



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ  
ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА

Владимир Вукашиновић

**МЕТОДОЛОГИЈА ДУГОРОЧНОГ ПЛАНИРАЊА  
КОРИШЋЕЊА ПОТЕНЦИЈАЛА БИОМАСЕ**

- Докторска дисертација -

Крагујевац, 2017. година

<b><i>I. Аутор</i></b>	
Име и презиме:	<b>Владимир Вукашиновић</b>
Датум и место рођења:	10.09.1986. Ивањица
Садашње запослење	Истраживач-сарадник, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу
<b><i>II. Докторска дисертација</i></b>	
Наслов:	<b>МЕТОДОЛОГИЈА ДУГОРОЧНОГ ПЛАНИРАЊА КОРИШЋЕЊА ПОТЕНЦИЈАЛА БИОМАСЕ</b>
Број страница:	162
Број слика:	70
Број библиографских података:	120
Установа и место где је рад израђен:	Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, Крагујевац
Научна област (УДК):	536.7:58.036
Ментор:	<b>Др Душан Гордић</b> , редовни професор, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
<b><i>III. Оцена и одбрана</i></b>	
Датум пријаве теме:	28.05.2014.
Број одлуке и датум прихватања теме докторске дисертације:	01-1/3375-10 од 23.10.2014. године
Комисија за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата:	<b>Др Душан Гордић</b> , ред. проф., Факултет инжењерских наука у Крагујевцу
	<b>Др Милун Бабић</b> , ред. проф., Факултет инжењерских наука у Крагујевцу
	<b>Др Небојша Јовичић</b> , ред. проф., Факултет инжењерских наука у Крагујевцу
	<b>Др Добрица Миловановић</b> , ред. проф., Факултет инжењерских наука у Крагујевцу
	<b>Др Милан Деспотовић</b> , ред. проф., Факултет инжењерских наука у Крагујевцу
	<b>Др Марија Живковић</b> , доцент, Рударско-геолошки факултет, Београд
Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације:	<b>Др Добрица Миловановић</b> , ред. проф., Факултет инжењерских наука у Крагујевцу - <b>председник комисије</b>
	<b>Др Небојша Јовичић</b> , ред. проф., Факултет инжењерских наука у Крагујевцу
	<b>Др Марија Живковић</b> , ванр. проф., Рударско-геолошки факултет, Београд
	<b>Др Милан Деспотовић</b> , ред. проф., Факултет инжењерских наука у Крагујевцу
	<b>Др Вања Шуштершич</b> , ред. проф., Факултет инжењерских наука у Крагујевцу
Датум одбране дисертације:	

*Вањи,  
Бојани,  
родитељима,  
сестри*

## ЗАХВАЛНИЦА

Ова докторска дисертација настала је као резултат дела истраживања обављеног за потребе пројекта *„Истраживање когенерационих потенцијала у комуналним и индустријским енерганама Републике Србије и могућности за ревитализацију постојећих и градњу нових когенерационих постројења“*, у оквиру Програма интегралних и интердисциплинарних истраживања, финансираног од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Велику захвалност дугујем ментору проф. др Душану Гордићу на пруженој, огромној и несебичној, стручној помоћи и подршци у току реализације ове дисертације, али и током мог целокупног школовања на Катедри за енергетику и процесну технику.

Захваљујем се проф. др Марији Живковић на одвојеном времену, уложеном труду и сугестијама које су значајно унапредиле текст дисертације.

Такође се захваљујем и Александру Радоњићу, Момчилу Митровићу (Општинска управа Ивањица) и Ивану Микарићу (ЈП „Србијашуме“ - ШГ „Голија“) на помоћи у прибављању података, реализацији интервјуа и организацији *backcasting* радионице у оквиру спроведене студије случаја. Захваљујем се и својим суграђанима који су учествовали у спровођењу интервјуа и радионице.

Значајну подршку током рада на дисертацији, која се огледала, пре свега, у високом нивоу колегијалности и веома доброј радној атмосфери, али и стручној помоћи, пружиле су ми колеге Дубравка, Давор, Горан и Младен, на чему им се веома захваљујем.

Посебно се захваљујем својим родитељима Драги и Јордану и сестри Невени, на безграничној подршци, а нарочито супрузи Бојани и ћерци Вањи на указаној љубави, пажњи и стрпљењу, без којих ова дисертација не би била реализована.

Крагујевац 2017. године

Владимир Вукашиновић



## РЕЗИМЕ

Експлоатацијом шумских ресурса, генерише се значајна количина шумских остатака који би се могли користити у енергетске сврхе. Поред тога значајна је и количина дрвних остатака која остаје у индустрији прераде дрвета, која се такође може користити у енергетске сврхе. Међутим, често слабо развијена мрежа прикупљања, транспорта и припреме дрвне биомасе, недовољно развијена свест корисника о енергетском значају дрвне биомасе и недостатак институционалне подршке довеле су до тога да је значајна количина неискоришћена. Како би се унапредило његово коришћење и створили почетни услови за искоришћење што већег дела потенцијала, потребно је дрвну биомасу користити на енергетски, економски и еколошки оптималан начин. Да би се то остварило, неопходно је детаљно планирање и управљање шумским ресурсима и постројењима за валоризацију биомасе.

Основни циљ докторске дисертације је дефинисање методологије чијом се применом могу развити дугорочни сценарији максимизације коришћења потенцијала дрвне биомасе за енергетске потребе. У дисертацији је развијена нова методологија која се заснива на интегралном коришћењу математичке оптимизације и *backcasting* приступа. Оригинални модел математичке оптимизације, заснован на мешовитом целобројном нелинеарном програмирању, искоришћен је за разматрање и добијање техно-економских параметара постројења за валоризацију биомасе. Како се при планирању коришћења биомасе у енергетске сврхе, поред техно-економских параметара, морају узети у обзир и еколошке и социјалне компоненте, уз математичку оптимизацију интегрисан је и *backcasting* метод. У оквиру предложене методологије, математичка оптимизација и *backcasting* метод се налазе у интеракцији, што значи да резултати примене једног метода представљају улаз у други и обратно.

Применом методологије на студију случаја дугорочног унапређења и максимизације коришћења шумске биомасе на територији једне општине у Србији, према четири сценарија и три функције циља, генерисано је више решења која могу допринети унапређењу или максимизовању искоришћења расположивог потенцијала шумских ресурса. Сва генерисана решења би допринела унапређењу искоришћења потенцијала шумских остатака уз задовољење потреба разматраног конзума и дефинисаних еколошких и економских критеријума.

## *ABSTRACT*

Significant amount of forest residues which could be used for energy purposes are generated by exploitation of forest resources. In addition, there are significant quantities of wood waste generated in the wood processing industry. These wood residues can also be used for energy purposes. However, often undeveloped network for harvesting, transportation and preparation of biomass, insufficient user awareness related to importance of biomass and the lack of institutional support, are the main reasons for significant amount of unused biomass. In order to improve the wood biomass utilization and create optimally initial conditions for the significant utilization of biomass potential, it is necessary to use wood in an energetically, environmentally and economically optimal way. This requires detailed planning and management of forest resources and biomass conversion plants.

The goal of the dissertation is defining methodology for developing long-term scenarios for maximizing utilization of biomass potential for energy purposes. Therefore, new methodology is developed in dissertation based on integrated application of mathematical optimization and backcasting approach. Original and novel mixed-integer nonlinear programming model is developed and applied for consideration and obtaining the techno-economic parameters of biomass valorisation plants. In addition to the techno-economic parameters, environmental and social components must be taken into account in biomass utilization planning process. For this purposes, backcasting approach is integrated with mathematical optimization. In the developed methodology, the interaction between mathematical optimization and backcasting exists. It means that outputs from one method are inputs to another and vice versa.

The methodology has been applied and tested on case study of long-term improvement and maximization of utilisation of forest residues at one municipality in Serbia. Several solutions have been generated according to four scenarios and three objective functions. Generated solutions can contribute to improvement of utilization of forest residues with satisfying considered heat demand, ecological and economic criteria.

## САДРЖАЈ

САДРЖАЈ.....	I
СПИСАК ИЛУСТРАЦИЈА.....	V
СПИСАК ТАБЕЛА.....	VII
СПИСАК КОРИШЋЕНИХ СКРАЋЕНИЦА.....	VIII
СПИСАК КОРИШЋЕНИХ ОЗНАКА.....	IX
1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА.....	1
1.1. Увод.....	1
1.2. Основне претпоставке.....	2
1.3. Допринос дисертације.....	2
1.4. Организациона структура дисертације.....	3
2. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА.....	5
3. ТЕОРИЈСКА РАЗМАРАЊА.....	11
3.1. Енергија и енергенти.....	11
3.1.1. Потрошња примарне енергије у свету.....	11
3.1.2. Финална потрошња енергије у свету.....	13
3.2. Енергија у Србији.....	14
3.2.1. Потрошња примарне енергије у Србији.....	14
3.2.2. Финална потрошња енергије у Србији.....	15
3.3. Биомаса.....	17
3.3.1. Дрвна биомаса - основне дефиниције и јединице мере.....	19
Запремина и густина.....	19
3.3.2. Својства дрвне биомасе.....	20
Хемијски састав, топлотне моћи и садржај пепела.....	20
Садржај влаге.....	22
3.3.3. Експлоатација шумских ресурса.....	23
Сеча и прикупљање шумске биомасе.....	23
Транспорт од локације ресурса до складишта или локације финалног коришћења.....	24
Уситњавање дрвне биомасе - добијање сечке.....	24
Складиштење.....	24
3.3.4. Процеси за конверзију енергије биомасе.....	25
Термохемијски процеси.....	25
Биохемијски процеси.....	26
3.3.5. Технологије за конверзију дрвне биомасе термохемијским процесима.....	26
Сагоревање дрвне биомасе.....	26
Гасификација дрвне биомасе.....	29
3.3.6. Постројења за конверзију (трансформацију) биомасе.....	31
Топлане/котларнице на дрвну биомасу.....	31
Електране и когенерациона постројења на дрвну биомасу.....	31
Производња пелета.....	36

3.4.	Математичка оптимизација .....	37
3.4.1.	Линеарно програмирање ( <i>LP</i> ) .....	37
3.4.2.	Мешовито целобројно линеарно програмирање ( <i>MILP</i> ) .....	39
3.4.3.	Мешовито целобројно нелинеарно програмирање ( <i>MINLP</i> ).....	40
3.5.	Backcasting.....	41
3.5.1.	Партиципативни <i>backcasting</i> .....	44
3.5.2.	Развијене <i>backcasting</i> методологије.....	45
4.	МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ ОПТИМИЗАЦИЈЕ.....	49
4.1.	Економски параметри .....	50
4.2.	Кључне променљиве .....	51
4.3.	Променљиве које описују постројења .....	52
4.4.	Инвестициони трошкови.....	54
4.5.	Приходи постројења.....	54
4.6.	Трошкови биомасе на примарном складишту.....	55
4.7.	Трошкови транспорта .....	55
4.8.	Трошкови постројења.....	56
4.9.	Ограничења модела .....	56
4.10.	Одабир функције циља и ограничења .....	57
4.11.	Решавање модела.....	58
5.	ДЕФИНИСАЊЕ МЕТОДОЛОГИЈЕ .....	59
5.1.	Циљ .....	59
5.2.	Анализа потенцијала и коришћења биомасе.....	60
5.2.1.	Дефинисање просторних ограничења.....	60
5.2.2.	Дефинисање врсте биомасе .....	61
5.2.3.	Мапирање расположивог потенцијала.....	61
5.2.4.	Мапирање потенцијалних локација постројења.....	63
5.2.5.	Формирање базе улазних података.....	63
5.3.	Дефинисање оптималне количине биомасе која се може користити у тренутним условима.....	64
5.3.2.	Одређивање локација на којима је могуће користити биомасу у постојећим постројењима.....	64
5.3.3.	Одређивање количине биомасе која се може користити при тренутним условима и локације са којих се прикупља потребна биомаса.....	64
5.4.	Идентификација препрека за максимално искоришћење потенцијала у тренутним условима.....	66
	Идентификација и укључивање заинтересованих страна.....	66
	Интервјуисање.....	67
5.5.	Идентификација критеријума и покретача и препрека за дугорочну максимизацију искоришћења потенцијала и дефинисање жељеног стања .....	68
5.6.	Генерисање и анализа решења која могу допринети максимизацији искоришћења потенцијала.....	70
5.6.1.	Анализа дефинисаних критеријума и инкорпорација у оптимизациони модел у виду додатних ограничења.....	70
5.6.2.	Анализа жељеног система и инкорпорација у оптимизациони модел у виду додатних параметара.....	71

5.6.3.	Генерисање потенцијалних решења према више функција циља и њихова анализа.....	71
5.7.	Развој дугорочних сценарија.....	72
5.7.1.	Анализа покретача и препрека и идентификација кључних неизвесности.....	72
5.7.2.	Анализа предложених решења према кључним неизвесностима.....	73
5.7.3.	Дефинисање путање и неопходних промена.....	73
6.	ПРИМЕНА МЕТОДОЛОГИЈЕ НА СТУДИЈИ СЛУЧАЈА.....	75
6.1.	Анализа потенцијала и коришћења.....	75
6.1.1.	Потенцијал шумских остатака на територији општине Ивањица и њихово мапирање.....	76
6.1.2.	Анализа коришћења и мапирање потенцијалних локација постројења за валоризацију шумских остатака.....	78
6.2.	Могућност коришћења биомасе у тренутним условима.....	83
6.3.	Препреке за максимално искоришћене потенцијала у тренутним условима.....	83
	Идентификација и позивање заинтересованих страна.....	83
	Спровођење интервјуа и анализа резултата.....	84
6.4.	Критеријуми и покретачи и препреке дугорочној максимизацији искоришћења потенцијала и дефинисање жељеног стања.....	86
6.5.	Решења која могу допринети максимизацији искоришћења потенцијала.....	88
6.5.1.	Анализа критеријума и инкорпорација у математички модел.....	88
6.5.2.	Анализа жељеног система и инкорпорација у математички модел.....	89
6.5.3.	Генерисање решења према више функција циља и њихова анализа.....	89
	Сценарио S1.....	91
	Сценарио S2.....	91
	Сценарио S3.....	92
	Сценарио S4.....	93
	Сценарији S11, S12, S13.....	94
6.5.4.	Анализа резултата.....	95
	Максимизација NPVQ.....	95
	Максимизација NPV.....	97
	Максимизација Y.....	100
6.6.	Дугорочни сценарио.....	102
6.6.2.	Путања и неопходне промене.....	104
	Културолошке промене.....	104
	Структурне промене.....	105
	Технолошке промене.....	106
7.	АНАЛИЗА ОСЕТЉИВОСТИ.....	108
7.1.1.	Промене у повлашћеној цени електричне енергије.....	108
7.1.2.	Промена у количини ресурса.....	109
7.1.3.	Промена цене шумских остатака.....	112
7.1.4.	Промене у топлотним захтевима стамбеног сектора.....	113

8. ЗАКЉУЧАК.....	116
<i>ЛИТЕРАТУРА</i> .....	122
ПРИЛОГ 1.....	130
ПРИЛОГ 2.....	142
ПРИЛОГ 3.....	147
ПРИЛОГ 4.....	150
S1_NPVQ.....	150
S2 NPVQ.....	151
S3 NPVQ.....	152
S4 NPVQ.....	153
S1 NPV и S1 Y.....	155
S2 NPV и S2 Y.....	156
S3 NPV.....	157
S4 NPV и S4 Y.....	159
S3 Y.....	161

## СПИСАК ИЛУСТРАЦИЈА

Слика 3.1.	Потрошња примарне енергије у свету [Mtoe] .....	12
Слика 3.2.	Удео енергената у укупном снабдевању примарном енергијом 2014.....	12
Слика 3.3.	Структура потрошње финалне енергије на глобалном нивоу.....	13
Слика 3.4.	Укупна финална потрошња енергије по секторима.....	13
Слика 3.5.	Структура потрошње примарне енергије у Србији за 2015. годину .....	14
Слика 3.6.	Расположива примарна енергија за 2015. годину .....	14
Слика 3.7.	Финална потрошња природног гаса по секторима за 2015. год. ....	15
Слика 3.8.	Финална потрошња нафте и нафтних деривата по секторима за 2015. год.....	15
Слика 3.9.	Финална потрошња угља по секторима за 2015. год.....	16
Слика 3.10.	Финална потрошња огревног дрвета по секторима за 2015. год.....	16
Слика 3.11.	Финална потрошња електричне енергије по секторима за 2015. год.....	16
Слика 3.12.	Збирна потрошња финалне енергије по секторима за 2015. год. ....	17
Слика 3.13.	Зависност доње топлотне моћи од садржаја влаге дрвета букве и смреке/јеле.....	23
Слика 3.14.	Котао код кога се бимаса доводи са доње стране .....	27
Слика 3.15.	Котао код кога се биомаса доводи са горње стране решетке .....	28
Слика 3.16.	Шематски приказ котлова за сагоревање у флуидизованом слоју.....	28
Слика 3.17.	Шематски приказ гасификатора у флуидизованом слоју.....	29
Слика 3.18.	Шематски приказ гасификатора у флуидизованом слоју.....	30
Слика 3.19.	Шематски приказ топлане .....	31
Слика 3.20.	Шематски приказ постројења са парном турбином.....	33
Слика 3.21.	Шематски приказ постројења заснованог на ОРЦ.....	33
Слика 3.22.	Шематски приказ постројења заснованог на Стирлинговом мотору .....	34
Слика 3.23.	Шематски приказ постројења заснованог на гасној турбини .....	34
Слика 3.24.	Шематски приказ постројења заснованог на комбинованом циклусу .....	35
Слика 3.25.	Шематски приказ постројења заснованог на мотору са унутрашњим сагоревањем .....	35
Слика 3.26.	Шема постројења за производњу пелета.....	36
Слика 3.27.	Три класе сценарија.....	42
Слика 3.28.	<i>Backcasting</i> приказ.....	43
Слика 3.29.	Прва <i>backcasting</i> методологија.....	44
Слика 3.30.	Могуће заинтересоване стране .....	44
Слика 5.1.	Шема предложене методологије за израду дугорочних сценарија коришћења потенцијала биомасе.....	59
Слика 5.2.	Анализа потенцијала и коришћења биомасе .....	60
Слика 5.3.	Организациона подела ЈП Србијашуме .....	61
Слика 5.4.	Начин приказа одељења на којима се врши сеча.....	62
Слика 5.5.	Поступак одређивање оптималне количине биомасе која се може користити у тренутним условима .....	64
Слика 5.6.	Дијаграм могућност утицаја-интерес за анализу заинтересованих страна.....	67
Слика 5.7.	Поступак генерисања и анализе решења .....	70
Слика 5.8.	Фазе развоја дугорочних сценарија .....	72
Слика 5.9.	Анализа покретача и препрека.....	72
Слика 5.10.	Анализа сценарија према кључним неизвесностима .....	73
Слика 5.11.	Временски распоред промена и активности .....	74
Слика 6.1.	Положај Општине Ивањица .....	75
Слика 6.2.	Потенцијалне локације примарних складишта .....	77
Слика 6.3.	Домаћинства у градском у руралном подручју .....	78
Слика 6.4.	Расподела коришћења горива по становима.....	78
Слика 6.5.	Удео станова са и без инсталација централног/етажног грејања .....	79

Слика 6.6.	Складиштење огревног дрвета на јавним површинама .....	79
Слика 6.7.	Стамбени сектор у Ивањици према години изградње.....	80
Слика 6.8.	Потенцијалне локације постројења за валоризацију биомасе.....	82
Слика 6.9.	Приказ потенцијално груписаних јавних објеката .....	92
Слика 6.10.	Приказ локација стамбених зграда у околини потенцијалних локација постројења.....	93
Слика 6.11.	Приказ локација стамбених зграда у околини потенцијалних локација постројења.....	94
Слика 6.12.	Економски параметри решења добијених решавањем модела рема функцији циља максимизације $NPVQ$ .....	96
Слика 6.13.	Дијаграм тока новца – за различите сценарије према функцији циља максимизација $NPVQ$ .....	97
Слика 6.14.	Економски параметри решења добијених решавањем модела рема функцији циља максимизације $NPV$ .....	99
Слика 6.15.	Дијаграм тока новца – за различите сценарије према функцији циљ максимизација $NPV$ .....	99
Слика 6.16.	Економски параметри решења добијених решавањем модела према функцији циља максимизације $Y$ .....	101
Слика 6.17.	Дијаграм тока новца – за различите сценарије према функцији циљ максимизације $Y$ .....	101
Слика 6.18.	Backcasting радионица .....	102
Слика 6.19.	Идентификоване кључне неизвесности .....	103
Слика 6.20.	Одрживост решења у односу на кључне неизвесности.....	103
Слика 6.21.	Илустративни приказ дефинисаних промена .....	107
Слика 7.1.	Утицај промене повлашћене цене електричне енергије на $NPVQ$ .....	108
Слика 7.2.	Утицај повлашћене цене електричне енергије на $ANP$ и $NPV$ .....	109
Слика 7.3.	Утицај промене количине ресурса на вредности $NPVQ$ .....	110
Слика 7.4.	Утицај промене количине ресурса на вредности $NPV$ и $ANP$ .....	110
Слика 7.5.	Утицај промене цене шумских остатака на вредности $NPVQ$ .....	112
Слика 7.6.	Утицај промене цене ресурса на $NPV$ и $ANP$ .....	112
Слика 7.7.	Утицај промене топлотних захтева стамбеног сектора на вредности $NPVQ$ и $Y$ .....	113
Слика 7.8.	Утицај промене топлотних захтева стамбеног сектора на вредности $NPV$ и $ANP$ .....	114



