. (1996). Opening-up planning taking into account environmental and social integrity. *The Seminar on Environmentally Sound Forest Roads and Wood Transport, Romania, Proceedings*, 62–69.
- Hodić, I., Jurušić, Z. 2011. Analiza primarne otvorenosti šuma kojima gospodare HŠ d.o.o. Zagreb kao podloga za kreiranje buduće politike izgradnje šumskih cesta. *Šumarski list* br. 9-10, 487-499.
- Hribernik, B., Potočnik, I. 2013. Forest Opening in Multipurpose Private Forest – Case Study. *Nova mehanizacija šumarstva* 34: 29-37.
- Hruza, P., Vyskot, I. 2010. Social-Recreation Evaluation of Forest Roads and their Suitability for Trails: Towards a Complex Approach. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 31(2010)1: 127-135.
- Huisman, O., de By, R. A. 2009. *Principles of Geographic Information Systems. An introductory textbook*. 4th edition, p. 540.
- Hwang, C.L.; Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. New York: Springer-Verlag.
- Imani, P., Najafi, A., Ghajar, I., 2012., Planning Forest Road Alignment Using a Shortest Path Algorithm. *Forest Engineering – Concern, Knowledge and Accountability in Today's Environment*. FORMEC, October 8-12, 2012, Dubrovnik (Cavtat), Croatia.
- Jablonský, J. 2014. MS Excel based software support tools for decision problems with multiple criteria. *Procedia Economics and Finance* 12: 251-258.
- Jablonský, J., Urban, II. 1998. MS Excel based system for multicriteria evaluation of alternative. (online) Pristupljeno 11.04.2019. godine. Dostupno na <http://www.fhi.sk/files/katedry/kove/ssov/VKOX/Jablonsky.pdf>
- Jeličić, V. 1977. Otvaranje sječina sekundarnom mrežom šumskih puteva u šumama bukve, jele i smrče. *Radovi Šumarskog fakulteta u Sarajevu*. Str. 65-97.

- Jeličić, V. 1983. Šumske ceste i putevi. SIZ – odgoja i usmjerenog obrazovanja šumarstva i drvne industrije SRH – Zagreb. Str. 1-192.
- Jeličić, V. 1985. Studija otvaranja odjela 70 i 71 u GJ Jadovnik-Drvar, dio. Sarajevo. Str. 31.
- Jeličić, V. 1988. Otvaranje šuma i savremeni transport drveta. Jugoslovenski poljoprivredno-šumarski centar, Služba šumske proizvodnje. Str. 63.
- Kalmeta, R. 1983. Nazivi brdo i brijeg u hipsoometrijskom sustavu nazivlja za uzvisine. Jezik 31, Zagreb.
- Kangas, A., Kangas, J., Kurttila, M., 2008. Decision Support for Forest Management. Managing Forest Ecosystems. Volume 16. Springer. 222 p.
- Kangas, J., Kangas, A. 2005. Multiple criteria decision support in forest management – the approach, methods applied, and experiences gained. Forest Ecology and Management 207, 133-143.
- Kozar, S., Sokolović, DŽ., Bajrić, M. 2009. Moderne kolovozne konstrukcije na šumskim kamionskim putevima. Radovi Šumarskog fakulteta u Sarajevu. Br. 2: 27-42.
- Krč, J., Beguš, J. 2013. Planning Forest Opening with Forest Roads. Croatian Journal of Forest Engineering 34(2): 217-228.
- Laschi, A., Neri, F., Montorselli, N. B., Marchi, E., 2016. A Methodological Approach Exploiting Modern Techniques for Forest Road Network Planning. Croatian Journal of Forest Engineering, 37(2): 319-331.
- Lepoglavec, K. 2014. Optimizacija primarne i sekundarne šumske transportne infrastrukture nagnutih terena. Doktorski rad. Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet. Str. 341.
- Liu, K., Sessions, J., 1993. Preliminary Planning of Road Systems Using Digital Terrain Models. Journal of Forest Engineering 4(1): 27-32.
- Ljubojević, D., Danilović, M., Marčeta, D., Petković, V. 2018. Winching Distance in Function of the Optimization of Skid Network. *South-east Eur for* 9 (2): 97-106. DOI: <https://doi.org/10.15177/seefor.18-14>.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., Rhind, D. W. 2005. Geographical Information System and Science. 2nd Edition. John Wiley & Sons, Ltd., p. 537.
- Lotfalian, M., Poorkia, A., Kooch, Y., Rafatnia, N. 2011b. Determination of correction coefficient of skidding distance according to existing road network in Lalis forest of Iran. International Journal of Natural and Engineering Science 5 (3): 9-11.

- Lotfalian, M., Zadeh, E. H., Hosseini, S. A. 2011a. Calculating the correction factor of skidding distance based on forest road network. *Journal of Forest Science*, 57 (11): 467-471.
- McKendry, J. E. and Eastman, J. R. 1991. Applications of GIS in Forestry: A Review. Dostupnosta: [https://www.researchgate.net/publication/237736333\\_Applications\\_of\\_GIS\\_in\\_Forestry\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/237736333_Applications_of_GIS_in_Forestry_A_Review).
- Meignan, D., Frayret, J.M., Pesant, G., Blouin, M. 2012. A heuristic approach to automated forest road location. *Canadian Journal of Forest Research* 42(12):2130-2141.
- Milićević, M., Župac, G. 2012a. Objektivni pristup određivanju težina kriterijuma, *Vojnotehnički glasnik*, 60 (1), str. 39-56, ISSN: 00428469.
- Milićević, M., Župac, G. 2012b. Subjektivni pristup određivanju težina kriterijuma, *Vojnotehnički glasnik*, 60 (2), str. 48-70, ISSN: 00428469.
- Milovanović, Z. N, Dumonjić-Milovanović, S. R. 2015. Algoritam postupka optimizacije izbora lokacije novih termoenergetskih postrojenja (TEP) i energetske efikasnosti. Naučno-stručni simpozijum Energetska efikasnost | ENEF 2015, Banja Luka, 25-26. septembar 2015. godine, str. 95-104.
- Munda, G., Nardo, M., 2005. Constructing consistent composite indicators: the issue of weights. Institute for the Protection and Security of the Citizen. Institute for the Protection and Security of the Citizen. 14 p.
- Naderialiyzadeh, N, Crove, K. A., 2018. The effect of the density of candidate roads on solutions in tactical forest planning. *Canadian Journal of Forest Research* 48: 679-688.
- Najafi, A., Richards, E. W., 2013. Designing a Forest Road Network Using Mixed Integer Programming. *Croatian Journal of Forest Engineering* 34(2013)1, 17-30.
- Najafi, A., Sobhani, H., Saeed, A., Makhdom, M., Mohajer, M. M., 2008. Planning and Assessment of Alternative Forest Road and Skidding Network. *Croatian Journal of Forest Engineering* 29(2008)1, 63-73.
- Nasiri, M., Lotfalian, M., 2012. Programming and forest road planning. *Journal of Ecology and Environmental Science*. Volume 3, Issue 2, 68-73.
- Novotny, V., Balenović, I., Medenjak, N., Štorga, D., Pošta, D. 2011. Istraživanje strukture starijih i starih sastojina obične bukve u gospodarskoj jedinici "Đurđevačka bilogora". *Šumarski list – Posebni broj*, 282-292.
- Novotny, V., Dubravac, T., Seletković, A., Indir, K. 2006. Istraživanje debljinske strukture sastojina hrasta lužnjaka i običnog graba (*Carpino Betuli-Quercetum roboris* Anić ex. Rauš 1969). *Radpvi Šumarskog instituta, Izvanredno izdanje* 9: 263–278, Jastrebarsko.