## СПИСАК ТАБЕЛА

Табела 3.1	Одређивање количине пољопривредне биомасе у односу на врсту ратарске културе .....	18
Табела 3.2	Јединице за приказивање запремине биомасе и начин њихове конверзије.....	19
Табела 3.3	Густина дрвета при влажности од $M=13\%$ .....	20
Табела 3.4	Насипна густина у зависности од облика и садржаја влаге $M$ .....	20
Табела 3.5	Хемијски састав појединих врста шумске биомасе и остатака ратарске производње.....	21
Табела 3.6	Топлотне моћи и садржај пепела шумске биомасе и остатака ратарске производње (сува маса).....	21
Табела 3.7	Густина и насипна густина преовлађујућих врста дрвета у зависности од садржаја влаге .....	22
Табела 3.8	Комерцијално доступне когенерационе технологије .....	32
Табела 3.9	Параметри којима се описује квалитет дрвног пелета .....	37
Табела 3.10	Развијени <i>Backcasting</i> приступи .....	46
Табела 5.1	Пример прикупљених података .....	62
Табела 6.1	Годишњи обим сече (просечно 2011-2014).....	76
Табела 6.2	Доступне количине шумске биомасе .....	77
Табела 6.3	Карактеристике јавних објеката.....	81
Табела 6.4	Заинтересоване стране укључене у процес.....	84
Табела 6.5	Дефинисани критеријуми и њихове вредности .....	87
Табела 6.6	Параметри који се односе на потенцијална примарна складишта и постојења.....	91
Табела 6.7	Потенцијалне локације и њихови захтеви за топлотом (сценарији S1).....	91
Табела 6.8	Потенцијалне локације и њихови захтеви за топлотом (сценарији S2).....	92
Табела 6.9	Потенцијалне локације и њихови захтеви за топлотом (сценарији S3).....	93
Табела 6.10	Потенцијалне локације и њихови захтеви за топлотом (сценарији S4).....	94
Табела 6.11	Карактеристике оптималних решења сценарија према функцији циља $\max NPVQ$ ....	96
Табела 6.12	Карактеристике оптималних решења сценарија према функцији циља $\max NPV$ .....	98
Табела 6.13	Карактеристике оптималних решења сценарија према функцији циља $\max Y$ .....	100
Табела 7.1	Промена технички параметара решења, генерисаних према функцији циља максимизације $NPV$ , са променом количине доступних ресурса.....	111
Табела 7.2	Промена технички параметара решења, генерисаних према функцији циља максимизације $Y$ , са променом количине доступних ресурса.....	111
Табела 7.3	Промена технички параметара решења, генерисаних према функцији циља максимизације $NPVQ$ , са променом захтева стамбеног сектора.....	114
Табела 7.4	Промена технички параметара решења, генерисаних према функцији циља максимизације $NPV$ и $Y$ , са променом захтева стамбеног сектора.....	115

## СПИСАК КОРИШЋЕНИХ СКРАЋЕНИЦА

<i>OIE</i>	обновљиви извори енергије
<i>CO<sub>2</sub></i>	угљен-диоксид
<i>SO<sub>x</sub></i>	сумпорни оксиди
<i>CO</i>	угљен-моноксид
<i>NO<sub>x</sub></i>	азотни оксиди
<i>LP</i>	енг. <i>Linear Programming</i> (линеарно програмирање)
<i>MILP</i>	енг. <i>Mixed Integer Linear Programming</i> (мешовито целобројно линеарно програмирање)
<i>MINLP</i>	енг. <i>Mixed Integer Non-Linear Programming</i> (мешовито целобројно нелинеарно програмирање)
<i>ГИС</i>	географски информациони систем
<i>EDSS</i>	енг. <i>Environmental Decision Support System</i> (систем за подршку у доношењу одлука у област животне средине)
<i>MCDА</i>	енг. <i>Multi-Criteria Decision Analysis</i> (вишекритеријумско одлучивање)
<i>DEG</i>	енг. <i>Decentralized Energy Generation</i> (децентрализована производња енергије)
<i>LHV</i>	енг. <i>Lower Heating Value</i> (доња топлотна моћ)
<i>HHV</i>	енг. <i>Higher Heating Value</i> (горња топлотна моћ)
<i>LKT</i>	сло. <i>Lesní Kolový Traktor</i> (посебна врста трактора са механизмом за намотавање сајле)
<i>BFB</i>	енг. <i>Bubbling Fluidized Bed</i> (котлови за сагоревање у мехурастом флуидизованом слоју)
<i>CFB</i>	енг. <i>Circulating Fluidized Bed</i> (котлови за сагоревање у турбулентном флуидизованом слоју)
<i>ОРЦ</i>	органски Ранкинов циклус
<i>G</i>	генератор
<i>BAU</i>	енг. <i>Business as Usual</i> (устањени токови)
К-С-Т	културолошке, структурне и технолошке промене
ШГ	Шумско газдинство
ШУ	Шумска управа
ГЈ	Газдинска јединица

## СПИСАК КОРИШЋЕНИХ ОЗНАКА

$M$ [%]	садржај влаге у дрвету у односу на влажну масу
$u$ [%]	садржај влаге у дрвету у односу на суву масу
$W_w$ [kg]	маса влажног дрвета (маса биомасе чији се садржај влаге одређује) и
$W_o$ [kg]	маса сувог дрвета
$I$	скуп потенцијалних локација примарних складишта,
$i$	индекс за потенцијалне локације примарних складишта,
$J$	скуп потенцијалних локација постројења,
$j$	индекс за потенцијалне локације постројења,
$K$	скуп технологија које се могу користити за конверзију биомасе,
$k$	индекс за технологије које се могу користити за конверзију биомасе
$bf$	ознака за биогорива
$tp$	ознака за термоелектране
$hp$	ознака за топлане
$chp$	ознака за когенерациона постројења
$ee$	ознака за електричну енергију
$h$	ознака за топлотну енергију
$NPVQ$ [-]	коефицијент нето садашње вредности
$NPV$ [€]	нето садашња вредност
$Inv$ [€]	вредност инвестиције
$ANP$ [€]	нето годишњи профит
$d$ [%]	дисконтна стопа
$lc$ [year]	посматрани временски период
$G$ [€]	укупни приходи свих постројења
$Cpr$ [€]	трошкови биомасе на примарном складишту
$Ctr$ [€]	трошкови транспорта биомасе
$Cpl$ [€]	трошкови рада и одржавања постројења
$y_{i,j,k}$ [t/god]	искоришћена количина доступних ресурса
$\beta_{j,k}$ [-]	бинарна променљива
$pc_{j,k}^{bf}$ [t/h]	часовни капацитет производње биогорива
$Q_{j,k}^{bf}$ [t]	годишња продукција биогорива
$f_k^{bf}$ [-]	фактор конверзије технологије за производњу биогорива
$oh_j$ [h]	годишњи број радних сати постројења локацији $j$
$P_{j,k}$ [kW]	инсталисана снага за генерисање електричне енергије

$E_{j,k}$ [kWh]	годишња количина генерисане електричне енергије
$\eta_e$ [-]	просечна ефикасност генерисања електричне енергије (коришћењем технологије $k$ ),
$H_{j,k}$ [kW]	инсталисана снага за генерисање топлоте
$T_{j,k}^{hp}$ [kWh]	годишња продукција топлоте
$\eta_t$ [-]	просечна ефикасност генерисања топлоте (коришћењем технологије $k$ )
$cap_{j,k}$	јединични капитални трошкови постројења на локацији $j$ технологије $k$ - [€/t/god] за биогорива и [€/kW] за електричну и топлотну енергију
$sp$	продајна цена - [€/t] за биогорива и [€/kWh] за електричну и топлотну енергију
$harv$ [€/t]	трошкови прикупљања или откупа и уситњавање биомасе
$lease_i$ [€/m <sup>2</sup> ]	закуп земљишта за потребе складишта
$foil$ [€/m <sup>2</sup> ]	трошкове прекривне фолије
$fire$ [-]	трошкове противпожарне заштите
$area$ [m <sup>2</sup> /t]	површина која је неопходна за складиштење 1t биомасе
$dist_{i,j}$ [km]	растојање од локације примарног складишта $i$ до локације постројења $j$
$trans$ [€/t·km]	цена превоза 1t биомасе по 1 km пређеног пута
$opc_k$	специфични оперативни трошкови постројења - [€/t] за производњу биогорива и [€/kWh] за термоелектране, топлане и когенерациона постројења
$res_i$ [t]	количина биомасе која је доступна на локацији $i$
$hd_j$ [kWh]	захтеви топлотног конзума на локацији $j$
$Cm$ [€]	трошкови модификације котла
$mod_j$ [€]	трошак модификације котла или ложишта на локацији $j$
$troskovi_j$ [€]	тренутни трошкови генерисања енергије или производње биогорива у постојећим постројењима на локацији $j$
$pp$	ознака за постројење за производњу пелета
$pt$	ознака за термоелектрану са парнотурбинским постројењем
$bb$	ознака за топлану са котлом на биомасу
$orc$	ознака за когенерационо постројење засновано на органском Ранкиновом циклусу
$ghg_{j,k}$ [t]	годишња емисија гасова стаклене баште

# 1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

## 1.1. Увод

Резерве фосилних горива, пре свега нафте и природног гаса, су ограничене и неравномерно распоређене по светским регионима (највећим делом ван Европе), што за последицу има значајну енергетску зависност већине европских земаља. Како би се обезбедила сигурност у снабдевању енергијом, али истовремено и умањиле емисије гасова стаклене баште, који настају као последица употребе фосилних горива, неопходна је транзиција ка значајнијој употреби обновљивих извора енергије. У том циљу, на нивоу Европске Уније, донето је неколико регулатива и директива које имају за циљ повећање употребе обновљивих извора енергије.

Ратификацијом *Уговора о оснивању Енергетске заједнице*, земље Западног Балкана су прихватиле обавезу примене директива које за циљ имају повећање употребе обновљивих извора енергије. Република Србија је као једна од потписница Уговора од 2006. године, али и као земља која у значајној мери зависи од увоза енергената, преузела низ активности које имају за циљ подстицање коришћења обновљивих извора енергије. У складу са преузетим обавезама циљ Република Србије је да се до 2020. године достигне 27% учешћа обновљивих извора енергије у бруто финалној потрошњи. У обновљиве изворе енергије у Србији, у складу са територијалним положајем и важећом регулативом, спадају нефосилни извори енергије као што су: водотокови, биомаса, ветар, сунце, биогаз, депонијски гас, гас из погона за прераду канализационих вода и извори геотермалне енергије. Најзначајнији потенцијал у Србији има биомаса.

Потенцијал биомасе у Србији, према проценама, износи око 3,3 Мтое (милиона тона еквивалентне нафте) годишње што представља око 60% од укупног потенцијала обновљивих извора енергије. Највеће изворе биомасе представљају остаци од пољопривредне производње и дрвна биомаса. Пољопривредна биомаса је најзаступљенија у северном, равничарском делу Србије, док је дрвна биомаса карактеристична за брдско-планинске пределе. Тренутна искоришћеност овог потенцијала је око 30% и то у највећој мери огревног дрвета које се, најчешће, користи као енергент за загревање простора и припрему хране на традиционалан, често ниско-ефикасан начин уз низак комфор.

Покривеност Србије шумама је нешто виша од 29%, што представља значајан потенцијал, ако се узме у обзир да у шумама остаје и значајна количина шумских остатака који би се могли користити у енергетске сврхе. Поред тога значајна је и количина дрвних остатака која остаје у индустрији прераде дрвета, која се такође може користити у енергетске сврхе. Међутим, често слабо развијена мрежа прикупљања, транспорта и припреме дрвне биомасе, недовољно развијена свест корисника о енергетском значају дрвне биомасе и недостатак институционалне подршке довеле су до тога да је значајна количина неискоришћена.

Предмет рада и основни циљ докторске дисертације је дефинисање методологије на основу које се могу развити дугорочни сценарији максимизације коришћења потенцијала дрвне биомасе за енергетске потребе. Максимално искоришћење потенцијала може се постићи само оптималним, односно енергетски, економски и еколошки оправданим коришћењем и добро развијеним политикама и стратегијама,

које ће обезбедити институционалну подршку. Остали циљеви докторске дисертације су:

- Дефинисање математичког модела за одређивање оптималне количине биомасе која се може користити у енергетске сврхе у одређеним условима;
- Идентификација препрека за максимално коришћење потенцијала биомасе у одређеним условима;
- Одређивање покретача и препрека и кључних неизвесности за дугорочно унапређење и максимизацију коришћења потенцијала биомасе.

## 1.2. Основне претпоставке

Полазне претпоставке у дисертацији су:

- Према доступним подацима у Србији постоји значајан потенцијал дрвне биомасе. Значајан део огревног дрвета се користи у енергетске сврхе на ниско-ефикасан начин и значајан део дрвне биомасе, пре свега дрвних остатака је неискоришћен. Бољом организацијом и оптималним коришћењем може се увећати и унапредити искоришћење овог потенцијала;
- Коришћењем математичке оптимизације и „*Backcasting*“ приступа може се дефинисати модел за развој дугорочних оптималних сценарија максимизације искоришћења потенцијала дрвне биомасе;
- Учешћем заинтересованих страна могу се дефинисати покретачи и препреке, и кључне неизвесности максималном искоришћењу потенцијала обновљивих извора енергије;
- Развијени модел који ће у предложеној дисертацији бити дефинисан за један регион у Србији, може се применити и на друге регионе.

## 1.3. Допринос дисертације

Основни резултат предложене докторске дисертације је дефинисана методологија која се заснива на коришћењу математичке оптимизације и *backcasting* приступа за израду дугорочних сценарија за унапређење коришћења и максимално искоришћење потенцијала биомасе. За потребе методологије развијен је оригинални модел математичке оптимизације који се заснива на мешовитом целобројном нелинеарном програмирању (енг. *mixed integer non-linear programming - MINLP*). За разлику од постојећих методологија за дугорочно планирање, методологија која је развијена у оквиру докторске дисертације омогућава дефинисање оптималних решења, према задатим ограничењима и функцијама циља, уз дефинисање њихових техно-економских параметара. Поред тога примена математичке оптимизације заједно са *backcasting* приступом, обезбеђује да дефинисана решења буду у оквиру задатих критеријума, који су дефинисани кроз рад са заинтересованим странама. Примена развијеног модела математичке оптимизације омогућава истовремено разматрање великог броја решења и одабира оптималног решења на брз и ефикасан начин.

Развијени модел математичке оптимизације може се користити и самостално при разматрању потенцијалних инвестиционих пројеката у циљу одабира одговарајућег али и у комбинацији са ГИС технологијама за одређивање потенцијала који се може економски оправдано користити (економски потенцијал) биомаса на одређеном региону.

#### 1.4. Организациона структура дисертације

Увод, циљеви дисертације, основне претпоставке, допринос дисертације као њена организациона структура приказане су у првом поглављу. Преглед истраживања у области примене математичке оптимизације за планирање ланаца снабдевања и искоришћења биомасе, затим у области интегралне примене математичке оптимизације и ГИС технологија за локацијску расподелу прикупљања и валоризације биомасе и примени *backcasting-a* за потребе дугорочног планирања, дат је у оквиру другог поглавља.

Основна теоријска разматрања приказана су у оквиру трећег поглавља. У првом делу овог поглавља направљен је кратак приказ трендова и удела у потрошњи енергије и енергената као и доказане резерве енергената по регионима света. Затим је приказана производња и потрошња примарне и финалне енергије у Србији, са кратким освртом на енергенте и секторе потрошње. Трећи део трећег поглавља посвећен је теоријским разматрањима везаним за биомасу, у оквиру кога су дате основне дефиниције, мерне јединице, састав и својства дрвне биомасе, поступци експлоатације шумских ресурса, са прегледом комерцијалних технологија, као и основни процеси, технологије и постројења за конверзију енергије биомасе. Потом су, у оквиру овог поглавља, дати примери примене математичке оптимизације код планирања и управљања коришћења биомасе и на крају теоријска разматрања везана за примену *backcasting* приступа.

Развијени модел математичке оптимизације који представља основу предложене методологије приказан је у четвртном поглављу. У оквиру овог поглавља описани су сви скупови и подскупови који су коришћени у моделу, а потом дати математички описи економских и техничких карактеристика четири групе постројења за конверзију биомасе (постројења за производњу биогорива, термоелектране, когенерациона постројења и топлане) као и математички описи свих ограничења.

Дефинисана методологија за развој дугорочних сценарија унапређења и максимизације коришћења потенцијала биомасе описана је у петом поглављу. Методологија је описана према специфичним корацима као и специфични активностима које се спроводе у оквиру сваког корака. Такође описани су приступи и алати који се користе у спровођењу конкретних активности. Примена развијене методологије на студију случаја, описана је у оквиру шестог поглавља. У овом поглављу дат је опис територије на коју се примењује дефинисана методологија са аспекта потрошње енергије и енергената као и потенцијала биомасе, потом су описани специфични кораци и активности које су спроведене као и резултати њиховог спровођења. На крају шестог поглавља, приказани су сценарији и генерисана решења која могу допринети унапређењу коришћења и максимизацији искоришћења потенцијала шумске биомасе, са својим техно-економским параметрима.

Упоредна анализа генерисаних решења описна је у оквиру седмог поглавља. У оквиру овог поглавља дата је и анализа осетљивости генерисаних решења на утицај појединих фактора, као што су промене у повлашћеној цени по којој се може испоручивати

генерисана електрична енергија, промена у количинама доступних ресурса, промене цене шумских остатака и промене у топлотним захтевима стамбеног сектора.

Закључна разматрања са приказом основе за даља истраживањима и анализом потенцијалних недостатака развијене методологије приказани су у осмом поглављу.



## 2. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА

Висока енергетска зависност од фосилних горива у готово свим секторима представља један од главних разлога за анализирање могућности генерисања енергије из обновљивих изора (ОИЕ) [1,2]. ОИЕ су важан сегмент енергетског биланса већине развијених и земаља у развоју. Од свих ОИЕ, биомаса се највише користи. Биомаса представља готово  $\text{CO}_2$ <sup>1</sup> неутрално гориво које може допринети редукацији емисије заменом фосилних горива [3,4]. Тренутно биомаса на годишњем нивоу покрива нешто више од 10% (око 51 EJ), потрошене примарне енергије у свету [5,6,7].

Биомаса је врста ОИЕ која се може користити на сличан начин као и фосилна горива (угаљ) сагоревањем у котловима у циљу производње топле воде или водене паре. По својим карактеристикама, најсличнија је угљу, али при сагоревању, за разлику од угља емитује 90% мање сумпорних оксида ( $\text{SO}_x$ ) [8]. Коришћење биомасе као ОИЕ је један од кључних корака ка остваривању одрживог развоја земаља које су у развоју [9]. Биомаса је локални и одрживи извор енергије чијом се употребом могу генерисати електрична енергија, топлота и биогорива и чија употреба подстиче отварање нових радних места на локалном нивоу [10], односно коришћење биомасе на одрживи начин доприноси редукацији емисија гасова стаклене баште, смањењу енергетске зависности и подстицању економског развоја.

Биомаса има велики значај у енергетском сектору земаља у развоју, док у развијеним индустријализованим земљама коришћење биомасе заузима око 3-4% од укупне потрошње енергената [7]. Међутим, у земљама у развоју, биомаса (посебно дрвна биомаса), се користи на традиционалан и често неефикасан начин за кување и загревање простора. Непотпуно сагоревање и сагоревање на високим температурама, који настају као последица неефикасне употребе, изазивају више еколошких проблема. Непотпуно сагоревање доводи до емисије органских честица и угљен-моноксида ( $\text{CO}$ ), док сагоревање на високим температурама продукује азотне оксиде ( $\text{NO}_x$ ). Емисија полутаната која настаје и при непотпуном и при сагоревању на високим температурама представља велики еколошки проблем у земљама у развоју. У циљу унапређења коришћења дрвне биомасе, посебно оне која се третира као отпад, неопходно је прећи на употребу модерних технологија које омогућавају њено ефикасније коришћење [11]. Коришћење биомасе није увек једноставно и економски оправдано јер су локације ресурса често географски расуте, а мала насипна густина значајно утиче на транспортне трошкове [12,13]. Такође употреба биомасе утиче на многа социјална питања која укључују социјалну прихватљивост, промену у понашању становништва, економски развој локалне заједнице, могућност отварања радних места итд [14,15].