- Parsakhoo, A., Jajouzadeh, M., 2016. Determining an optimal path for forest road construction using Dijkstra's algorithm. *Journal of Forest Science*, 62 (6): 264-268.
- Parsakhoo, A., Mostafa, M. 2015. Road network analysis for timber transportation from a harvesting site to mills (Case study: Grogan county – Iran). *Journal of Forest Science* 61(12): 520-525.
- Pellegrini, M., Grigolato, S., Cavalli, R., 2013. Spatial Multi-Criteria Decision Process to Define Maintenance Priorities of Forest Road Network: an Application in the Italian Alpine Region. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 34 (1): 31-42.
- Pentek, T. 2012. Otvaranje šuma. Skripta. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Str. 283.
- Pentek, T., Đuka, A., papa, I., Damić, D., Poršinsky, T. 2016. Elaborat učinkovitosti primarne šumske prometne infrastrukture – alternativa studiji primarnog otvaranja ili samo prijelazno rješenje? *Šumarski list*, 9-10: 435-453.
- Pentek, T., Nevečerel, H., Dasović, K., Poršinsky, T., Šušnjar, M., Potočnik, I. 2010. Analiza sekundarne otvorenosti šuma gorskog područja kao podloga za odabir duljine uža vitla. *Šumarski list br. 5-6*: 241-248.
- Pentek, T., Nevečerel, H., Ecimović, T., Lepoglavec, K., Papa, I., Tomašić, Ž. 2014. Strategijsko planiranje šumskih prometnica u Republici Hrvatskoj – raščlamba postojećega stanja kao podloga za buduće aktivnosti. *Croatian Journal of Forest Engineering* 35(2014), 63-78.
- Pentek, T., Nevečerel, H., Poršinsky, T., Horvat, D., Šušnjar, M., Zečić, Ž. 2007. Quality planning of forest road network – precondition of building and maintenance cost rationalisation. *FORMEC'07: Meeting the Needs of Tomorrow's Forests – New Developments in Forest Engineering*, October 7 – 11, 2007, Vienna and Heiligenkreuz – Austria, p. 12.
- Pentek, T., Nevečerel, H., Poršinsky, T., Pičman, D., Lepoglavec, K., Potočnik, I. 2008. Methodology for Development of Secondary Forest Traffic Infrastructure Cadastre. *Croatian Journal of Forest Engineering* 29(2008)1, 75-83.
- Pentek, T., Pičman, D., Nevečerel, H. 2004. Srednja udaljenost privlačenja drva. *Šumarski list broj 9-10*: 545-558.
- Pentek, T., Pičman, D., Potočnik, I., Dvorščak, P., Nevečerel, H. 2005. Analysis of an existing forest road network. *Croatian Journal of Forest Engineering* 29(2005)1, 39-50.
- Petković, V, Potočnik, I. 2018. Planning Forest Road Network in Natural Forest Areas: a Case Study in Northern Bosnia and Herzegovina. *Croatian Journal of Forest Engineering* 39(2018)1, 45-56.

- Petković, V. 2019. Optimization of forest roads network in hilly and mountainous natural forests in northern Bosnia and Herzegovina. Doctoral dissertation. Biotechnical Faculty. University of Ljubljana. p. 175.
- Petković, V. 2019. Optimization of forest roads network in hilly and mountainous natural forests in northern Bosnia and Herzegovina. Doctoral dissertation. University of Ljubljana. Biotechnical faculty. p. 203.
- Petković, V., Marčeta, D., Ljubojević, D., Potočnik, I. 2017. Optimizacija izračunavanja faktora privlačenja drveta na području ŠG „Prijedor“ Prijedor. Glasnik Šumarskog fakulteta Univerziteta u Banjaluci 27, 41-50.
- Picard, N., Gazull, L., Freycon, V., 2006. Finding Optimal Routes for Harvesting Tree Access. International Journal of Forest Engineering. Vol. 17, No. 2, 35-50.
- Pičman, D. 2007. Šumske prometnice. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1-460.
- Pičman, D., Pentek, T., Nevečerel, H., Papa, I., Lepoglavec, K. 2011. Mogućnost primjene relativne otvorenosti pri sekundarnom otvaranju šuma nagnutih terena Republike Hrvatske. Croatian Journal of Forest Engineering 32(2011)1, 417-427.
- Poršinski, T. 2008. Predavanje iz predmeta Pridobivanje drva I. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. .ppt prezentacija.
- Potočnik, I., 2007: Skripta iz predmeta Gozdne prometnice. Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani, 221 str.
- Potočnik, I., Ljubojević, S., Petković, V., Marčeta, D. 2009. Primjena savremenih principa projektovanja šumskih komunikacija. Glasnik Šumarskog fakulteta Univerziteta u Banjoj Luci. Broj 10, str. 1-13.
- Potočnik, I., Ljubojević, S., Petković, V., Marčeta, D. 2012. Troškovi održavanja šumskih kamionskih puteva. Glasnik Šumarskog fakulteta Univerziteta u Banjoj Luci, br. 16, str. 77-89.
- Pulkky, R. 1997. Cut-to-length, tree-length or full tree harvesting? Cent. Woodlands, 1(3): 22-27, 37.
- Rebula, E., 1983: Optimalna gustoća vlaka. Mehanizacija šumarstva, Zagreb, 8 (3-4), str. 317-321.
- Rebula, E. 1981. Optimalna otvorenost šuma. Mehanizacija šumarstva, Zagreb, 3-4, str. 107-119.
- Rebula, E. 1986a. Vuča ili vožnja pri transportu šumskih sortimenata? Mehanizacija šumarstva 11, 1-2, str.3-20.

- Rebula, E. 1986b. Vuča ili vožnja pri transportu šumskih sortimenata? *Mehanizacija šumarstva* 11, 3-4, str.33-50.
- Rogers, L., Schiess, P., 2011. PEGGER & ROADVIEW – A New GIS Tool To Assist Engineers In Operations Planning. *The International Mountain Logging and 11th Pacific Northwest Skyline Symposium*, 177-182.
- Rowan, A. A. 1976. Forest road planning. Forestry commission. Booklet 43, p. 29.
- Saaty, T. L., 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Science*, Vol. 1, No. 1, 83-98.
- Samani, K. M., Hosseiny, S. A., Lotfalian, M., Najafi, A. 2010. Planning road network in mountain forests using GIS and Analytic Hierarchical Process (AHP). *Caspian Journal of Environmental Sciences*, Vol. 8, No. 2, pp. 151-162.
- Segebaden G. (1964). Studies of cross-country transport distances and road net extension. *Studia Forestalia Suecica* 18: 1–70.
- Sessions, J. 2007. Harvesting operations in the Tropics. *Tropical Forestry*. Springer-Verlag. 170 p.
- Shannon, C. E. 1948. A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*. Vol. 27, pp. 379–423, 623–656.
- Sokolović, Dž., Koljić, H., Halilović, V., Gurda, S., Bajrić, M., Musić J. 2011. Dužina užeta na vitlu kao faktor u optimizaciji mreže traktorskih puteva. *Naše šume* 9(22/23): 11-23.
- Sokolović, Dž., Musić, J., Gurda, S., Halilović, V., Bajrić, M. 2011. Sekundarna mreža šumskih puteva na strimi terenima. *Radovi Šumarskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu*. No. 1 (73-83).
- Sokolović, Dž., Pičman, D., Lojo, A., Gurda, S., Bajrić, M., Koljić, H. 2013. Određivanje optimalnog prostornog rasporeda mreže sekundarnih šumskih prometnica. *Šumarski list*, 1-2: 7-23.
- Sokolović, Dž., Pičman, D., Potočnik, I., Čabaravdić, A., Bajrić, M. 2008. Širina prosjeke za put na različitim nagibima terena. *Radovi Šumarskog fakulteta u Sarajevu*. No. 1, 111-121.
- Son, J. Y., Sakurai, R., Nitami, T., Sakai, H. 2014. Development of a method of forest road network planning using GIS that discriminates and avoids dip slopes. *Bulletin of University of Tokyo For*, 130, 1-13.
- Sonti, S. H. 2015. Application of Geographic Information System (GIS) in Forest Management. *Journal of Geographical and Natural Disasters*. Vol. 15, Issue 3: p. 5.

Srđević, B., Medeiros, Y. D. P., Faria, A. da S., Schaer, M. 2003. Objektivno vrednovanje kriterijuma performanse sistema akumulacije. *Vodoprivreda* 0350-0519, 35(2002) 203-204, p. 163-176.

Stefanović, B., Stojnić, D., Danilović, M. 2015. Multi-criteria forest road network planning in fire-prone environment: a case study in Serbia. *Journal of Environmental Planning and Management*. Volume 59, Issue 5: 911-926.