Према више различитих процена енергетски потенцијал биомасе у Србији износи око 3,3 Мто<sup>e</sup> што представља нешто више од 60% од укупног потенцијала обновљивих извора енергије [16,17,18]. Најзначајнија количина биомасе могла би се добити из пољопривредних остатака и дрвне биомасе. Шумарство је један од главних извора дрвне биомасе у земљама у развоју. Шумовитост Републике Србије је око 29% што представља значајан енергетски потенцијал. Шумска производња је најчешће усмерена ка

---

<sup>1</sup>  $\text{CO}_2$  - угљен диоксид

<sup>2</sup> toe - tone of oil equivalent (1 toe = 11,63 MWh = 41,868 GJ)

производњи трупаца (као главне сировине за даљу производњу) који чине око 65-70% укупне дрвне запремине посеченог стабла. Осталих 30-35% постају шумски остаци који се потенцијално могу користити као биомаса у енергетске сврхе [19,20]. Потенцијал шумских остатака је значајан и највећим делом неискоришћен, али бољом организацијом уз адекватну институционалну подршку може се унапредити коришћење и увећати проценат искоришћења доступног потенцијала. Према доступним званичним статистичким подацима, у републици Србији се просечно посече око 1,45 милиона m<sup>3</sup> огревног дрвета годишње, при чему се укупно посече око 2,72 милиона m<sup>3</sup> дрвета [21]. Однос посечене дрвне запремине и прираста шуме на годишњем нивоу у Србији износи око 50%, што је знатно ниже од земаља са развијеном шумском инфраструктуром и са добрим управљањем шумским ресурсима, код којих је овај однос 75%. Одавде се изводи закључак да би се унапређењем шумске инфраструктуре и управљања шумским ресурсима потенцијал одрживог коришћења дрвета могао значајно увећати [11].

У раду [15] анализиран је потенцијал за продукцију шумске биомасе у Србији узимајући у обзир стање шума, организационе и техничке капацитете и тржиште огревног дрвета. Анализе су показале да Србија поседује неискоришћен потенцијал шумске биомасе, која се може, поред огревног дрвета користити у енергетске сврхе - око 795.000 m<sup>3</sup> дрвних остатака је доступно и бољом организацијом се може искористити у енергетске сврхе. Према аутору, интензивно коришћење дрвних остатака захтева успостављање система контроле у ланцу коришћења, као и прилагођавање система планирања и управљања шумама. Анализом начина и система грејања у Србији, установљено је да приближно 23,2% домаћинства прикључено на систем даљинског грејања, 25,3% користи електричну енергију за загревање простора, 10,6% природни гас и највећи део домаћинства (40,9%) се греје употребом чврстих горива, (37,1% домаћинства користи огревно дрво, као самостални енергент или у комбинацији са неким другим чврстим горивом) [22]. Просечна потрошња огревног дрвета у Србији је за 12,5% већа од потрошње у Словенији, иако Словенија има нешто ниже просечне температуре током грејне сезоне. Ово представља јасан сигнал за надлежне институције и остале заинтересоване стране да се преузму мере усмерене ка повећању енергетске ефикасности.

Како би се унапредило коришћење дрвне биомасе и створили почетни услови за искоришћење што већег дела потенцијала, потребно је дрвну биомасу користити на оптималан енергетски, економски и еколошки начин. Да би се то остварило, неопходно је детаљно планирање и управљање шумским ресурсима и постројењима за конверзију енергије из биомасе [23]. Ефикасност логистичког система снабдевања је једна од главних препрека ефикасног коришћења биомасе. Шабани и сарадници (*Shabani, et al*) су у раду [23] развили модел мешовитог целобројног нелинеарног програмирања који има за циљ максимизацију укупне вредности ланца снабдевања термоелектране на биомасу. Развијени модел је заснован на једногодишњем временском раздобљу и разматра све делове ланца снабдевања. Ланац снабдевања се састоји од прикупљања биомасе на локацији ресурса, транспорту припремљене (уситњене биомасе) или биомасе у облику у ком је прикупљена до терминала где се врши складишти (евентуално прерађује/уситњава и/или суши) и транспортује до постројења. Трошкови транспорта шумских остатака од места прикупљања до места коришћења или складиштења могу бити у одређеним случајевима преовлађујући [24].

Општи оптимизациони модел за одабир најповољнијих технологија конверзије биомасе и њихових капацитета, локације ресурса са којих се прикупља потребна количина биомасе и логистика транспорта од шуме до постројења за конверзију развијен је од стране Кима и сарадника (*Kim, et al*) [25]. У овом раду модел мешовитог целобројног линеарног програмирања (енг. *mixed integer linear programming - MILP*) је примењен са функцијом циља максимизације укупног профита. Модел истовремено омогућава одређивање оптималног броја постројења, њихових локација и величина и потребне количине биомасе, као и количине полупроизвода и производа који ће бити транспортовани између локација током предвиђеног периода. Искоришћење потенцијала може се унапредити и дефинисањем оптималних локација постројења за конверзију енергије биомасе [26]. У том циљу спроведено је истраживање које је имало за циљ минимизацију трошкова генерисања електричне енергије коришћењем развијеног математичког модела оптимизације. Истраживање је спроведено примеру АП Војводине и кроз студију случаја дефинисано је више потенцијалних локација термоелектрана. Пораст броја постројења која користе биомасу, захтева развој методологије за процену најкориснијег начина примене биомасе за сваки регион, тако да буде загарантована технолошка, економска и еколошка одрживост и поузданост снабдевања крајњих корисника биогоривима, електричном енергијом или топлотом [27]. Планирано увећање инсталисаних капацитета термоелектрана које користе биомасу као гориво било је разлог за процену потенцијалних количина доступних шумских остатака која је спроведена од стране Виане и сарадника (*Viana, et al*) [28]. Ово планирано увећање може довести до значајнијег пораста у експлоатацији биомасе због чега је у раду анализирано која је количина биомасе потребна да се задовоље потребе постројења. Анализа је урађена за случај комбиноване производње електричне енергије и топлоте, као и за самосталну производњу електричне енергије.

Биомаса је географски зависан ОИЕ и имплементација географског информационог система (ГИС) је често веома корисна и неопходна, јер географски аспект представља важан фактор који може да утиче на изводљивост пројекта. Такође, употреба ГИС технологија може бити од великог значаја при анализи потенцијалних локација ресурса, складишта и постројења, као и при дефинисању транспортних рута и трошкова [29,30]. Султана и Кумар (*Sultana and Kumar*) [31] развили су методологију за одређивање погодних локација, оптималних величина и броја постројења за конверзију биомасе, засновану на ГИС радном окружењу. Циљ предложене методологије је лоцирање постројења кроз интеграцију еколошких и економских ограничења (фактора). У раду су, такође, размотрени, еколошки, економски и социјални фактори који се јављају при развоју постројења за конверзију биомасе. У раду [32] методологија заснована на ГИС-у је коришћена за одређивање потенцијала биомасе и потенцијалних биогасних постројења. Методологија је развијена у циљу процењивања регионалног потенцијала за производњу енергије из биомасе, као и за анализирање потенцијалних локација биогасних постројења и дефинисање њиховог капацитета, површине прикупљања биомасе и транспортних растојања. Гунарсон и сарадници (*Gunnarson, et al*) [33] су анализирали на који начин и где шумски остаци могу да буду конвертовани у „шумско гориво“ и како оно може да буде транспортовано и ускладиштено у циљу задовољења потреба топлане. За потребе истраживања развили су *MILP* модел за тактичко-стратешко доношење одлука и применили га на студију случаја компаније која се бави снабдевањем биомасом при чему је функција циља минимизација трошкова снабдевања уз испуњење услова уговора. Резултати моделирања су се односили на тип биомасе,

период прикупљања, уситњавања и транспорта, место и начин уситњавања и складиштења као и транспортне руте.

Доношење одлука везаних за експлоатацију шумске биомасе је комплексан процес који мора узети у обзир низ фактора. Самсатли и сарадници (*Samsatli, et al*) [34] истичу да постоји више путања од биомасе до корисне енергије. Исти аутори су развили скуп алата за оптимизацију заснованих на *MILP* који омогућавају моделирање већег броја могућих путања. Развијени скуп алата служи као подршка при доношењу одлука везаних за оптимално коришћење земљишта, ресурса и технологија. Такође, он узима у обзир различите функције циља, које укључују минимизирање трошкова, максимизирање профита, минимизирање емисија гасова стаклене баште, максимизацију продукције енергије/ексергије или било коју комбинацију претходних, сценарије и ограничења. Функције циља су комбиноване са сценаријима и бројним ограничењима, као што су минимални ниво продукције енергије и максимални дозвољени утицај на животну средину. Приступ за подршку процесу доношења одлука везаних за експлоатацију шумске биомасе, засноване на интегрисаној примени ГИС технологија и математичког програмирања приказан је у [35]. Циљ рада је процена могућности ефикасног и одрживог коришћења биомасе за производњу електричне енергије и топлоте узимајући у обзир више аспеката (технолошки, економски, регулаторни, еколошки и социјални аспекти). У циљу подршке процесу доношења одлука везаних за развој стратегија за оптимално коришћење дрвне биомасе у енергетске сврхе развијен је систем за подршку у доношењу одлука у област животне средине (енг. *Environmental Decision Support System - EDSS*) концепт који садржи три модула и то ГИС, базу података и оптимизациони модул [36]. Одређивање потенцијалних локација за валоризацију биомасе у специфичним регионима може се извршити применом макро скрининг приступа (енг. „*macro screening approach*“) [37]. Предложени приступ је комбинација анализе вишекритеријумског одлучивања (енг. *multi-criteria decision analysis - MCDA*) и ГИС технологија. Циљ предложене методологије је идентификација локација које могу бити погодне за генерисање енергије из биомасе.

Децентрализована производња енергије има велики значај за земље у развоју и у циљу унапређења децентрализоване производње развијен је општи оптимизациони модел (енг. *general decentralized energy generation - DEG*) са функцијом циља минимизирања укупних трошкова генерисања електричне енергије [38]. Модел се заснива на *MINLP* и има за циљ доношење одлука везаних за одређивање оптималног броја, локација и величина постројења, као и количине биомасе и електричне енергије које могу бити испоручене између одабраних локација током одабраног периода.

Оптимизација коришћења дрвне биомасе може у значајној мери унапредити искоришћење овог потенцијала, међутим за стварање потребних услова за што веће искоришћење, како потенцијала дрвне биомасе, тако и потенцијала свих осталих обновљивих извора енергије, потребно је одређено време и израда планова на више нивоа.

У односу на стање које ће бити постигнуто, дугорочни сценарији се генерално могу поделити у три групе: вероватни, могући и жељени [39,40]. Прва врста дугорочних сценарија се добија одговором на питања „Шта ће се догодити у будућности?“ и у овој врсти сценарија је претпостављено да неће доћи до великих промена и да ће се друштва, технологије развијати према устаљеној путањи. Код ове групе, развој сценарија се најчешће врши екстраполацијом из садашњег времена ка будућности. Друга група

сценарија заснована је на питању „Шта би могло да се догоди?“. Ови сценарији представљају једну врсту предвиђања, односно дефинисање очекиваних догађаја узимајући у обзир низ фактора, разматрање трендова, културолошких промена и других сличних променљивих. Трећу врсту сценарија представљају сценарији који дефинишу жељену будућност, односно представљају одговор на питање „Како постићи пожељну будућност?“ или „Како би решење одређеног проблема могло да изгледа?“. Један од приступа за креирање ове врсте сценарија је *Backcasting* који се може дефинисати као генерисање пожељне будућности, и гледање уназад из те будућности у циљу прављења планова и стратегија како би та будућност могла бити остварена [41,42].

У *backcasting*-у се прво предочи пожељна будућност, а затим се анализира како би се она могла постићи гледајући управо из ове будућности, након чега се идентификују кораци које је потребно предузети да би се остварила пожељна будућност.

Први *backcasting* приступ који се односио на енергетске студије развијен је од стране канадског истраживача Џона Робинсона (*John B. Robinson*) [43]. Приступ назван *energy backcasting* развијен је под претпоставком да су будуће потрошње енергије углавном у функцији тренутних политичких одлука. Циљ предложеног приступа, који се састојао из шест корака, био је да се опишу пожељне будућности или опсег пожељне будућности и да се процени како би таква будућност могла бити постигнута, уместо да се фокусира само на вероватне будућности и пројекције. Претпоставка је била да би, после идентификације стратешких циљева у одређеној будућности, било могуће да се “ради уназад” како би се одредило које мере би требало спровести у енергетској индустрији [43,39,44].

Од раних 80-их година XX века па до данас *backcasting* је стекао широку примену, посебно у областима које се односе на планирање у енергетици и одрживом развоју [45,46,47]. Временом је препознато да је укључивање заинтересованих страна у активности које се односе на постизање одрживост препознато као нарочито важно у остваривању дугорочних циљева. Већ је напоменуто да коришћење биомасе има утицај на значајан број фактора (економски, технолошки, регулаторни и социјални) и због тога развој планова и доношење одлука не би требало да буду активности појединаца или затворене групе људи. Учешће заинтересованих страна је од кључног значаја, не само због њихових улога, већ и због чињенице да поседују неопходна знања и да располажу неопходним ресурсима [48,49,50]. Сходно томе, Куист и Верграгт (*Quist u Vergragt*) [51] описали су процес транзиције ка укључивању заинтересованих страна (партиципативни *backcasting*) и предложили методолошки оквир који се заснива на њиховом укључивању. Укључивање заинтересованих страна и њихово подстицање да активно узму учешће у процесу није увек једноставно [41]. Аутори су препознали да је партиципативни *backcasting*, погодан алат за укључивање заинтересованих страна у процес планирања одрживог развоја на локалном нивоу. Циљ примене *backcasting* приступа је био да се пронађе погодна методологија којом би се инспирисале заинтересоване стране да узму учешће у дискусији везаној за планирање одрживог развоја. Током спровођења методологије идентификоване су иницијативе и мере (*Images of Everyday Life in the Future Sustainable City*) које могу бити предузете на локалном нивоу у циљу остваривања одрживог развоја.

Употреба фосилних горива у свим секторима потрошње енергије доприноси значајним повећанима емисије гасова стаклене баште, што представља значајно оптерећење на животну средину. Прелазак на енергетске системе који имају мање емисије CO<sub>2</sub> праћено

је великим бројем фактора који представљају значајне неизвесности [52]. У циљу развоја сценарија за смањење емисија CO<sub>2</sub> на подручју Велике Британије развијена је *backcasting* методологија која се користила за развој сценарија који ће омогућити редуkcију емисије CO<sub>2</sub> за 60% до 2050. у односу на 1990. годину [53]. Применом развијене методологије, дефинисано је пет сценарија који би требало да омогући постизање циља у погледу редуkcије емисија до 2050 [54]. Ведфелт и сарадници (*Weddfelt, et al*) применили су *backcasting* методологију за дефинисање визија и стратегија у области животне средине [55]. Методологија је базирана на великом броју интервјуа са заинтересованим странама и анализи добијених података.

Смањење потрошње енергије у домаћинствима, комерцијалним и јавним зградама, која потиче од фосилних горива, од великог је значаја у циљу постизања одрживог развоја. У складу са националним циљем смањења потрошње енергије по јединици грејне површине у стамбеним и комерцијалним зградама за 50% до 2050 у Шведској, Свенфелт и сарадници (*Svenfelt, et al*) [56] су развили методологију засновану на *backcasting* приступу и раду са фокус-групама. Са сличним циљем (редуkcија потрошње финалне енергије за 60% по становнику у периоду од 60 година у домаћинствима у Стокхолму) је развијена методологија „ка циљу усмереног *backcasting-a*“ [57]. Одржива трансформација и унапређење система грејања је од суштинског значаја за остваривање постављених циљева у области унапређења стања животне средине и умањења негативних последица климатских промена као и за унапређење квалитета живота [58]. У том циљу Живковић и остали, су у свом раду [58], приказали обједињени модел моделирања урбаних енергетских система и партиципативног приступа. У раду је приказана интеракција различитих начина развоја сценарија, у циљу бољег сагледавања могућих решења.

Коришћење *backcasting-a* у настајућем сектору обновљивих извора енергије у Кини анализирано је у раду [59]. Применом *backcasting* анализе препознате су препреке које су укорењене у постојећем енергетском систему, као и проблеми везани за управљање технологијама. Напоменуто је да процес укључивања заинтересованих страна није увек једноставан због навика и расположења становништва да се прикључе оваквим процесима. То је изражено код становништва јужно-европских земаља [60]. Планови, стратегије или сценарији везани за коришћење биомасе и осталих ОИЕ најчешће се развијају за периоде од 15, 20 и више година. Развој сектора ОИЕ има велики социо-технолошко-политички утицај на одређени регион и због тога је од изузетне важности укључити одговарајуће заинтересоване стране [61,7]. Систо и остали (*Sisto, et al*) су у свом раду [61] приказали примену прилагођеног *backcastning* приступа у циљу идентификације и анализе текућег стања и могућих опција у Апулија регији у Јужној Италији. Аутори су за потребе извођења студије укључили само оне заинтересоване стране које имају директну везу са развојем био-индустрије.

## 3. ТЕОРИЈСКА РАЗМАРАЊА

### 3.1. Енергија и енергенти

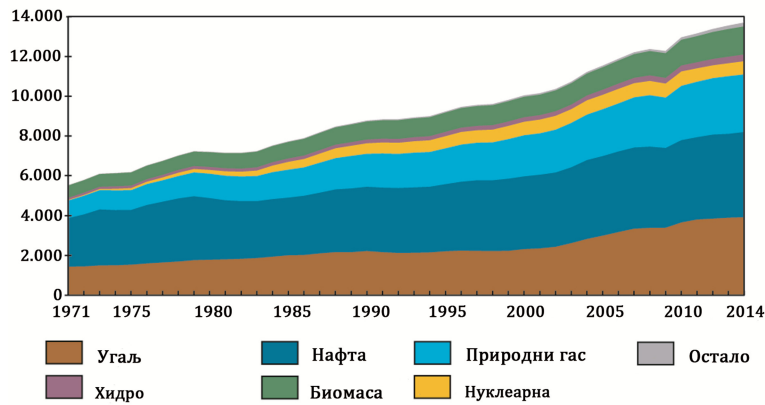
Остваривање одрживог развоја представља један од највећих изазова са којим се суочавају савремена друштва и који зависи од великог броја фактора. Одрживи развој је развој у коме се потребе садашње генерације испуњавају на такав начин да се не угрожава могућност будућих генерација да задовоље своје потребе [62]. Енергија представља важан фактор одрживог развоја држава, обзиром да је један од главних предуслова економског напретка и развоја савременог друштва које је засновано на модерним технологијама. На основу претходног се може рећи да је енергија неопходни предуслов и основни покретач свих производних и пратилац свих друштвених активности. Ниво економске развијености друштва, животни стандард и стечене навике становништва одређују обим и структуру потрошње енергије. Виши стандард и виши ниво економске развијености друштва, иако по својој природи омогућавају развој и коришћење енергетски ефикасних технологија не значе и мању потрошњу енергије. Као пример за то могу се узети САД код којих је потрошња примарне енергије<sup>3</sup> 6,92 тое/становнику, односно Индија код које је потрошња 0,61 тое/становнику у 2013. години.

#### 3.1.1. Потрошња примарне енергије у свету

Примарна енергија је облик енергије добијен непосредно из природе без трансформације и може бити нпр. хемијска енергија фосилних горива или биомасе, нуклеарна енергија, кинетичка енергија ветра, потенцијална енергија водених токова, топлотна енергија геотермалних извора или енергија електромагнетног зрачења Сунца. Примарна енергија се најчешће користи при изради енергетских биланса на нивоу ширих друштвених заједница [63,64]. Снабдевање примарном енергијом, на глобалном нивоу, расте у последњих 25 година, што је последица економског развоја али и раста светске популације (слика 3.1.) Раст потрошње примарне енергије забележио је мањи пад 2008 године, као последица почетка светске економске кризе [65]. Са слике се може уочити да је потрошња примарне енергије порасла више од 2,5 пута, од 6.100 Мтое у 1973. до 13.699 Мтое у 2014.

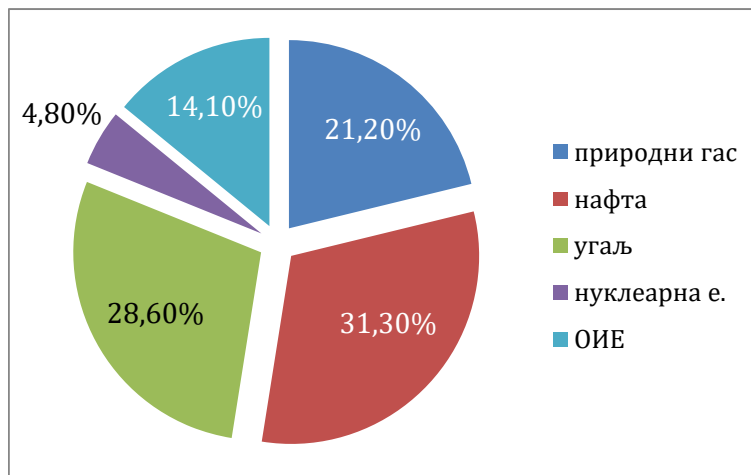
---

<sup>3</sup> <http://data.worldbank.org/>



Слика 3.1. Потрошња примарне енергије у свету [Mtoe]

Од укупне потрошње примарне енергије у 2014. години 14,1% (1.931 Mtoe) чине ОИЕ (слика 3.2) [58,59]. Највећи проценат и даље има нафта, иако у глобалном снабдевању удео нафте константно опада са 46,1% у 1973. години до 31,3% у 2014. што је последица значајних флукуација у цени нафте последњих година, које су настале после светске енергетске кризе.