Stojanović, S. 2016. Razvoj modela za evaluaciju internet informacionih resursa primjenom metoda višekriterijumskog odlučivanja. Doktorska disertacija. Univerzitet Džon Nežbit, Beograd. Fakultet za menadžment, Zaječar. Str. 192.

Stückelberger, J., Heinemann, H. R., Chung, W., Uber, M. 2006a. Automatic road-network planning for multiple objectives. 2006 Council on Forest Engineering (COFE) Conference Proceedings: "Working Globally-Sharing Forest Engineering Challenges and Technologies Around the World" Coeur d' Alene, July 22-Aug 2, pp. 17.

Stückelberger, J., Heinemann, H., Burlet, E. 2006. Modeling spatial variability in the life-cycle costs of low-volume forest roads. *European Journal of Forest Research* 125(4): 377-390.

Styraniivski, O, Hromyak, Y., Styraniivski, Y. 2011. Argumentation of Optimum Road Density in the Forest of Ukraine. FORMEC 2011 - Pushing the boundaries with research and innovation in forest engineering, October 9-13, 2011, Graz, Austria, p. 6.

Šušnjar, M., Horvat, D., Pandur, Z., Zorić, M. 2011. Određivanje osovinskog opterećenja kamionskog i tegljačkog skupa za prijevoz drva. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 32(2011)1:279-388.

Talbot, B., Astrup, R. 2015. Forest Operations and Ecosystems Services in Norway – A Review of the Issues at Hand and the Opportunities Offered through New Technologies. *Journal of Green Engineering*. Vol. 4, 271-290.

Tan, J. 1999. Locating Forest Roads by a Spatial Heuristic Procedure Using Microcomputers. *Journal of Forest Engineering*, Vol. 10, No. 2, p. 91-100.

Tanjga, R., Tanjga, M. 2014. Teorija odlučivanja. Viša škola za ekonomiju i informatiku, Prijedor. Str. 320.

Tomašić, Ž. 2012. Razvoj tehnologije i tehničkih sredstava u pridobivanju drva s obzirom na posebnosti šuma i šumarstva u Republici Hrvatskoj. *Nova mehanizacija šumarstva* 33: 53-67.

Tuček, J., Pacola, E. 2005. Spatial Decision Support System for Laying Out Forest Roads on the Basis of Skidding Distances Modelling. *Meh. šumar.* 2001-2004, Special Issue of the *Journal Nova meh. šumar.*, Vol. 26(2005), Issue 2, 97-102.

Wang, P., Li, Y., Wang, Y.-H., Z, Z.-Q. 2015. A New Method Based on TOPSIS and Response Surface Method for MCDM Problems with Interval Numbers. *Mathematical Problems in Engineering*. Volume 2015, 11 pages.

Win, L. L. 2018. Finding optimal route information and network analysis for emergency service. *International Journal of Advance Research and Development*. Volume 3, Issue 8, p. 22-25.

Zardari, N. H., Ahmed, K., Shirazi, S.m., Yusop, Z. B. 2015. Weighting Methods and their Effect on Multi-Criteria Decision Making Model Outcomes in Water Resources Management. *Springer Briefs in Water Science and Technology*. IX, 166 p. ISBN: 978-3-319-12585-5.

Zdjelar, M., 1990. Uticaj metode gradnje traktorskih vlaka na proizvodnost i ekonomičnost rada, oštećivanje stabala i naprezanje radnika. *Mehanizacija šumarstva* 15(1-2): 3-26.

Zorić, M. 2015. Uporaba novih mjernih sustava za određivanje energijske i tehničke pogodnosti kamionskog prijevoza drva. *Doktorski rad*. Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet. Str. 174.

Бурлица, Ч., Говедар, З. 2017. Карактеристике шумског фонда различитих висинских структура рељефа Републике Српске. Унапређење пољопривреде, шумарства и водопривреде у крашким, брдским и планинским подручјима – рационално коришћење шума. Посебна издања ANUBiH CLXIX, OPMN 26, str. 147-162.

Говедар, З., 2010. Системи и начин газдовања у теорији и пракси гајења високих шума са природном обновом. Семинар на тему: “Системи газдовања у шумарству и њихова практична примјена“. Агенција за шуме Републике Српске. Стр. 26-38.

Даниловић, М., Љубојевић, Д. 2013. Отварање шума секундарном мрежом шумских путева. *Гласник Шумарског факултета Универзитета у Београду*, бр. 108, стр. 25-38.

Деретић, Н. 2012. Анализа и примена аналитичких метода вишекритеријумске анализе у пословном одлучивању. *Докторска дисертација*. Универзитет Сингидунум, Београд, стр. 184.

Дринић, П. (1979): Системи газдовања шумама (теоријске основе и практична примјена). Шумарски факултет Сарајево. 16 стр.

Закон о Јавним путевима. Службени гласник 89/13.

Инвестициони програм отварања и ксплоатације господарских јединица „Козара-Мљечаница“, „Пастирево“ и „Новске шуме“. ШИП Шипад Сарајево. ООУР „Козара“ Босанска Дубица, 1975.

Калкулације цијена коштања средстава рада по радном дану. ЈПШ Шуме Републике Српске а.д. Соколац, 2008.



Кнегињић, И. 2009. Еколошко-производне и структурне карактеристике мјешовитих шума букве и јеле на Козари. Магистарски рад. Шумарски факултет Универзитета у Београду. Стр. 162.

Љубојевић, Д. 2010. Отварање шума у привредној јединици Козара-Мљечаница. Мастер рад. Универзитет у Београду. Шумарски факултет. Стр. 121.

Љубојевић, С., 2010. Принципи отварања шума у зависности од услова терена и начина природне обнове. Семинар на тему: “Системи газдовања у шумарству и њихова практична примјена“. Агенција за шуме Републике Српске. Стр. 39-50.

Марковић, Љ., Марковић, Љ. М., Ковачевић, М., Јовановић, Ј. 2015. Вишекритеријумске методе за вредновање и рангирање варијантних решења инвестиционих пројеката. SYM-OP-IS 2015: XLII Simpozijum o operacionim istraživanjima, Vol. V(1), стр. 5.

Матић, В., 1969. Уређивање шума. I дио. Универзитет у Сарајеву. Стр. 245.

Матић, В., 1973. Просторно уређивање преборних мјешовитих шума јеле, смрче и букве на подручју Босне. Савез инжењера и техничара шумарства и индустрије за прераду дрвета Босне и Херцеговине. Сарајево, стр. 69.

Матић, В., Пинтарић, К., Дринић, П., 1969. Основне смјернице газдовања шумама у Босни и Херцеговини за период 1971-2005. године. Институт за шумарство у Сарајеву. Стр. 195.

Матић, В. 1959. Таксациони елементи преборних шума јеле, смрче и букве на подручју Босне. Радови Шумарског факултета и Института за шумарство и дрвну индустрију. Година IV. Број 4. Стр. 4-162.

Медаревић, М., 2006. Планирање газдовања шумама. Шумарски факултет Универзитета у Београду. Стр. 401.

Милин, Ж., 1974. Групимично газдовање – основне особине и примена у чистим високим буковим шумама. Друштво инжењера и техничара шумарства и индустрије за прераду дрвета Тимочке крајине, Зајечар, стр. 56.

Милин, Ж., 1988. Групимично газдовање – теоријске основе, особине и примена. Универзитет у Београду. Посебно издање Гласника Шумарског факултета. Стр. 229.

Посебни уређајни елаборат за господарску јединицу Козара Мљечаница – дио са важношћу од 01.01.1963. године. Предузеће за пројектовање у шумарству „Шумаплан“ Сарајево.

Поточник, И., Петковић, В., Марчета, Д., Љубојевић, Д. 2011. Генерални пројекат (Мастер план) отварања шума у Републици Српској. Универзитет у Бањој Луци, Шумарски факултет, стр. 1-74.

Правилник о изради пројекта за шумске комуникације. Службени гласник Републике Српске 60/09: стр. 3.

Правилник о пројектовању шумских камионских путева. ЈПШ Шуме Републике Српске, Бања Лука: 2002, стр. 26.

Правилник о пројектовању, изградњи, одржавању и реконструкцији тракторских путева и влака. ЈПШ Шуме Републике Српске, Бања Лука: 2017, стр 17.

Правилник о шумском реду. Службени гласник Републике Српске 50/17.