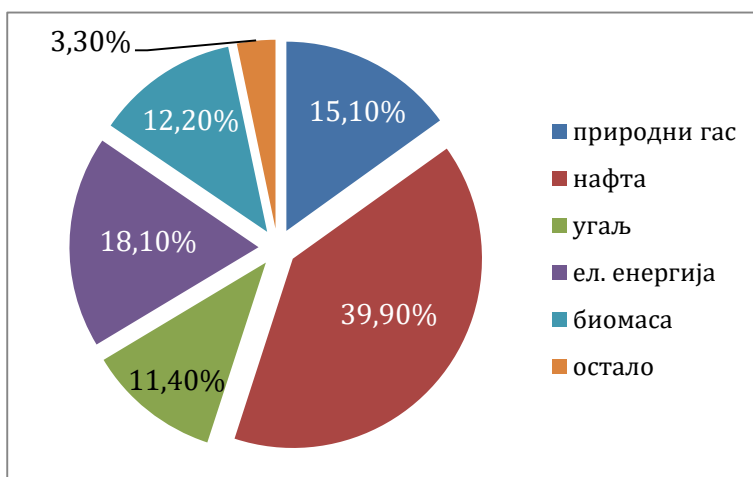
Слика 3.2. Удео енергената у укупном снабдевању примарном енергијом 2014.

За разлику од нафте, процентуална учешћа угља и природног гаса, бележе константан раст (угаљ: 24,5% у 1973. - 28,6% у 2014; природни гас: 16,0% у 1973. - 21,2% у 2014.) што је последица глобално равномерније распоређених резерви природног гаса и угља по регионима света, али и светске економске кризе [65]. Додатни разлог за раст експлоатације природног гаса су својства која га чине једним од најчистијих фосилних горива и које се може користити у савременим технологијама чија ефикасност може бити и преко 90% [21]. Са друге стране, раст потрошње угља је делимично и последица економског и индустријског развоја појединих земаља, која се заснива на овом енергенту (1973. године Кина је имала учешће од 13,6%, док у 2015 удео у производњи угља износи 45,7% или 3.527 Mt).

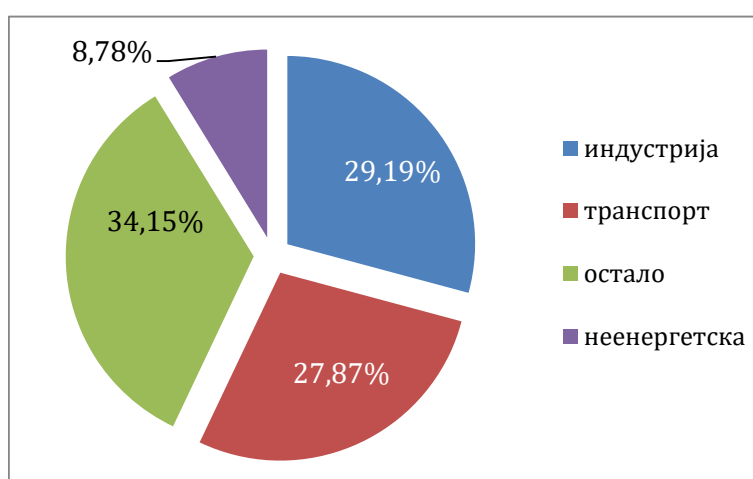


### 3.1.2. Финална потрошња енергије у свету

Финалном енергијом се сматра она енергија која долази до крајњег корисника који има могућност њеног коришћења за обављање одређених активности. У финалну енергију спадају облици енергије који су добијени процесима трансформације примарне енергије као што су електрична енергија и топлотна енергија али и енергенти - фосилна чврста, течна и гасовита горива која се без трансформације могу користити у енергетске сврхе у секторима потрошње: индустрија, саобраћај, домаћинства, јавне и комерцијалне делатности, пољопривреда. Такође, у финалну енергију спадају и неки облици ОИЕ (нпр. огревно дрво се без трансформације може користити у финалној потрошњи енергије) [66]. Финална потрошња енергије у свету је порасла (сличан тренд као и код примарне енергије) са 4.661 Мтое у 1973. години до 9.425 Мтое у 2014. години. Структура финалне потрошње за 2014 годину приказана је на слици 3.3, а финална потрошња енергије по секторима на слици 3.4 [65].



Слика 3.3. Структура потрошње финалне енергије на глобалном нивоу



Слика 3.4. Укупна финална потрошња енергије по секторима<sup>4</sup>

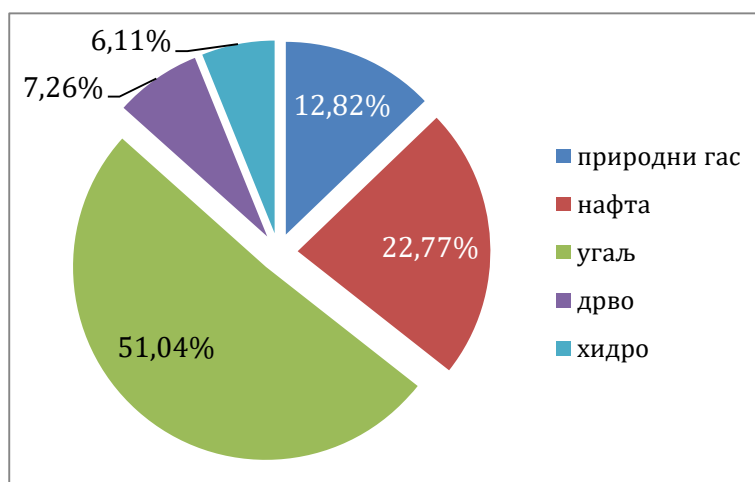
<sup>4</sup> остало: пољопривреда, домаћинства, јавни и комерцијални сектор

## 3.2. Енергија у Србији

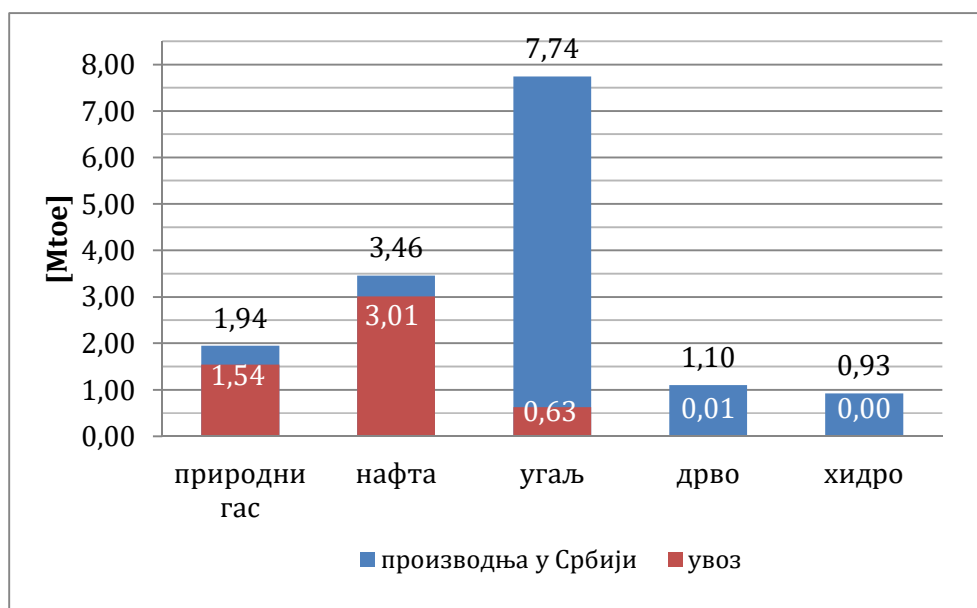
### 3.2.1. Потрошња примарне енергије у Србији

Потрошња примарне енергије у Србији (укупно расположиво 15,05 Mtoe у 2015.) заснива се највећим делом на потрошњи фосилних горива (природни гас, нафта, угаљ) и мањим делом на ОИЕ првенствено на хидроенергији која се користи за производњу електричне енергије и огревном дрвету (слика 3.5) [67].

Фосилна горива доприносе више од 86% у укупној потрошњи примарне енергије, при чему само угаљ доприноси са око 51%. У структури потрошње угља преовлађују нискокалорични лигнит и мрки угаљ са око 95% удела. Значајан део примарне енергије се увози, пре свега нафта и природни гас и у мањој мери висококалоричне врсте угља (слика 3.6).



Слика 3.5. Структура потрошње примарне енергије у Србији за 2015. годину



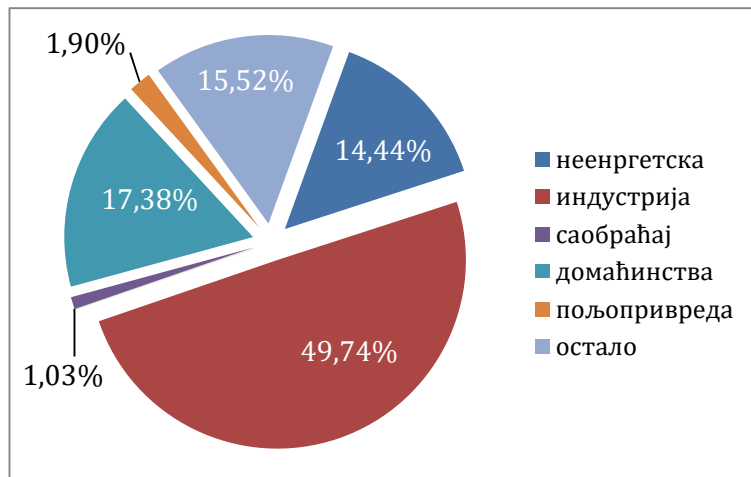
Слика 3.6. Распожива примарна енергија за 2015. годину

Угаљ који има највећи удео у структури примарних извора енергије углавном потиче са домаћих копова (92%).

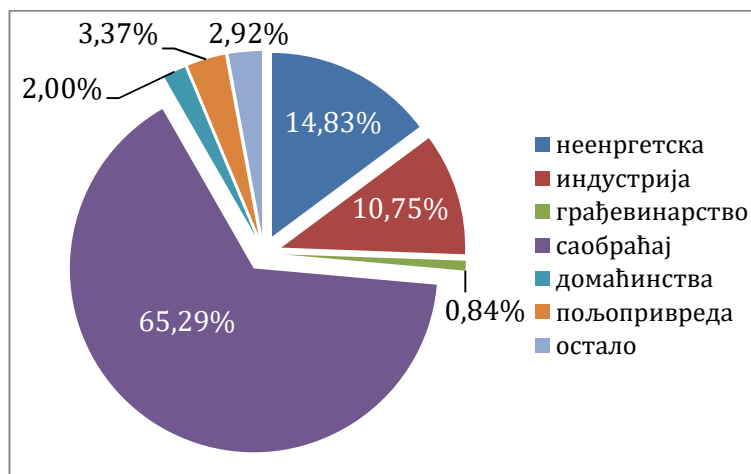
Количине природног гаса и нафте које се увозе су велике и представљају 79%, односно 87% годишње потрошње. Све ово утиче да укупна енергетска зависност износи око 34,21% примарне енергије.

### 3.2.2. Финална потрошња енергије у Србији

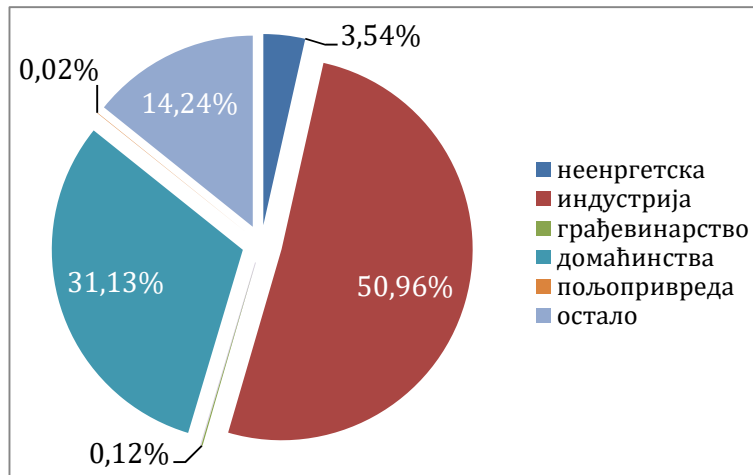
Финална потрошња енергије у Србији износила је око 8,8 Мтое у 2015. години. Мањим делом се трошила у неенергетске сврхе (нпр. у хемијској индустрији) око 0,6 Мтое и већим делом у енергетске сврхе. Финална потрошња енергије, у енергетске сврхе, трошила највише у секторима индустрије, саобраћаја и домаћинства. На сликама 3.7, 3.8, 3.9, 3.10 и 3.11 приказана је потрошња појединих облика финалне по секторима за 2015.



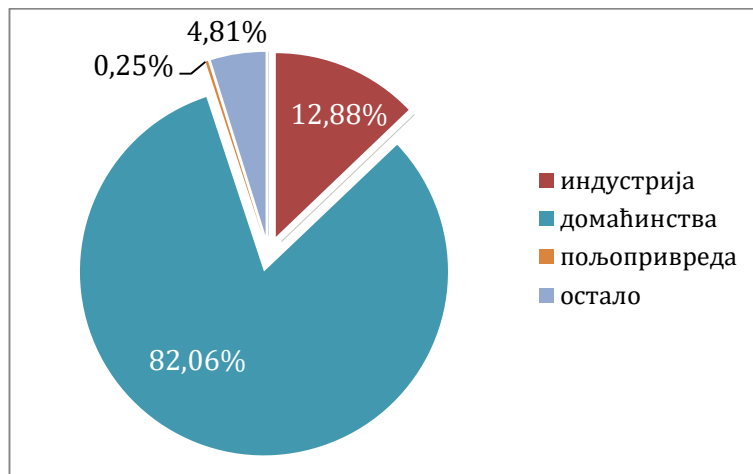
Слика 3.7. Финална потрошња природног гаса по секторима за 2015. год.



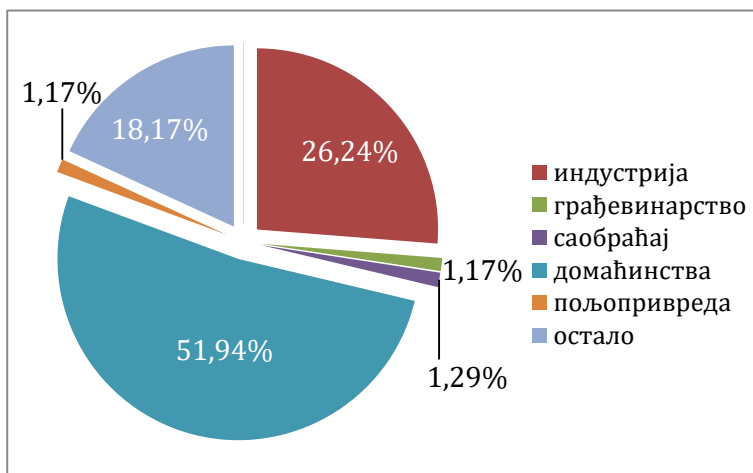
Слика 3.8. Финална потрошња нафте и нафтних деривата по секторима за 2015. год.



Слика 3.9. Финална потрошња угља по секторима за 2015. год.



Слика 3.10. Финална потрошња огревног дрвета по секторима за 2015. год.

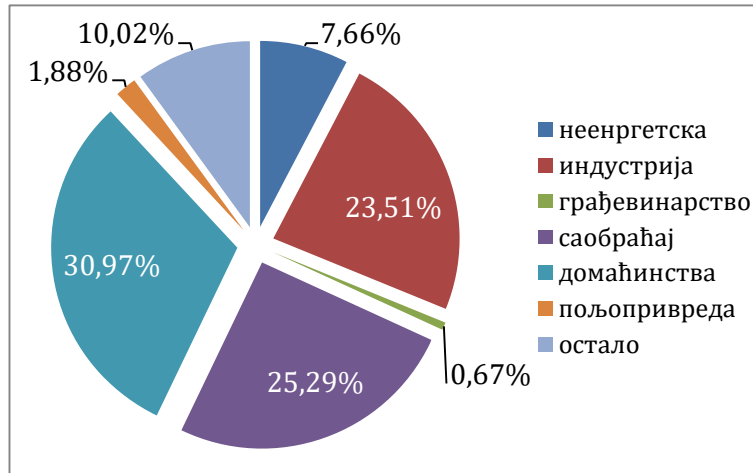


Слика 3.11. Финална потрошња електричне енергије по секторима за 2015. год.

Сектор домаћинстава преовлађује у финалној потрошњи дрвета и електричне енергије са 82%, односно 52%, док у потрошњи угља учествује са нешто мање од 1/3 и природног гаса са нешто више од 17%. Индустрија има значајне уделе у финалној потрошњи и то

око 50% удела у потрошњи природног гаса и угља, више од 1/4 удела у потрошњи електричне енергије и око 13% дрвета и 11% нафте и нафтних деривата. Највећи удео у потрошњи нафте и нафтних деривата има сектор саобраћаја око 65%.

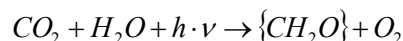
Збирно, највећи удео у финалној потрошњи енергије имају сектор домаћинства са око 33%, индустрија преко 24% и саобраћај изнад 23% (слика 3.12).



Слика 3.12. Збирна потрошња финалне енергије по секторима за 2015. год.

### 3.3. Биомаса

Биомасом се сматра било који материјал биолошког порекла укључујући производе, нуспроизводе, остатке и отпад од пољопривреде и шумарства, као и биоразградиве делове индустријског и комуналног отпада [68,69]. Биомаса се као обновљиви извор енергије може користити за генерисање топлоте и електричне енергије и добијање биогорива коришћењем одговарајућих технологија. Енергија биљног порекла представља акумулирану светлосну енергију којом се светлост (Сунчева енергија  $h \cdot \nu$ )<sup>5</sup> трансформисала у хемијску енергију процесом фотосинтезе [70]:



Биомаса као ОИЕ одржава константан ниво  $CO_2$  па се може сматрати да је  $CO_2$  неутралан енергент. Сагоревањем биомасе, ослобађа се угљеник (C) који се налази у биомаси и који се у облику  $CO_2$  емитује у атмосферу. Међутим, може се сматрати да  $CO_2$  настао овом приликом не утиче на климатске промене, јер је то управо она количина коју је биљка апсорбовала приликом свог животног циклуса [3,10]. Биомаса у природном стању садржи врло мале количине сумпора (S), што резултује ниским емисијама  $SO_x$  приликом сагоревања, што чини додатну предност у односу на фосилна горива.

Пољопривредном биомасом се сматрају биоразградиви материјали биљног или животињског порекла који се могу користити у енергетске сврхе. Биомаса биљног

<sup>5</sup>  $h = 6,626 \cdot 10^{-34} [m^2 \cdot kg/s]$  - Планктова константа и  $\nu$  - фреквенција фотона [Hz]

порекла обухвата остатке или производе ратарства: сламу, стабљике, лишће, махуне, као и биљне остатке након прераде.

Количина пољопривредне биомасе која је се може користити у енергетске сврхе зависи од врсте узгајаних ратарских култура. У табели 3.1 приказан је однос количине пољопривредних производа и количине остатака која се може користити у енергетске сврхе [71].

Табела 3.1 Одређивање количине пољопривредне биомасе у односу на врсту ратарске културе

Врста	пшеница	јечам	раж	кукуруз	сунцокрет	соја	уљана репица
принос/остац	1/1	1/0,8	1/1,1	1/1,1	1/2,5	1/2	1/3

Међутим, није сва доступна количина остатака ратарске производње погодна да се користи као биомаса, јер остаци ратарске производње могу имати више намена и тешко је прецизно одредити која се количина може користити у енергетске сврхе. Са становишта сточарске производње, остатке третиране хемијским путем, уз додавање протеина је пожељно користити као сточну храну или, у облику сламе. Такође, сламу која остаје могуће је користити као простирку при узгоју животиња, при чему се добија квалитетнији стајњак којим се може пођубрававати земљиште у циљу повећања количине хумуса. У истом циљу, остаци ратарске производње могу се директно заоравати. Спроведена истраживања на тему начина коришћења остатака ратарске производње показују да се око 30% од укупно процењене количине остатака може одрживо користити у енергетске сврхе [16,72].

Као нус-производ сточарске производње, односно узгоја животиња, остаје значајна количина стајског ђубрива, које се најчешће користи за пођубравање њива у циљу подизања квалитета земљишта. Међутим, стајско ђубриво поседује велики енергетски потенцијал, уколико се анаеробном дигестијом добије биогаз. Поред биогаза, као резултат процеса анаеробне дигестије, добија се и значајна количина ђубрива ослобођеног од штетних састојака, који се иначе могу наћи у стајском ђубриву. Додатна предност анаеробне дигестије је и елиминисање непријатних мириса који прате сточарску производњу.

Дрвна биомаса настаје као последица експлоатације шумских ресурса и њихове даље прераде. У дрвну биомасу спадају огревно дрво, шумски остаци и остаци индустрије прераде дрвета. Огревно дрво је врста шумске биомасе која се највише користи у домаћинствима и добија се механичким поступцима обраде стабла.

Свака експлоатација шумских ресурса је праћења генерисањем значајне количине шумских остатака који имају значајан енергетски потенцијал. Шумски остаци представљају дрвну масу која остаје у шумама након сечења и „извлачења“ обловине (трупаца). У шумске остатке спадају пањеви, корење, грање, овршци и кора. Трећу врсту дрвне биомасе чине остаци који настају као последица прераде дрвета у дрвопрерађивачкој индустрији и других грана индустрије. Ови остаци такође имају значајан енергетски потенцијал и код добро организованих предузећа користе се за сопствене потребе за загревање простора или генерисање топлоте потребне за процесе.

Одлагањем биоразградивог комуналног и индустријског отпада на депонијама, током времена, долази до појаве анаеробних услова и разградње отпада услед дејства анаеробних бактерија. Као резултат разградње отпада анаеробним бактеријама

генерише се гас са високим садржајем метана, који се временом ослобађа у атмосферу. Постављањем одговарајућих инсталација, генерисани гас се може усмерити и прикупити тако да се омогући његово коришћење у енергетске сврхе.

Из претходног текста се може закључити да постоје различите врсте биомасе које су доступне у различити облицима и агрегатним стањима, али, како је предмет докторске дисертације развој методологије за развој дугорочних сценарија максимизације коришћења потенцијала дрвне биомасе, у наредном тексту биће детаљно описана шумска (дрвна) биомаса.

### 3.3.1. Дрвна биомаса - основне дефиниције и јединице мере

У зависности од облика у коме се налази дрвна биомаса, користи се више различитих мерних јединица како би се олакшала, пре свега трговина, али и одредили економски параметри при обради и транспорту.

#### Запремина и густина

У зависности од стања и распореда биомасе користе се различите јединице за мерење њене запремине, као и начин конверзије јединица запремине (табела 3.2).

Табела 3.2 Јединице за приказивање запремине биомасе и начин њихове конверзије

стање и распоред биомасе		јединице	
трупци (обловина)		компактни кубни метар	[m <sup>3</sup> ]
уредно сложено метарско дрво		просторни метар	[prm]
расуто цепано дрво или дрвна сечка		насипни кубни метар	[nm <sup>3</sup> ]
конверзија јединица запремине			
1m <sup>3</sup>	1,4 prm	2 nm <sup>3</sup>	3 nm <sup>3</sup>
			
компактно дрво - ткупац	сложене метарске цепанице	расуто цепано дрво	дрвна сечка

Услед коришћења различитих јединица за одређивање, односно означавање дрвне запремине, користе се и различите ознаке за однос масе и запремине дрвета (густина).

Однос масе и запремине компактног дрвета представља густину дрвета [kg/m<sup>3</sup>]. За уситњено дрво (цепано или сечку) између кога се налази простор чија величина зависи од облика и величине уситњеног дрвета, користи се јединица ([kg/prm] или [kg/nm<sup>3</sup>]).

У табели 3.3 приказане су густине преовлађујућих врста дрвета у Србији, а у табели 3.4 насипне густине у зависности од облика и врсте дрвета [73].

Табела 3.3 Густина дрвета при влажности од  $M=13\%$

Врста	[kg/m <sup>3</sup> ]
јела	470
смрека	450
црни бор	560
бели бор	550
буква	750
храст лужњак	770
храст китњак	760
јавор	740
врба	450
топола	480

Табела 3.4 Насипна густина у зависности од облика и садржаја воде  $M$  [%]

Облик дрвета	$M$ [%]	Врста дрвета	Насипна густина [kg/nm <sup>3</sup> ] [kg/grm]*
цепано дрво	15	буква	445*
		смрека/јела	304*
дрвна сечка	30	буква	328
		смрека/јела	323
кора четинара			180
ситна струготина	15		160
струготина			90
пелет	8		620-650

### 3.3.2. Својства дрвне биомасе

#### Хемијски састав, топлотне моћи и садржај пепела

Биомаса биљног порекла састоји се првенствено од следећих хемијских елемената: угљеника, кисеоника (O) и водоника (H). У зависности од врсте биомасе, садржај угљеника је у распону од 40-50%, кисеоника од 39-45%, и водоника око 6% суве материје. Енергија садржана у гориву (дрвету) највећим делом се ослобађа оксидацијом угљеника. Хемијски састав појединих врста шумске биомасе (и остатака ратарске производње<sup>6</sup>), приказане су у табели 3.5 [73,74].

<sup>6</sup> Подаци за биомасу која настаје као резултат ратарске производње дати су у циљу поређења (односи се на све табеле где се појављује пољопривредна биомаса)



Табела 3.5 Хемијски састав појединих врста шумске биомасе и остатака ратарске производње

	C	H	O	N	K	Ca	Mg	P	S	Cl
	суве материје [%]									
смрека/јела	49,80	6,30	43,20	0,13	0,13	0,70	0,08	0,03	0,015	0,005
буква	47,90	6,20	45,20	0,22	0,15	0,29	0,04	0,04	0,015	0,006
топола	47,50	6,20	44,10	0,42	0,35	0,51	0,05	0,10	0,031	0,004
врба	47,10	6,10	44,3	0,54	0,26	0,68	0,05	0,09	0,045	0,004
кора четинара	51,40	5,70	38,70	0,48	0,24	1,27	0,14	0,05	0,085	0,019
слама ражи	46,60	6,00	42,10	0,55	1,86	0,36	0,06	0,15	0,085	0,40
слама пшенице	45,60	5,80	42,40	0,48	1,01	0,31	0,10	0,10	0,082	0,19
слама јечма	47,50	5,80	41,40	0,46	1,38	0,49	0,07	0,21	0,089	0,40
слама уљане репице	47,10	5,90	40,00	0,84	0,79	1,70	0,22	0,13	0,27	0,47
кукурузне стабљике	45,70	5,30	41,70	0,65	-	-	-	-	0,12	0,35
сунцокретове стабљике	42,50	5,10	39,10	1,11	5,00	1,90	0,21	0,20	0,15	0,81

Азот (N) и сумпор (S), представљају елементе чијом оксидацијом у процесу сагоревања долази до емисије полутаната ( $\text{NO}_x$  и  $\text{SO}_x$ ). У зависности од врсте угља, садржај ових елемената се креће од 0,7 - 1,3% за N и 0,39 - 0,94% за S, што је знатно више од садржаја у дрвету.

Доња и горња топлотна моћ квантификују количину топлоте која се може добити коришћењем (сагоревањем) одређеног горива. Разлика између доње топлотне моћи *LHV* и горње топлотне моћи *HHV* је у енергији која је потребна за испаравање воде која је присутна у гориву и воде која настаје оксидацијом водоника током сагоревања. Топлотне моћи шумске биомасе, као и садржај пепела који остаје након сагоревања приказане су у табели 3.6 [73,74].

Табела 3.6 Топлотне моћи и садржај пепела шумске биомасе и остатака ратарске производње (сува маса)

	<i>LHV</i> [MJ/kg]	<i>HHV</i> [MJ/kg]	садржај пепела [%]
смрека/јела	18,8	20,2	0,6
буква	18,4	19,7	0,5
топола	18,5	19,8	1,8
врба	18,4	19,7	2,0
кора четинара	19,2	20,4	3,8
слама ражи	17,4	18,5	4,8
слама пшенице	17,2	18,5	4,8
слама јечма	17,5	18,5	4,8
слама уљане репице	17,1	18,1	6,2
кукурузне стабљике	17,7	18,9	6,7
сунцокретове стабљике	15,8	16,9	12,2

### Садржај влаге

Топлотне моћи и садржај пепела појединих врста биомасе приказане у табели 3.6, односе се на дрво у сувом стању (садржај влаге  $M=0\%$ ). Садржај влаге у дрвету представља један од важних параметара којима се квантификује квалитет дрвних горива, јер нижи садржај влаге повећава топлотну моћ горива и побољшава ефикасност котлова. Поред утицаја на квалитет горива, садржај влаге утиче и на трошкове транспорта [75]. Садржај влаге у дрвету може да буде до 60% и смањује се од момента када се дрво посече. Дрво се не може наћи у природи у потпуно сувом стању, а садржај влаге зависи од тога колико је дрво пре прикупљања просушено природним путем. Садржај влаге у дрвету се може рачунати у односу на суву масу<sup>7</sup>  $u$  [%] (израз 3.1) и на влажну масу  $M$  [%] (израз 3.2) [73]:

$$u = \frac{W_w - W_0}{W_0} \cdot 100 [\%] \quad (3.1)$$

$$M = \frac{W_w - W_0}{W_w} \cdot 100 [\%] \quad (3.2)$$

где су:

- $W_w$  [kg] - маса влажног дрвета (маса биомасе чији се садржај влаге одређује) и  
 $W_0$  [kg] - маса сувог дрвета.

Садржај влаге у дрвету на влажној маси представља садржај влаге у дрвету у свежем стању и најчешће се користи као карактеристика дрвних горива. Зависност густине и насипне густине преовлађујућих врста дрвета од садржаја влаге приказана је у табели 3.7 [73,76].

Табела 3.7 Густина и насипна густина преовлађујућих врста дрвета у зависности од садржаја влаге

M [%]	буква			храст			смрека			бор		
	kg/m <sup>3</sup>	kg/prm	kg/nm <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/prm	kg/nm <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/prm	kg/nm <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/prm	kg/nm <sup>3</sup>
0	680	422	280	660	410	272	430	277	177	490	316	202
10	704	437	290	687	427	283	457	295	188	514	332	212
15	716	445	295	702	436	289	472	304	194	527	340	217
20	730	453	300	724	450	298	488	315	201	541	349	223
30	798	495	328	828	514	341	541	349	223	615	397	253
40	930	478	383	966	600	397	631	407	260	718	463	295
50	1.117	694	454	1.159	720	477	758	489	312	861	556	354

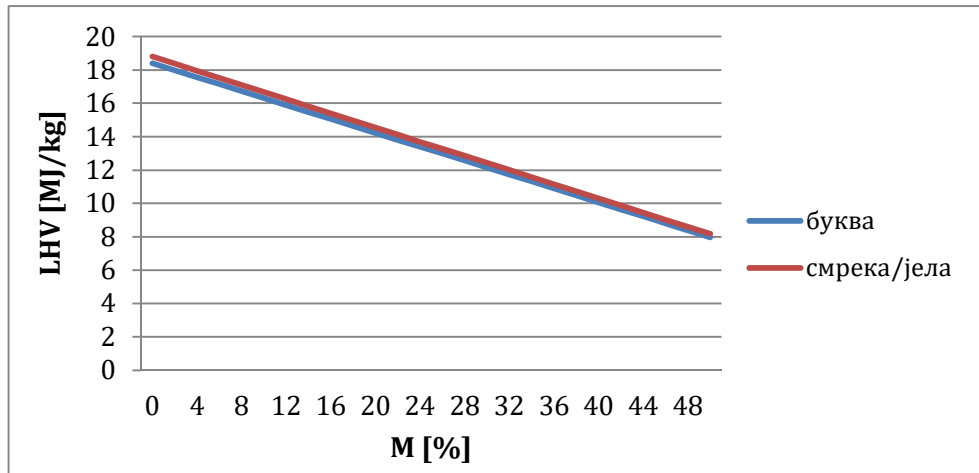
<sup>7</sup> Као сува маса - суво стање биомасе (садржај влаге  $M=0\%$ ) усваја се дрво (или нека друга врста биомасе) након принудног сушења на температури од 105°C током 24 часа.

Доња топлотна моћ дрвета  $LHV_M$  за одређени садржај влаге  $M$  [%] може се израчунати према изразу (3.3):

$$LHV_M = \frac{LHV_0 \cdot (100 - M) - 2,44 \cdot M}{100} \quad (3.3)$$

где је:

$LHV_0$  [MJ/kg] - доња топлотна моћ дрвета у сувом стању.



Слика 3.13. Зависност доње топлотне моћи од садржаја влаге дрвета букве и смреке/јеле

На слици 3.13 приказане су промене топлотне моћи у зависности од садржаја влаге за дрво букве и смреке/јеле.

### 3.3.3. Експлоатација шумских ресурса

Шумска (дрвна) биомаса настаје као последица експлоатације шумских ресурса. Експлоатација шумских ресурса (сеча стабала у шуми и њихово даље коришћење) врши се на два начина: проредним сечама у циљу одржавања састојина и чистим сечама које се изводе на крају животног века састојине у циљу обнављања шумских ресурса. Проредне сече се обављају како би се добила висококвалитетна сировина, тако што се прираст дрвне масе концентрише на квалитетна стабла уклањањем мање квалитетних. Сечом стабла и уклањањем грана добија се дебло које се користи за даљу прераду. Са дебла се уклања и овршак који је пречника испод 7 cm. Шумски остаци (гране и овршци) чине од 11% до 17% укупне количине крупног дрвета [77].

#### Сеча и прикупљање шумске биомасе

Експлоатација шумских ресурса започиње сечом стабала дрвета, уклањањем грања и овршака и извлачењем из шуме до места одакле се може транспортовати у облику обловине, комадног дрвета или дрвне сечке. Стабала дрвета секу се мануелно коришћењем моторних тестера, које представљају један од најраспрострањених начина или, у зависности од терена, специјализованим машинама које имају могућност сече, уклањање грања и овршака тзв. харвестер (енг. *harvester*) (слабо заступљено у Србији).

Извлачење дрвне масе из шуме до места одакле се може даље транспортовати назива се и примарним транспортом [36] и обавља се специјализованим машинама које могу бити посебне врсте трактора са механизмом за намотавање сајле (LKT), кранови-жичаре са торњевима и специјализоване машине са више функција (енг. *forwarder*). У Србији су најзаступљенији различити облици трактора са механизмима за намотавање сајле.

#### Транспорт од локације ресурса до складишта или локације финалног коришћења

Прикупљена шумска биомаса се са локације ресурса транспортује до примарног складишта, одакле се по потреби транспортује до локације постројења за валоризацију. Транспорт шумске биомасе обавља се специјално прилагођеним теретним возилима у зависности од облика и величине биомасе. Уколико се врши транспорт компактног дрвета (трупци-обловина), користе се камиони који су опремљени дизалицама за утовар и истовар дрвета. Ови камиони су најчешће, уколико то дозвољавају конфигурација терена и саобраћајна инфраструктура, опремљени додатном приколицом чиме се увећава транспортни капацитет. Камиони са дизалицом, могу се користити и за транспорт метарског дрвета, али и шумских остатака.

Уколико је биомасу потребно транспортовати у облику дрвне сечке (поступци добијања сечке ће бити описани у делу који следи), користе се камиони који поседују приколицу са телескопским цилиндром (камион-кипер). Приколице на овом типу камиона израђене су тако да приликом транспорта спречавају расипање дрвне сечке. Сечка се истовара накретањем приколице на једну страну помоћу телескопског цилиндра. Поред приказаних транспортних средстава, за транспорт шумске биомасе могу се користити и одређене врсте трактора са приколицом, камиони са измењивим контејнерским приколицама, итд.

#### Уситњавање дрвне биомасе - добијање сечке

За потребе складиштења и даље конверзије, дрвну биомасу (осим огревног дрвета) је потребно уситнити до величине од 0,6 до 10 cm [9,12].

Уситњавање, односно редукација величине и промена облика биомасе обавља се кроз препроцесну операцију млевења. У зависности од врсте даље конверзије, транспортних растојања и количине доступне биомасе, разликују се два различита система за уситњавање биомасе:

- централни терминали са индустријским млином, који се најчешће користе за припрему материјала за производњу дрвених плоча или за уситњавање великих количина биомасе;
- мобилни системи који могу да опслужује више локација и који имају велику примену код експлоатације шумских остатака.

#### Складиштење

Прикупљена дрвна биомаса се пре даљег коришћења чува у складиштима која су неопходна како би балансирала сезонске флукуације између захтева постројења и прикупљања, односно доступности биомасе из шуме. У складиштима се могу чувати неуситњена и уситњена биомаса, као и спроводити процес уситњавања [78]. Постоје две врсте складишта: отворена и затворена складишта.

Отворена складишта подразумевају локације на којима се на отвореном простору чува дрвна биомаса. Овај тип складишта је погодан за складиштење биомасе у компактном или уситњеном стању. Сушење се врши природним путем, при чему се као заштита од неповољних временских услова користе покривне фолије.

Затворена складишта представљају хале у којима се чува дрвна биомаса потпуно заштићена од спољашњих услова. У овом типу складишта најчешће се чува дрвна сечка, која се суши природним или принудним путем.

### 3.3.4. Процеси за конверзију енергије биомасе

Шумска биомаса се након прикупљања, уситњавања и складиштења, транспортује до постројења за конверзију у којима се применом одређених технологија добија енергија (топлотна и/или електрична енергија) или се производе биогорива. Доступне технологије за конверзију биомасе заснивају се на следећим процесима [68,70]:

- термохемијски процеси,
- биохемијски процеси и
- физичко-хемијски процеси.

#### Термохемијски процеси

Термохемијски процеси обухватају процесе сагоревања, гасификације и пиролизе. Најчешће се користе и најпогоднији су за конверзију енергије из чврсте биомасе. Сагоревање је процес у коме долази до оксидације горивих састојака биомасе при чему долази до генерисања топлоте, односно то је процес трансформације хемијске енергије садржане у гориву у топлоту. Процес сагоревања биомасе је сличан процесу сагоревања фосилних горива и за обављање овог процеса могу се користити постојеће технологије за сагоревање фосилних горива. Биомаса може да сагорева истовремено са фосилним горивима, када се овај процес назива ко-сагоревање. Генерисана топлота која настаје као резултат процеса сагоревања се може користити за загревање простора и санитарне топле воде у јавном, комерцијалном и стамбеном сектору, генерисање процесне паре и топле воде у индустрији (топлане/котларнице и когенерациона постројења) и за генерисање електричне енергије (термоелектране и когенерациона постројења).

Гасификација је процес трансформације чврстог биогорива у гасовито, при чему се добија гас са ниским садржајем метана ( $\text{CH}_4$ ) и ниском топлотном моћи. Гасификација се заснива на процесу који је сличан процесу сагоревања, али се процес одвија у ограниченој количини ваздуха или кисеоника - непотпуно сагоревање. Технологија коришћења добијеног гаса зависи од хемијског састава и степена пречишћености. Добијени гас се најчешће користи у постројењима за производњу електричне енергије или когенерационим постројењима. Постројења у којима се може користити добијени гас, у зависности од својстава, су гасне турбине, мотори са унутрашњим сагоревањем и котлови.

Трансформација чврстих горива у течна одвија се током поступка пиролизе. Слично као код процес гасификације и пиролиза се одвија у ограниченој количини ваздуха без присуства кисеоника и представља један од корака у процесу гасификације и сагоревања. Као продукти пиролизе добијају се течна биогориво, синтетички гас који се поново користи у процесу и угљен. Течно биогориво се може користити у постројењима

за генерисање топлоте и електричне енергије или, у рафинисаном стању, као транспортно гориво.

Како је дрвна биомаса предмет изучавања у оквиру дисертације у наредним поглављима ће бити приказана нека од постројења и технологије засноване на термохемијским процесима, која се ефикасно могу користити за третирање ове врсте биомасе.

### Биохемијски процеси

Биохемијски процеси обухватају процесе анаеробне дигестије, ферментације и естерификације. Анаеробна дигестија је процес за конверзију биомасе са високим садржајем влаге у циљу добијања гаса (биогаз) са високим садржајем метана. Процес се одвија у одсуству кисеоника (анаеробни услови) и биогаз настаје као резултат разградње материје под дејством анаеробних бактерија. Добијени биогаз може се, у зависности од хемијског састава и степена пречишћености, користити у гасним турбинама, моторима са унутрашњим сагоревањем или у домаћинствима на исти начин као и природни гас. Након завршеног процеса анаеробне дигестије, разграђена чврста материја која остаје представља квалитетно ђубриво без загађивача.