Стојановић, Љ., Крстић, М. 2008. Гајење шума I. Књига друга. Методи природног обнављања и неговања шума. Универзитет у Београду. Шумарски факултет. стр. 365.

Стратегија развоја шумарства Републике Српске (2011-2021). Министарство пољопривреде, шумарства и водопривреде Републике Српске, стр. 73.

Уређајни елаборат за привредну јединицу Козара-Мљечаница (важност 01.01.2019. – 31.12.2028. год.). ЈПШ Шуме Републике Српске а.д. Соколац. Истраживачко развојни и пројектни центар Бањалука.

Хот, И. 2014. Управљање израдом генералних пројеката у области инфраструктуре применом вишекритеријумске анализе. Докторска дисертација. Универзитет у Новом Саду. Факултет техничких наука. Стр. 164.

Шумскопривредна основа за Козарачко шумскопривредно подручје (важност 01.01.2009. – 31.12.2018. год.). ЈПШ Шуме Републике Српске а.д. Соколац. Истраживачко развојни и пројектни центар Бањалука.

Шумскопривредна основа за Козарачко шумскопривредно подручје (важност 01.01.2019. – 31.12.2028. год.). ЈПШ Шуме Републике Српске а.д. Соколац. Истраживачко развојни и пројектни центар Бањалука.

Шумскопривредна основа за шумскопривредно подручје „Козарачко“ (период важности од 01.01.1968. до 31.12.1973.). Предузеће за пројектовање у шумарству „Шумаплан“ Сарајево.

Шумскопривредна основа Козарачког шумскопривредног подручја (период важности од 01.01.1973. до 31.12.1982.). Пројектантско предузеће „Шумапројект“ Сарајево.

<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/path-distance.htm> (приступљено 11.01.2019. године)

<http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/fuzzy-membership.htm> (приступљено 28.01.2019. године)

<http://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/mapping/layer-properties/data-classification-methods.htm> (приступљено 30.01.2018. године)

<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/network-analyst/what-is-network-analyst.htm> (приступљено 31.01.2019. године)

<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/topo-to-raster.htm> (приступљено 11.02.2019. године)

## БИОГРАФИЈА

Дарко Љубојевић, мастер инжењер шумарства, је рођен 30.09.1981. године у Бихаћу, Босна и Херцеговина. Основну школу завршио је у Градишци, а средњу у Козарској Дубици. Шумарски факултет је завршио у Бањој Луци, гдје је 2006. године одбранио дипломски рад под називом „Primjena softwarea Roadeng u projektovanju šumskih puteva“. Мастер студије је завршио на Шумарском факултету Универзитета у Београду, на Модулу Коришћење шумских и ловних ресурса одбранивши мастер рад под називом „Отварање шума у привредној јединици Козара-Мљечаница“. Од 2006. године запослен је у Јавном предузећу шумарства „Шуме Републике Српске“, Шумско газдинство Приједор.

До сада је као аутор и коаутор објавио 8 научних радова од којих је 1 индексиран у часопису са SCI листе. Као члан истраживачког тима учествовао је 2 научно-истраживачка пројекта у току 2011. године.

## ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

Име и презиме аутора: Дарко Љубојевић

Број индекса: 17/2014

### Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

**Планирање развоја мреже шумских путева у мјешовитим шумама букве и јеле примјеном вишекритеријумске анализе**

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени;
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

**Потпис аутора**

у Београду, 08.06.2019.

---

**ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ  
ДОКТОРСКОГ РАДА**

Име и презиме аутора Дарко Љубојевић  
Број индекса 17/2014  
Студијски програм Шумарство  
Наслов рада **Планирање развоја мреже шумских путева у мјешовитим шумама букве и јеле примјеном вишекритеријумске анализе**

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањења у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду.**

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и мјесто рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

**Потпис аутора**

у Београду, 08.06.2019.

---

## ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

**Планирање развоја мреже шумских путева у мјешовитим шумама букве и јеле примјеном вишекритеријумске анализе**

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.  
Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

**Потпис аутора**

У Београду, 08.06.2019.

---

1. Ауторство. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
2. Ауторство – некомерцијално. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
5. Ауторство – без прерада. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
6. Ауторство – делити под истим условима. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.