Ферментација је анаеробни процес у коме долази до разлагања глукозе садржане у органским материјалима. За процес ферментације погодни су материјали који имају висок садржај шећера (шећерна трска, кукуруз) или висок садржај скроба (пшеница, јечам, оvas). Конверзијом глукозе (или неких других угљених хидрата) добија се етанол ( $C_2H_5OH$ ) који се може користити као погонско гориво у моторима са унутрашњим сагоревањем. Чврсти остатак из процеса ферментације шећерне трске може се користити као сточна храна, док се остатак ферментације осталих материјала може користити гориво за сагоревање у котловима.

Добијање течних био-горива која се могу користити као замена за фосилна дизел горива одвија се у процесу естерификације. Процесом естерификације (или трансестерификације), односно хемијском реакцијом више незасићених масних киселина и алкохола у присуству катализатора добија се биодизел. Биодизел се, у одређеној мери, може користити као супституција за фосилна дизел горива, при чему ниво супституције зависи од конструкције мотора са унутрашњим сагоревањем. У току процеса, као резултат трансестерификације, поред биодизела добија се и глицерин који се користи у хемијској индустрији.

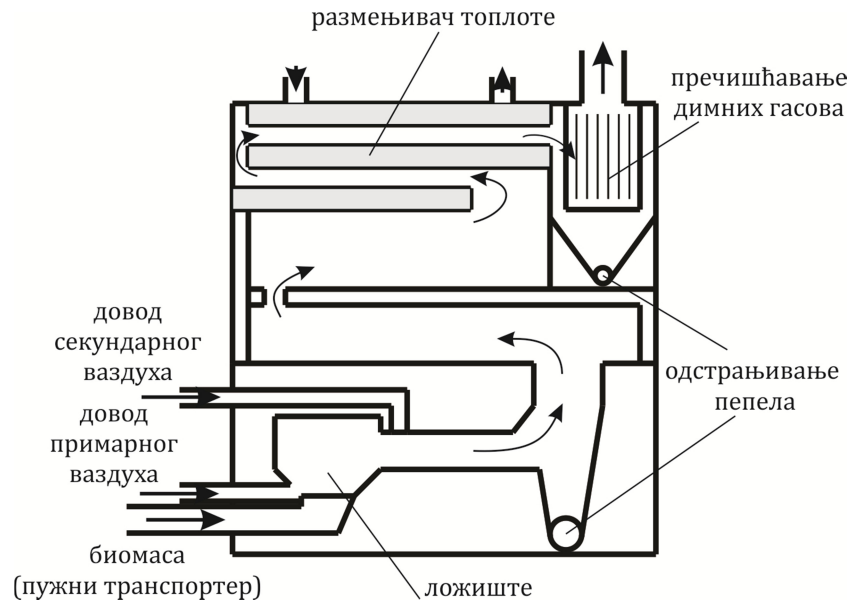
### 3.3.5. Технологије за конверзију дрвне биомасе термохемијским процесима

#### Сагоревање дрвне биомасе

Сагоревање биомасе је процес конверзије енергије садржане у биомаси у топлоту у присуству кисеоника. Постројења за сагоревање дрвне биомасе имају распон снага од неколико kW па до преко 150 MW. Сагоревање се, у зависности од конструкционих решења, може вршити у покретном и непокретном слоју на решетки (постројења снаге од неколико kW) или у флуидизованом слоју (већа постројења).

Биомаса се у котлове код којих се сагоревање врши у непокретном слоју доводи различитим системима до ложишта (решетке). По том основу се могу поделити на котлове код којих се биомаса доводи са доње стране решетке и котлове код којих се

биомаса доводи са горње стране решетке. Ваздух неопходан за сагоревање код котлова са решетком доводи са доње стране, без обзира на то одакле се доводи биомаса.

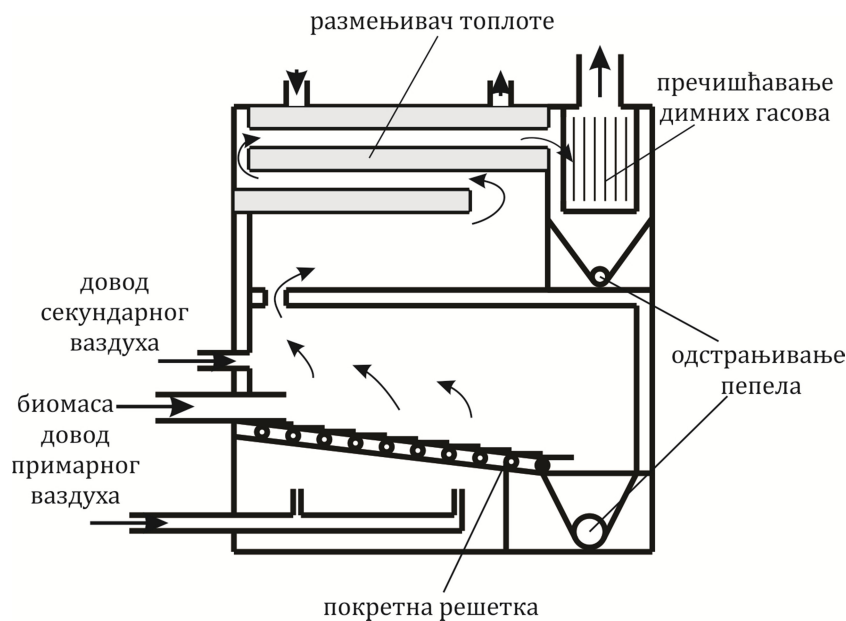


Слика 3.14. Котао код кога се биомаса доводи са доње стране [74]

Котлови код којих се биомаса и потребан ваздух уводе са доње стране решетке (слика 3.14), обезбеђују да се биомаса која сагорева не хлади другом биомасом или ваздухом који се убацује. Ови котлови се могу поделити на две врсте и то на: котлове са хоризонталним пуњењем биомасом и бочним пражњењем пепела и котлове са гравитационим пуњењем и задњим пражњењем пепела.

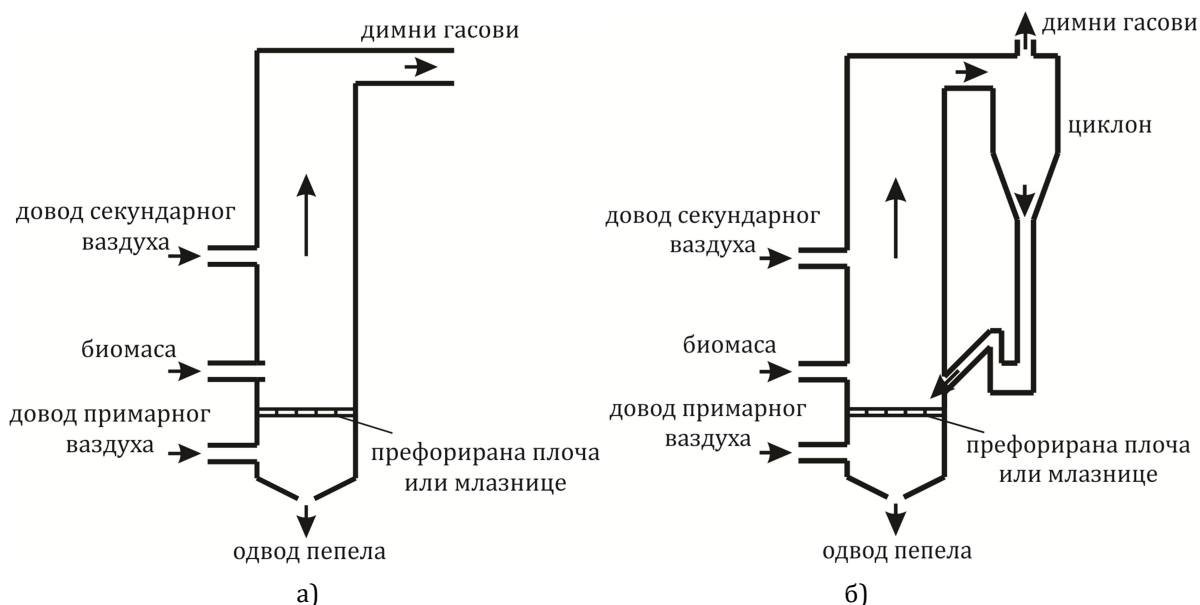
Котлови код којих се биомаса доводи са горње стране (слик 3.15) класификују се према начину на који се биомаса уводи и сагорева у ложишту. Ови котлови могу бити изведени са континуираним увођењем горива у слојевима на један крај решетке и са системом за дистрибуцију уситњене биомасе. Дебљина слоја код котлова са континуираним увођењем се контролише висином отвора кроз који се уводи биомаса, чиме се контролише и снага котла. Ови котлови се даље могу разврстати на котлове са водом хлађеном вибрирајућом решетком, и котлове са покретном решетком.

Код котлова са системом за дистрибуцију, уситњена биомаса се доводи изнад горућег слоја, чиме се при убацивању биомасе омогућава да честице мање величине сагоре и пре него што падну на решетку. Код ових котлова решетке су најчешће покретне и могу бити изведене као покретне решетке, ваздушно хлађене вибрирајуће решетке и водом хлађене вибрирајуће решетке [79].



Слика 3.15. Котао код кога се биомаса доводи са горње стране решетке [74]

За разлику од сагоревања на решетки, где се биомаса налази у слоју, код сагоревања у флуидизованом слоју честице лебде услед струјања ваздуха који се доводи у котао. Ваздух се доводи кроз решетку која се налази на доњој страни котла. Врста флуидизованог слоја који се може постићи зависи од брзине ваздуха који се доводи, али и од величине и облика честица биомаса. У складу са режимом флуидизације (врстом флуидизованог слоја) разликују се две врсте котлова за сагоревање у флуидизованом слоју и то котлови за сагоревање у мехурастом флуидизованом слоју (*BFB*) (слика 3.16а) и циркулациони котлови за сагоревање у турбулентном флуидизованом слоју (*CFB*) (слика 3.16б). Сагоревање у флуидизованом слоју у поређењу са сагоревањем у слоју омогућавају већу ефикасност процеса и мању емисију полутаната.



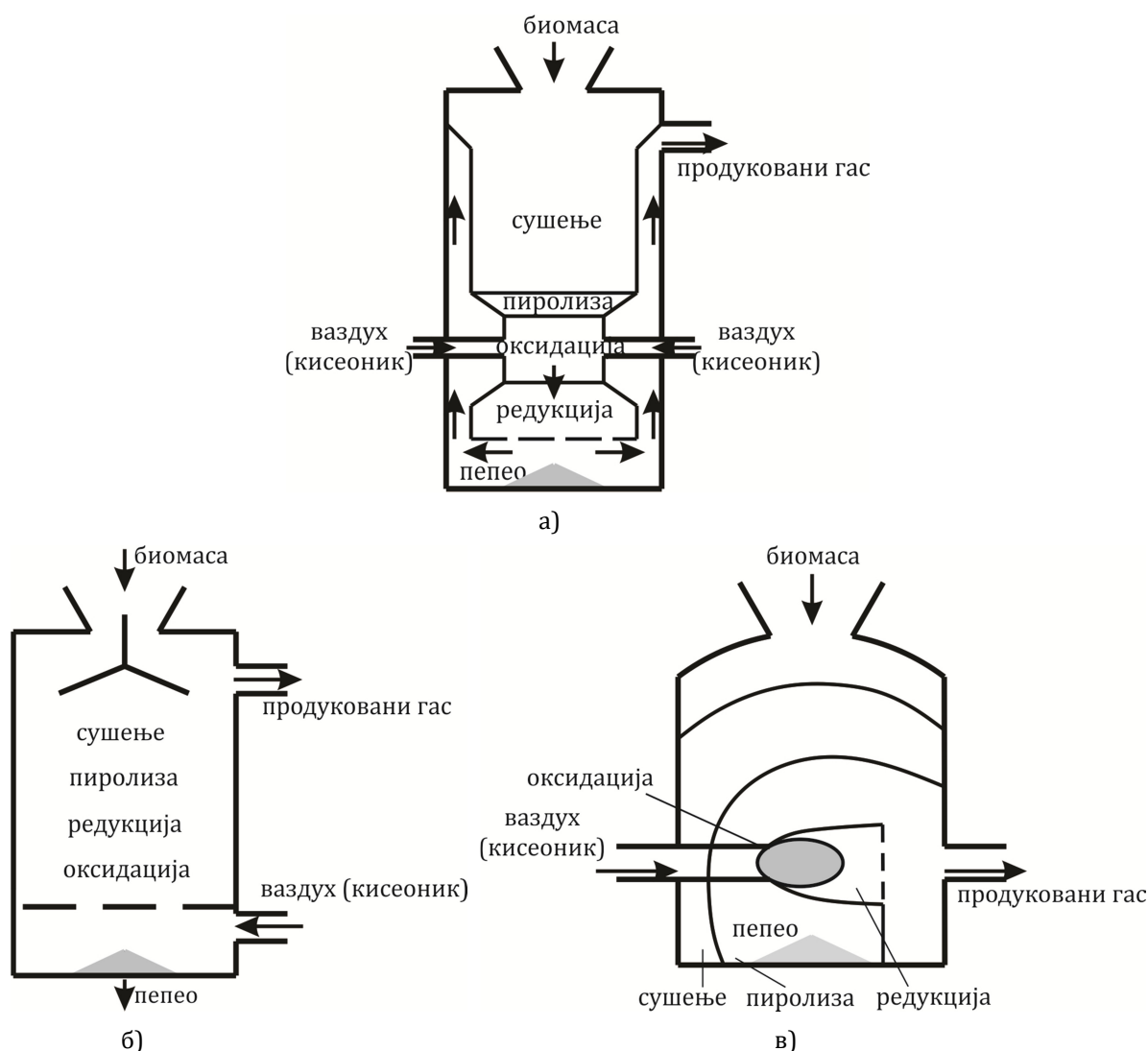
Слика 3.16. Шематски приказ котлова за сагоревање у флуидизованом слоју: а) сагоревање у мехурастом флуидизованом слоју; б) сагоревање у турбулентном флуидизованом слоју [79]



Сагоревање у флуидизованом слоју је посебно погодно за материјале који могу имати висок садржај воде као што је случај са дрвном биомасом. Ови котлови се користе за постројења већих снага; *BFB* до 100 MW и *CFB* од 100 до 500 MW.

### Гасификација дрвне биомасе

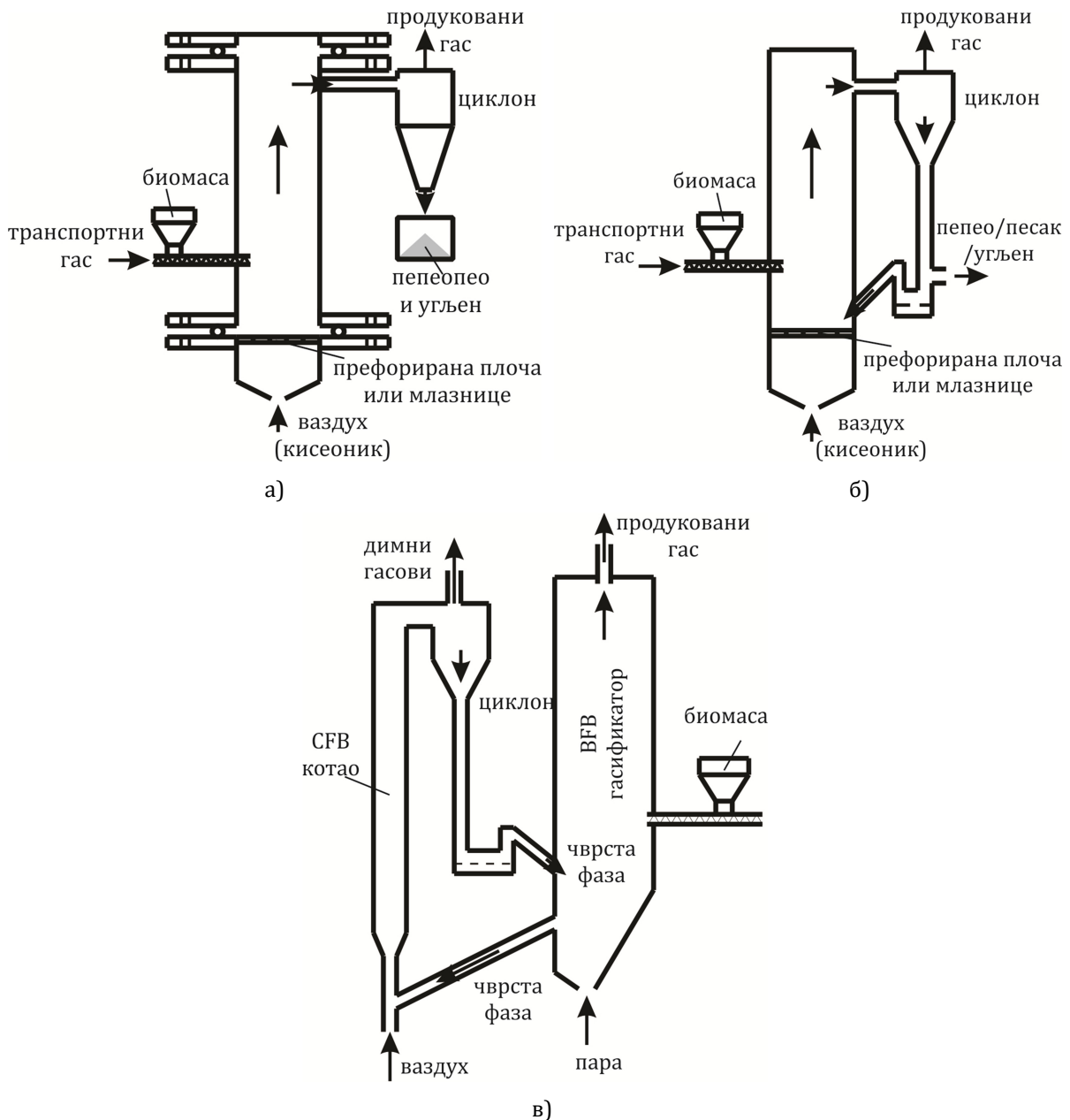
Гасификација је процес трансформације чврстог горива у гасовито, у процесу који је сличан непотпуном сагоревању. Топлотна моћ добијеног гаса у зависности од садржаја метана износи од 10% до 50% (4 - 6 MJ/m<sup>3</sup> када се реакција одвија у присуству ваздуха и 12 - 20 MJ/m<sup>3</sup> када се реакција одвија у присуству чистог кисеоника) топлотне моћи природног гаса која износи 33,5 - 40 MJ/m<sup>3</sup>. Начин, односно технологија коришћења добијеног гаса зависи од хемијског састава и степена пречишћености.



Слика 3.17. Шематски приказ гасификатора у флуидизованом слоју: а) са истосмерним струјањем; б) са супротносмерним струјањем; в) са унакрсним струјањем [80]

Гасификација у флуидизованом слоју се одвија у уређајима у којима се биомаса налази у сличном стању као што је то случај код сагоревања. У зависности од нивоа флуидизације

и конструкције разликује се више врста гасификатора при чему се најчешће користе: гасификација у мехурастом флуидизованом слоју (слика 3.18а), гасификација у циркулационом флуидизованом слоју (слика 3.18б), и двоструки гасификатори у флуидизованом слоју (слика 3.18в).



Слика 3.18. Шематски приказ гасификатора у флуидизованом слоју: а) гасификатори са мехурастим флуидизованим слојем, б) гасификатори са циркулационом флуидизованом слоју, в) двоструки гасификатори у флуидизованом слоју

Код гасификације у мехурастом флуидизованом слоју ваздух (кисеоник) се доводи са доње стране кроз перфорирану плочу или помоћу већег броја млазница. Биомаса се доводи изнад перфориране плоче и заједно са ваздухом се креће навише. Генерисани гас се у циклону раздваја од пепела и чађ и одводи даље до корисника или постројења за третирање. Чађ и пепео се из резервоара одстрањују из даљег процеса. За разлику од

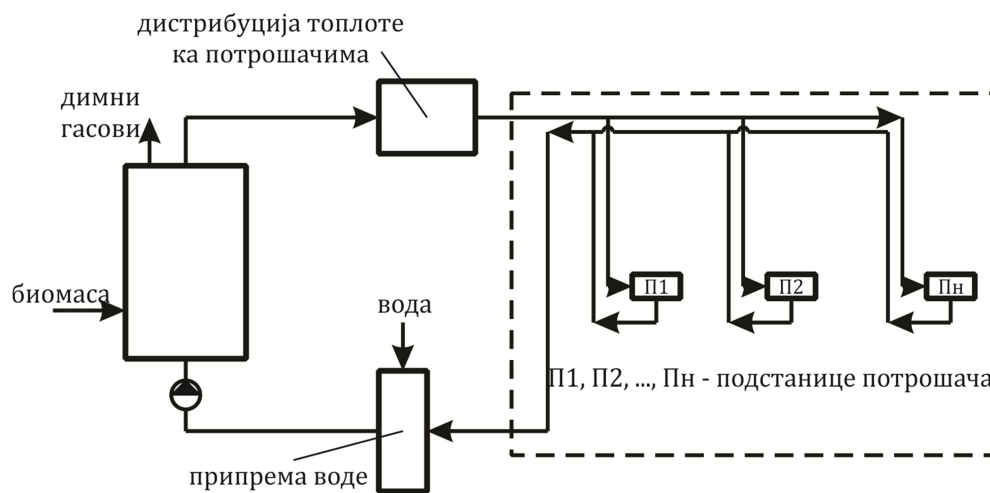
гасификације у мехурастом флуидизованом слоју, процес гасификације у циркулационом флуидизованом слоју се одвија у режиму флуидизације који је нешто турбулентнији. Код овог типа гасификације гас се одваја у циклону, чврсти угљен и непотпуно третирана биомаса се поново враћају у реактор, док се пепео одваја из процеса.

Двоструки гасификатори су развијени како би се умањио негативан утицај оксидације азота који се налази у ваздуху на топлотну моћ добијеног гаса. Ови гасификатори се састоје од циркулационог котла за сагоревање у флуидизованом слоју и гасификатора за гасификацију у мехурастом флуидизованом слоју. Чврсти остаци гасификације се из гасификатора уводе у котао где сагоревају у присуству кисеоника, при чему се димни гасови који садрже азотне оксиде одвајају од чврсте фазе у циклону и одводе из система.

### 3.3.6. Постројења за конверзију (трансформацију) биомасе

#### Топлане/котларнице на дрвну биомасу

Топлане/котларнице користе биомасу за генерисање топлоте, која се користи за задовољење топлотних потреба корисника било да се ради о загревању простора, санитарне топле воде или потребама индустријских процеса. Котлови који се користе у овим постројењима, најчешће користе дрвну сечку, дрвне пелете или агропелете или евентуално балирану сламу [81]. Шематски приказ топлане која као гориво користи дрвну сечку приказан је на слици 3.19.



Слика 3.19. Шематски приказ топлане

Топлана која као гориво користи дрвну сечку састоји се од прихватног складишта, система за транспорт дрвне сечке до ложишта, котла и система за дистрибуцију топлоте у мрежу. Савремени котлови на дрвну сечку омогућавају једноставну регулацију у распону од 25% до пуног оптерећења, при чему се не нарушавају стандарди по питању емисије полутаната.

#### Електране и когенерациона постројења на дрвну биомасу

Производња електричне енергије у постројењима која користе дрвну биомасу као улазну сировину може се одвијати самостално у термоелектранама (што је ређи случај)

или комбиновано уз истовремено генерисање топлоте која се шаље корисницима. Постројења и технологије које се користе су у основи исте, осим што се код когенерационих постројења налази размењивач топлоте којим се топлота предаје систему за дистрибуцију корисницима. Електране/когенерациона постројења на дрвну биомасу могу се поделити у зависности од тога да ли се врши директно сагоревање биомасе, или се претходно врши гасификација. Карактеристике комерцијално доступних технологија приказане су у табели 3.8.

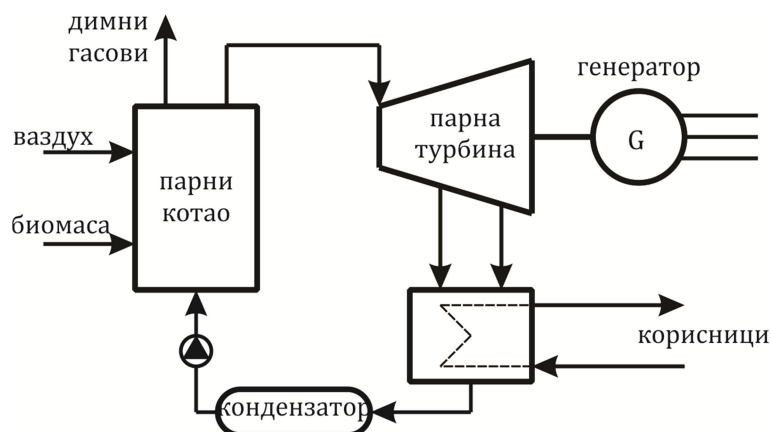
Обзиром на технологију која се користи, постројења са директним сагоревањем биомасе могу се поделити на:

- постројења са парном турбином (конвенционални Ранкинов циклус),
- постројења са органским Ранкиновим циклусом (ОРЦ) и
- постројења са Стирлинговим мотором.

Табела 3.8 Комерцијално доступне когенерационе технологије [82,83,84]

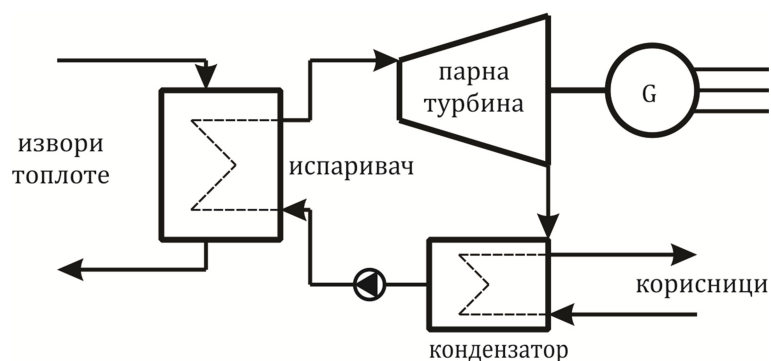
Технологија	Врста горива	Инсталирани капацитет [MWe]	Ефикасност генерисања електричне енергије[%]	Укупна ефикасност [%]
парна турбина	било које	0,5 - 500	15 - 34	85 - 93
гасна турбина	гасовита и течна горива	0,25 - 200	25 - 42	65 - 87
комбиновани циклус	гасовита и течна горива	3 - 300	35 - 55	73 - 90
мотор са унутрашњим сагоревањем	гасовита и течна горива	0,003 - 20	25 - 45	65 - 92
Стирлингов мотор	било које	0,003 - 1.5	20 - 40	80 - 90
органски Ранкинов циклус	било које	0,02 - 10	10 - 25	85

Велики број постројења која користе чврсту биомасу као гориво заснива се на конвенционалном Ранкиновом циклусу, слика 3.20. Биомаса сагорева у котлу и ослобођена топлота се предаје води која испарава и затим се одводи до парне турбине на коју је повезан генератор електричне енергије. Водена пара при проласку кроз турбину експандира и делимично се кондензује. Пре него што се врати у котлао потребно је извршити потпуну кондензацију водене паре, што се код термоелектрана дешава у расхладним торњевима, при чему се топлота испушта у околину, док се код когенерационих постројења, топлота у размењивачу топлоте предаје систему за дистрибуцију ка корисницима.



Слика 3.20. Шематски приказ постројења са парном турбином

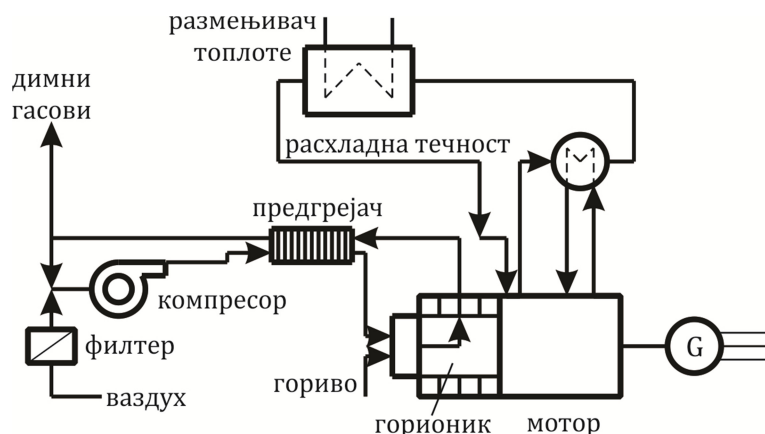
Органски Ранкинов циклус (слика 3.21) је исти као и конвенционални, али се код овог циклуса као радни флуид користи нека од органских течности (фреон, флуороугљеници, хидрофлуороугљеници, итд) која има нижу температуру испаравања. За разлику од конвенционалног циклуса где испаравање воде настаје као последица сагоревања горива у парном котлу, код органског циклуса до испаравања долази у испаривачу (размењивач топлоте) у коме се топлота из екстерног извора предаје радном флуиду. Радни флуид се у органском Ранкиновом циклусу креће у оквиру затвореног циклуса при чему, нема контакта радног флуида и околине. Када се као гориво користи дрвна биомаса, екстерни извор топлоте је топоводни котлао. ОРЦ се карактерише релативно добрим параметрима при делимичним оптерећењима<sup>8</sup>.



Слика 3.21. Шематски приказ постројења заснованог на ОРЦ

Стирлингови мотори су мотори који раде на принципу спољашњег сагоревања. То значи да било који извор топлоте може бити коришћен за његово покретање, а самим тим могу бити коришћене различите врсте горива. Као радни флуид у Стирлинговим моторима, користи се водоник, хелијум или ваздух. Постројења заснована на овим моторима су снаге до 200 kW. Шематски приказ постројења приказан је на слици 3.22.

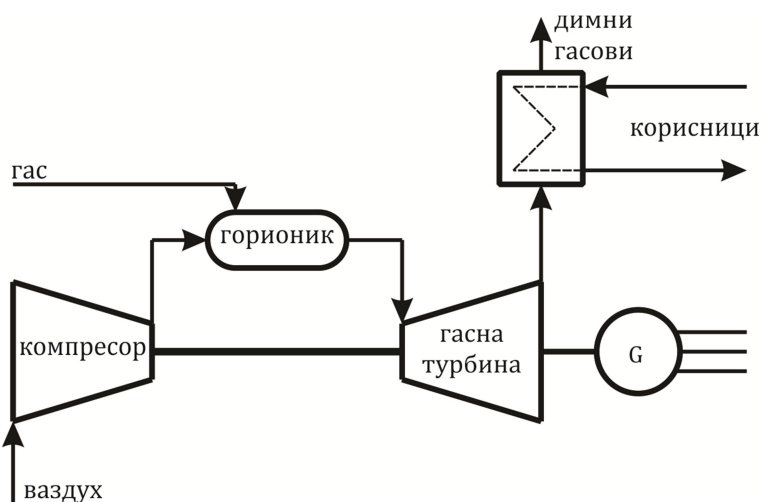
<sup>8</sup> <http://www.turboden.eu/en/public/downloads/NEW%20-%20ORC%20Brochure%20leaflet%20MR.pdf>



Слика 3.22. Шематски приказ постројења заснованог на Стирлинговом мотору

Индијектно коришћење дрвне биомасе за генерисање електричне енергије и/или топлоте подразумева коришћење гаса који је настао након процеса гасификације. Добијени гас се након процеса гасификације третира, чиме се добија чисти синтетички гас. Овакав гас се може користити за сагоревање у котловима за генерисање топле воде и паре или у гасним турбинама, комбинованом циклусу и моторима са унутрашњим сагоревањем за производњу електричне енергије (и топлоте).

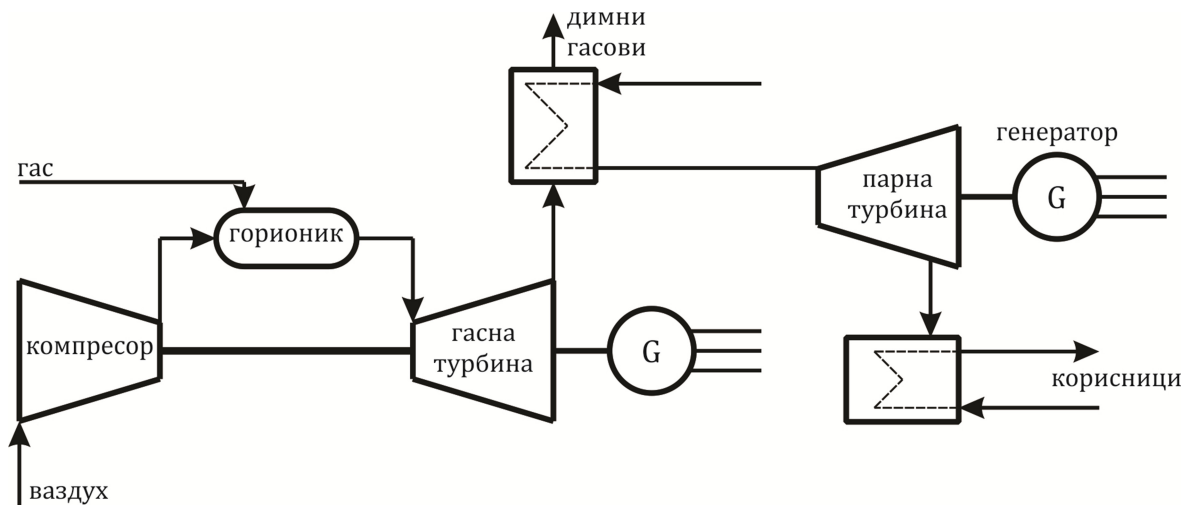
Гасне турбине су једна од најчешће примењиваних технологија у системима за комбиновану производњу електричне и топлотне енергије већих снага. Снага гасних турбина које се примењују у когенерацији најчешће се крећу од 1 до 100 MW. Шема постројења са гасном турбином приказана је на слици 3.23.



Слика 3.23. Шематски приказ постројења заснованог на гасној турбини

Околни ваздух се усисава и сабија у компресору, одакле се одводи у грејну комору у коју се убризгава гас. Смеша компримованог ваздуха и горива сагорева при чему долази до генерисања топлоте при константном притиску (притисак је одређен компримовањем ваздуха). Настали продукти сагоревања (високог притиска и температуре) се одводе до гасне турбине где експандирају, до приближно атмосферског притиска, при чему се генерише механички рад, који се користи за покретање генератора електричне енергије и компресора. Издувни гасови високе температуре се даље одводе до котла утилизатора

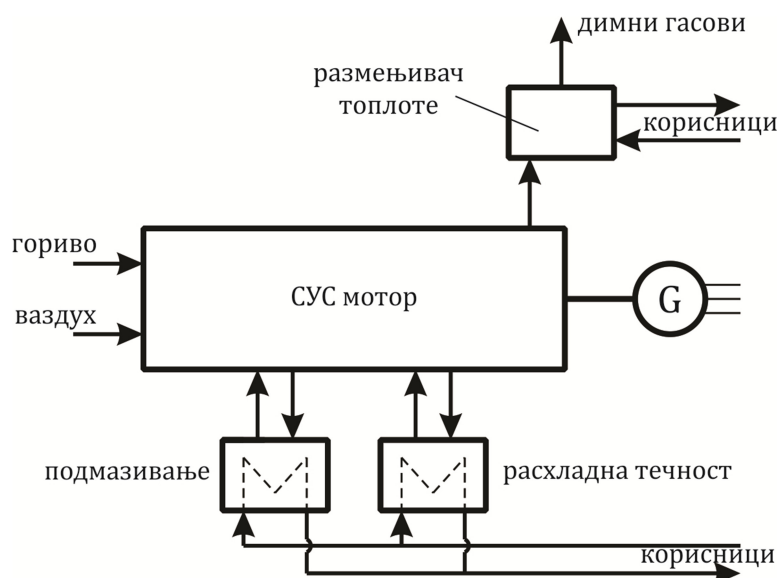
где се топлота предаје у циљу генерисања водене паре високог притиска и температуре која се даље може користити за грејање и за технолошке потребе.



Слика 3.24. Шематски приказ постројења заснованог на комбинованом циклусу

Генерисана водена пара се може одвести до парне турбине где ће се генерисати додатна количина електричне енергије и тек се онда спровести до размењивача топлоте како би се топлота предала систему за снабдевање топлотног конзума. Систем који чине гасна и парна турбина назива се комбиновани циклус (слика 3.24).

Мотори са унутрашњим сагоревањем су погодни за примену у мањим постројењима за генерисање електричне енергије и топлоте (слика 3.25). Као погонско гориво се може користити гас који је добијен у процесу гасификације дрвне биомасе. Сагоревањем мешавине гаса и ваздуха унутар цилиндра мотора долази до покретања клипова који даље покрећу вратило на које је везан генератор електричне енергије. Топлота која се може искористити за задовољење потреба конзума настаје као последица рекуперације топлоте из издувних гасова, средстава за подмазивање и расхладне течности.

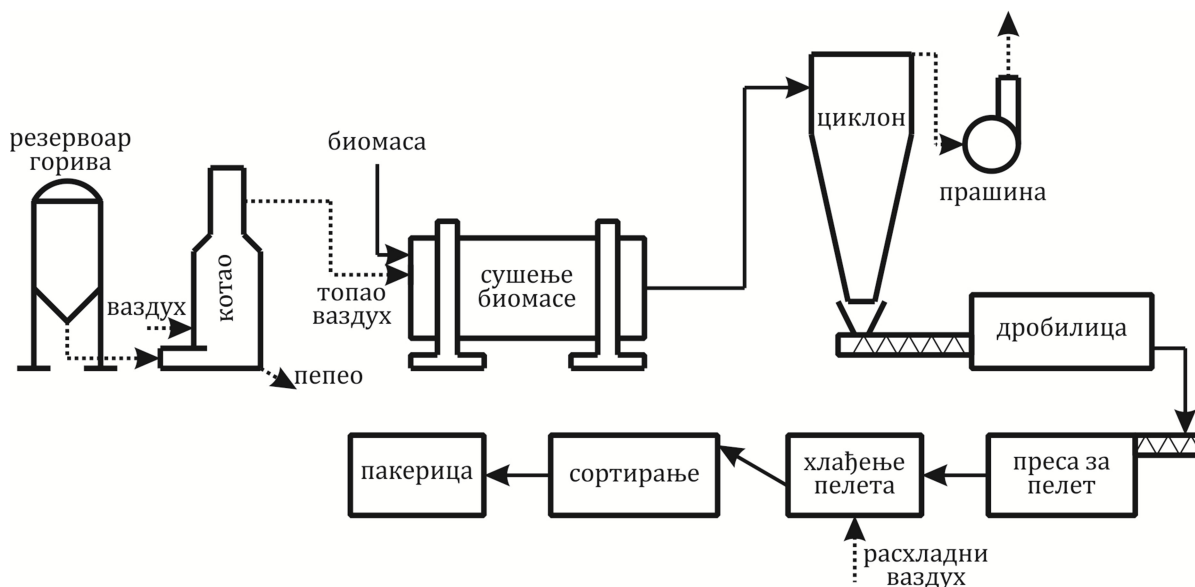


Слика 3.25. Шематски приказ постројења заснованог на мотору са унутрашњим сагоревањем

### Производња пелета

Производња пелета се може посматрати као широко распрострањени и развијени процес добијања чврстих горива из биомасе. Овај процес подразумева пресовање уситњене биомасе (или неког другог материјала) под високим притиском у циљу добијања компактне форме велике насипне густине. Процес пелетирања дрвне биомасе се обавља у постројењима чији су саставни делови приказани на слици 3.26.

Сировина се, најчешће у виду дрвне сечке допрема до постројења, у коме се по потреби додатно уситњава и убацује у уређаје за сушење. Уређаји за сушење дрвне биомасе су, у зависности од величине постројења, циклонски сушач код малих и средњих постројења (0,1 - 1 t/h) и ротациони бубањ код великих постројења (капацитета преко 1 t/h). Након процеса сушења сува дрвна биомаса се одводи до циклона где се дрвна прашина одваја из циклуса. После раздвајања прашине у циклону, дрвна биомаса се даље транспортује до дробилице где се велики комади дрвне сечке додатно уситњавају и након тога се припремљена сува дрвна биомаса складишти, најчешће у контејнерима.



Из контејнера се припремљена маса допрема до пресе за пелет, одакле се добијени пелети шаљу до хладњака, у коме се, пелети хладе до одређене температуре, а затим се сортирају и даље шаљу на паковање. Квалитет произведених пелета зависи од квалитета улазне сировине (дрвне биомасе), као и од карактеристика постројења (притисак, температура, садржај воде итд.). Квалитет који би требали да имају добијени пелети прописан је стандардима. У табели 3.9. су приказане карактеристике које би требао да има дрвни пелет високог квалитета према стандарду *DIN plus*.

Производња пелета захтева коришћење (потрошњу) одређене количине енергије (топлотне и електричне). Највећа количина енергије (не рачунајући транспорт) по јединици производа се утроши на процес сушења биомасе (око 70%) и на процес пресовања (око 13%) [85,86]. Потрошња енергије за производњу пелета зависи од



својстава биомасе, као и од величине и карактеристика постројења и износи 500 - 1000 kWh<sub>t</sub>/t топлотне енергије и 100 - 200 kWh<sub>e</sub>/t електричне енергије [86].

Табела 3.9 Параметри којима се описује квалитет дрвног пелета

Параметар	Јединица	Вредност
пречник $D$	[mm]	4 - 10
дужина	[mm]	< 5 $D$
густина	[kg/m <sup>3</sup> ]	> 1.120
доња топлотна моћ	[MJ/kg]	> 18
садржај воде	[%]	< 10
абразивност	[%]	< 2,3
садржај пепела	[%]	< 0,5
садржај хлора	[%]	< 0,02
садржај сумпора	[%]	< 0,04
садржај азота	[%]	< 0,3

### 3.4. Математичка оптимизација

Математичка оптимизација, односно математичко програмирање<sup>9</sup> има велики значај и примену у области коришћења биомасе јер омогућава генерисање и одабир оптималних решења за коришћење биомасе у енергетске сврхе. Како би се биомаса користила на енергетски, еколошки и економски оправдан и ефикасан начин неопходно је извршити планирање, односно организовање ланца снабдевања биомасом [23]. Ланац снабдевања биомасом подразумева пут биомасе од локације ресурса до крајњег корисника. У зависности од врсте биомасе која се користи, облика у ком се налази и начина на који се прикупља, транспортује и складишти, као и технологије која се користи за валоризацију биомасе, модели математичке оптимизације могу бити у већој или мањој мери сложени. Модели математичке оптимизације који се најчешће користе су засновани на методима:

- линеарног програмирања ( $LP$ ),
- мешовитог целобројног линеарног програмирања ( $MILP$ ) и
- мешовитог целобројног нелинеарног програмирања ( $MINLP$ ).

#### 3.4.1. Линеарно програмирање ( $LP$ )

Линеарно програмирање (линеарна оптимизација) је метод који се користи за проналажење оптималног решења, односно оног решења за које се постиже најбоља вредност неке функције циља у оквиру скупа свих могућих решења (која задовољавају задата ограничења) [87]. Линеарно програмирање се може дефинисати и као проналажење решења максимизације или минимизације линеарне функције при

<sup>9</sup> Термин програмирање се у овом контексту користи као синоним за планирање и разликује се од термина који се користи у софтверском инжењерству.

линеарним ограничењима. Променљиве чија се решења траже припадају скупу реалних бројева.

Општи модел линеарног програмирања може се написати у форми (3.4) [87]:

$$\begin{array}{l} \max \\ \min \end{array} f(x) = \sum_j c_j x_j \quad (3.4)$$

при ограничењима

$$\begin{array}{l} \sum_j a_{i,j} \cdot x_j \leq b_i \\ \sum_j a_{i,j} \cdot x_j \geq b_i \end{array} \quad i=1, \dots, I$$

$$x_j \geq 0 \quad j=1, \dots, J$$

где су  $c_i$ ,  $a_{ij}$ ,  $b_j$  задати реални бројеви.

Уколико су ограничења истог типа и  $c=(c_1, c_2, \dots, c_j)$ ,  $b=(b_1, b_2, \dots, b_I)$ ,  $x=(x_1, x_2, \dots, x_j)$  тада се проблем LP може приказати у матрично-векторској форми (3.5):

$$\begin{array}{l} \max \\ \min \end{array} cx \quad (3.5)$$

по ограничењима

$$Ax = b \text{ и } x_j \geq 0$$

У случају максимизације ограничења у форми неједначина могу се изразити као:

$$Ax \leq b \text{ и } x_j \geq 0$$

односно у случају минимизације:

$$Ax \geq b \text{ и } x_j \geq 0.$$

Линеарно програмирање може имати примену код планирања и организовања ланца снабдевања биомасом. Променљиве у овом случају описују количине прикупљене, транспортоване, ускладиштене, претретиране и конвертоване биомасе [14,88]. Функције циља модела линеарног програмирања су најчешће минимизација укупних трошкова ланца снабдевања биомасом или максимизација профита.

Акхтриа и сарадници (*Akhtari, et al*) [88], су развили LP модел за одређивање оптималних токова шумске биомасе од локације ресурса до топлана у оквиру система даљинског грејања. Функција циља развијеног модела је минимизација укупних трошкова  $Z$  [\$] (3.6):

$$\min(Z) = C^M + C^L + C^C + C^T + C^S \quad (3.6)$$

где су:

- $C^M$  [\$] - трошкови материјала;
- $C^L$  [\$] - трошкови пуњења материјала у млин или утовара у камионе;
- $C^C$  [\$] - трошкови уситњавања материјала;
- $C^T$  [\$] - трошкови транспорта;
- $C^S$  [\$] - трошкови складиштења;

Решавање функције циља (3.6) омогућава проналажење вредности променљивих и то којима су описане величине које фигуришу у функцији циља. Кључне променљиве се односе на одређивање количина шумских остатака који су уситњени, ускладиштени или транспортовани, као и на одређивање количина дрвне сечке која је ускладиштена, транспортована и искоришћена у постројењу.

### 3.4.2. Мешовито целобројно линеарно програмирање (MILP)

Мешовито целобројно линеарно програмирање се употребљава када вредности неких променљивих могу бити из скупа реалних бројева, а неке из скупа целих бројева. Проблем MILP се може приказати у матрично-векторској форми слично као и проблем линеарног програмирања (3.7):

$$\begin{array}{l} \max \\ \min \end{array} cx \quad (3.7)$$

по ограничењима:

$$Ax \begin{array}{l} \geq \\ \leq \end{array} b \text{ и}$$

$$l \leq x \leq u \quad l \text{ и } u \text{ су доња и горња гранична вредност,}$$

при чему:

$$x_i \in Z \quad \forall i \in I.$$

Ова група математичких модела тренутно има најширу примену при разматрању ланца снабдевања и коришћења биомасе. Може се користити нпр. за одређивање броја возила неопходних за транспортовање биомасе, или се може користити за доношење одлука везаних за локације постројења или складишта, уколико се користе бинарне променљиве [14].

Један од модела мешовитог целобројног линеарног програмирања који је развијен од стране Паула и сарадика (*Paulo, et al*) [89], биће приказан у наредном тексту. Модел је развијен у циљу оптимизације функционисања и планирања ланца снабдевања шумских остатака у циљу генерисања електричне енергије. Функција циља предложеног модела је минимизација укупних трошкова ланца снабдевања (3.8):

$$\min(C^{SC}) = C^{INV} + C^{BA} + C^{BT} + C^{OC} + C^{FC} + C^{PT} \quad (3.8)$$

где су:

$C^{INV}$  [€] - инвестициони трошкови сведени на годишњи ниво;

$C^{BA}$  [€] - трошкови набавке биомасе;

$C^{BT}$  [€] - трошкови транспорта биомасе;

$C^{OC}$  [€] - варијабилни трошкови рада постројења;

$C^{FC}$  [€] - фиксни трошкови рада постројења;

$C^{PT}$  [€] - трошкови транспорта готових производа

Параметри и променљиве који фигуришу у једначини којом је дефинисана функција циља, одређују инвестиционе трошкове постројења, да ли је на некој локацији исплативо инсталирати постројење или не, трошкове прикупљања и транспорта, количине произведене електричне енергије<sup>10</sup>, да ли се ова енергија продаје на тржишту или не, итд. Дакле у овом *MILP* моделу су уз линеарне зависности, инкорпориране и бинарне променљиве.

### 3.4.3. Мешовито целобројно нелинеарно програмирање (*MINLP*)

Модел математичке оптимизације у одређеним случајевима може садржати нелинеарне елементе, што је изражено у случајевима када променљиве величине зависе једна од друге. У овим случајевима, када се говори о примени математичке оптимизације на моделирање и планирање коришћења биомасе користе се модели мешовитог целобројног нелинеарног програмирања (3.9).

$$\begin{array}{l} \max \\ \min \end{array} cx + dy \quad (3.9)$$

по ограничењима:

$$Ax + By \begin{array}{l} \geq \\ \leq \end{array} 0,$$

$$l \leq x \leq u$$

при чему:

$$x_i \in Z \quad \forall i \in I.$$

$$y \in N_0$$

Шабани и Солвати (*Shabani and Solwati*) у свом раду [23] развили су модел мешовитог целобројног нелинеарног програмирања за максимизацију укупне вредности ланца снабдевања биомасом у циљу генерисања електричне енергије. Развијени модел као пример примене мешовитог целобројног нелинеарног програмирања биће приказан у наредном тексту.

Функција циља развијеног модела може се написати као (3.10):

$$\max Z = R - (C^P + C^A + C^S + C^{EP}) \quad (3.10)$$

где су:

$R$  [\$] - приходи од продаје електричне енергије;

---

<sup>10</sup> Модел је у раду примењен на моделирање система за генерисање електричне енергије, али се може применити и на системе за генерисање топлотне енергије, комбиновану производњу електричне и топлотне енергије и биогорива.

- $C^B$  [\$] - трошкови биомасе;
- $C^A$  [\$] - трошкови уклањања отпада;
- $C^S$  [\$] - трошкови складишта;
- $C^{EP}$  [\$] - трошкови производње електричне енергије у електрани;

Кључне променљиве које су у међусобној зависности и чије се вредности генеришу решавањем функције циља, су:

- количина биомасе откупљена од добављача одређеног добављача у одређеном месецу,
- количина биомасе ускладиштена у одређеном месецу,
- количина биомасе искоришћена у одређеном месецу за производњу електричне енергије;
- количина електричне енергије која је генерисана одређеном месецу,
- бинарна променљива која дефинише да ли је количина биомасе на складишту у одређеном месецу већа од горње границе складишта за тај месец и
- бинарна променљива која дефинише да ли је количина биомасе на складишту у одређеном месецу мања од доње границе складишта за тај месец,

### 3.5. Backcasting

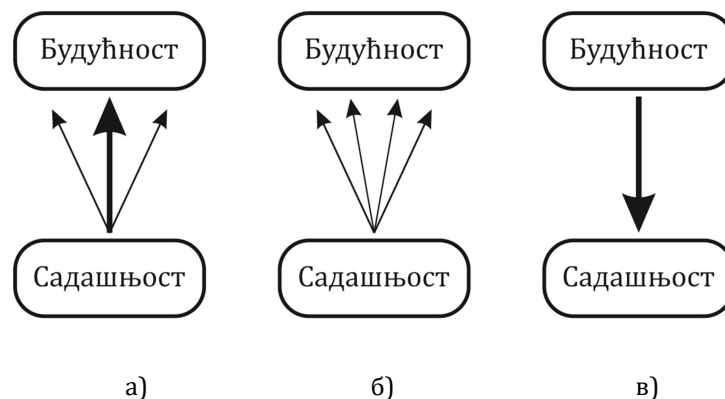
Одрживи развој представља веома сложен изазов јер тежња за побољшањем стања животне средине као и прелазак на веће коришћење ОИЕ (изражено у случају биомасе) захтева технолошке, културне, организационе и институционалне промене на више нивоа. Ове промене често могу бити узајамно зависне што може додатно утицати на комплексност проблема. Промене у неким секторима као што су: индустрија, домаћинства, пољопривреда, превоз робе и људи, поред тога што су комплексне захтевају и дуге временске периоде (и до неколико деценија) [42].

Промене у овим секторима које могу бити технолошке и нетехнолошке могу се, у одређеним случајевима, описати као сложене и неизвесне. Сложеност ових промена се може огледати у великом броју променљивих и великом броју актера и њихових интереса и компликованим друштвеним процесима. Како би се жељене промене оствариле неопходно је извршити дугорочни развој стратегија и одређивање путања које се често разматрају кроз развој различитих сценарија. Може се рећи да је један од главних резултата примене *backcasting*-а дефинисање сценарија за остваривање жељене будућности и њихова анализа у смислу изводљивости и резултата примене [90]. У циљу ближег представљања *backcasting*-а у наредном тексту биће описане три врсте сценарија које се користе код планирања [40].

Прва врста сценарија добија се одговором на питање „Шта ће се догодити у будућности?“ и у овој врсти сценарија је претпостављено да неће доћи до великих промена и да ће се друштва, технологије развијати према устаљеној путањи - екстраполација тренда (*BAU* „*Business as Usual*“ сценарио) (слика 3.27а) [41]. Ове врсте сценарија не узимају у обзир неизвесности и комплексности иако су, генерално, друштвене промене праћење

великим и неизвесним дешавањима, а будућност сама по себи неизвесна. *BAU* сценарији се сматрају релевантним само за краткорочна планирања у добро дефинисаним и стабилним системима и када се жели видети шта ће се догодити ако се не предузму никакве акције. Модерно друштво се карактерише високим степеном технолошког развоја, високим степеном потрошње и материјалистичким начином живота у развијеним земљама, недостатком капитала неразвијеним земљама, потрошњом ресурса и значајним негативним утицајима на животну средину [39,42]. Под оваквим условима, мало је вероватно (осим у кратким роковима) да ће се друштво развијати по овом сценарију.

Друга врста сценарија заснована је на питању „Шта би могло да се догоди?“ (слика 3.27б) [42]. Ови стратегијски (истраживачки) сценарији су засновани на предвиђању, односно дефинисању догађаја који ће се очекивано десити ако се узму у обзир низ фактора, трендова, политички инструменти, културолошке промене и друге сличне променљиве. Иако узимају велики број могућих променљивих, у прошлости, је било случајева који показују да се могу јавити проблеми у реализацији ових сценарија [39]. Развој сценарија који показују потенцијалне неизвесности, промене и утицаје, развојем низа могућих будућности има стратешку важност. Током протеклог периода развијен је велики број сценарија на глобалном нивоу који су разматрали проблеме одрживости. Најутицајнији (истраживачки) сценарији су *IPPC* (*Intergovernmental Panel on Climate Change*<sup>11</sup>) сценарији, који дају моделе предвиђања климатских промена услед деловања гасова стаклене баште и *GEO* (*Global Environmental Outlook*<sup>12</sup>) сценарији креирани од стране *UNEP-a* (*United Nations Environment Programme*).



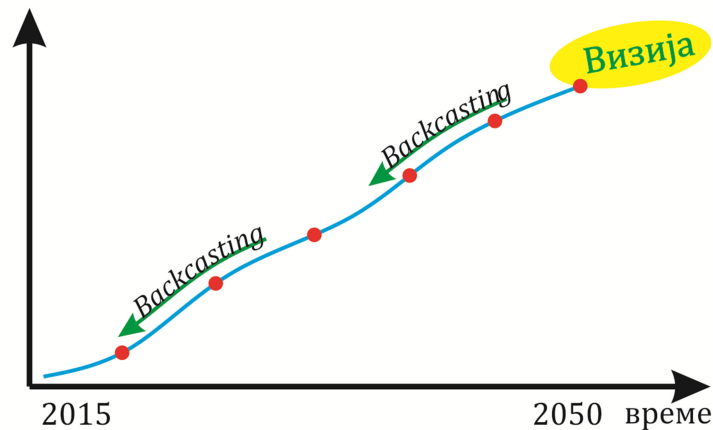
Слика 3.27. Три класе сценарија: а) сценарији уобичајеног понашања; б) сценарији предвиђања; в) нормативни сценарији;

Трећу врсту сценарија представљају сценарији који дефинишу жељену будућност, односно представљају одговор на питање „Како постићи пожељну будућност?“ или „Како би решење одређеног проблема могло да изгледа?“ - нормативни сценарији (слика 3.27в) [41,42]. Један од приступа за креирање ове врсте сценарија је *backcasting*, који се може дефинисати као генерисање пожељне будућности и гледање уназад из те будућности (ка садашњости), у циљу израде планова и стратегија како би та будућност

<sup>11</sup> <http://www.ipcc.ch/index.htm>

<sup>12</sup> <http://web.unep.org/geo/>

могла бити остварена. У *backcasting*-у се прво предочи пожељна будућност, а затим се анализира како би се она могла постићи гледајући управо из ове будућности у назад па се идентификују корази које је потребно предузети да би се остварила жељена будућност. Поред тога, могуће је осврнути се уназад из непожељне будућности како би се утврдило шта је потребно урадити да би се она избегла, слика 3.28. Главна разлика *backcasting*-а у односу на постојеће предвиђајуће приступе је његова експлицитна нормативна природа, заснована на постављању нормативних циљева и изградњи нормативне пожељне будућности [61].



Слика 3.28. *Backcasting* приказ

*Backcasting* се може користити и за дефинисање краткорочних акција које могу допринети постизању жељеног стања или у циљу прекидања постојећих трендова. Примена *backcasting*-а је посебно повољна у случајевима:

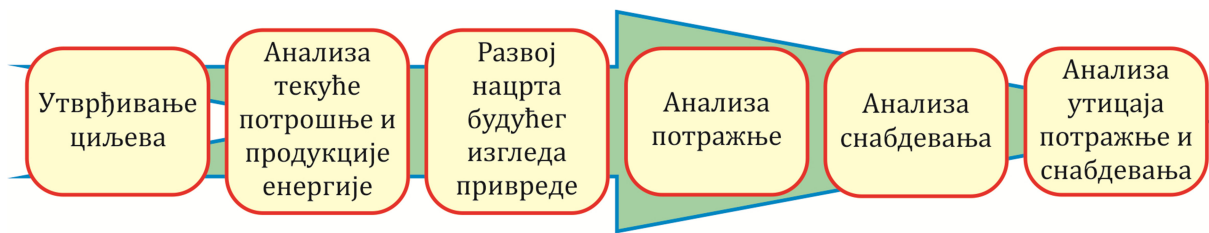
- сложених и сталних проблема,
- када постоји потреба за великим променама,
- када су доминантни трендови део проблема,
- када постоје спољашњи фактори чији се утицај не може једноставно елиминисати или умањити,
- када се разматрају довољно дуги временски рокови.

Типичан временски период који се узима у *backcasting* студијама је од 20 до 50 година. Овај период је прихватљив јер обухвата две генерације и због тога што представља довољно дуг период за велике промене у технологији, начину живота, па чак и у културолошким нормама и вредностима.

Код примене *backcasting* приступа развој визије и развој путање обухватају процесе учења у којима учесници размењују знања о пожељним будућностима, садашњости, једни о другима, о препрекама и подстицајима [60]. Теоријски, *backcasting* би могао да буде бесконачан итеративни процес. Међутим, услед постојања временских и буџетских ограничења ове итерације се често не реализују у оквиру саме *backcasting* студије, већ се према визији трасирају путање као основа за даљи рад.

Порекло *backcasting*-а се везује за почетак 1970-их година, када је *backcasting* предложен као алтернативна методологија за планирање потражње и снабдевања електричном

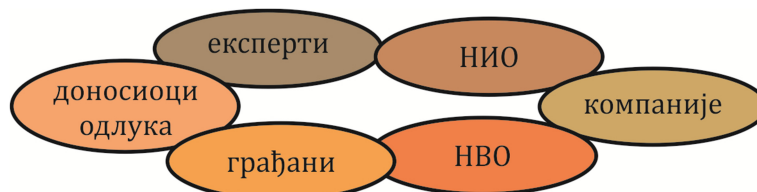
енергијом [44]. Овај метод је назван „анализа са освртом уназад“ (енг. „*backwards-looking analysis*“), док је 1982. године предложен термин „енергетски *backcasting*“ (енг. „*energy backcasting*“) [43]. Предложени приступ се састојао из шест корака (слика 3.29). Под претпоставком да су будуће потрошње енергије углавном у функцији тренутних политичких одлука, имао је циљ да се опише пожељна будућност или опсег пожељне будућности и да се процени како постићи такву, уместо да се фокусира само на вероватне будућности и пројекције. Главна претпоставка је била да би, после идентификације стратешких циљева у одређеној будућности, било могуће да се “ради уназад” како би се одредило које мере би требало спровести у енергетској индустрији [39,43].



Слика 3.29. Прва *backcasting* методологија

### 3.5.1. Партиципативни *backcasting*

Сложени проблеми одрживости захтевају партиципативне приступе, који би требало да имају дугорочну системску оријентацију, а који узимају у обзир широк појам одрживости, као и друштвене динамике сложених процеса социјалних промена. *Backcasting* студије би требале да обезбеде информације неопходне за процес развоја политике у који би требало да буду укључени релевантни актери. Стога би резултати *backcasting* студија требало да буду усмерени ка многим актерима, укључујући и политичке партије, државне органе, општине, организације, предузећа и јавност. Укључивање заинтересованих страна у активности које се односе на постизање одрживости препознато је као нарочито важно у остваривању дугорочних циљева. Остваривање жељене будућности зависи од значајног број фактора (економски, технолошки, регулаторни и социјални) и због тога појединци и затворене групе људи не би требало да развијају планове и доносе одлуке. Учешће заинтересованих страна (слика 3.30) је од кључног значаја, јер они кроз улоге које имају у друштву могу утицати на остваривање дугорочних циљева, а такође, поседују и неопходна знања и неопходне ресурсе [48]. Партиципативни приступи утичу на подизање капацитета и свести, промовишу дијалоге и унапређују сарадњу међу заинтересованим странама [55,91].



Слика 3.30. Могуће заинтересоване стране



Примена партиципативног *backcasting*-а започела је укључивањем широког круга заинтересованих страна почетком 1990-их година у Холандији. Партиципативни *backcasting* прво је примењен у пројекту Владе Краљевине Холандији и то кроз национални пројекат „*Sustainable Technology Development*“ (*STD*) који је трајао у периоду 1993-2001 и касније током истраживачког пројеката „*Strategies towards the Sustainable Household*“ (*SusHouse*), који је трајао од 1998 до 2000. године [51]. Након развоја концепта партиципативног *backcasting*-а, започела је и примена у другим земљама и то најпре у Шведској кроз развој *TNS (The Natural Step)* методологије која је фокусирана на стратешко планирање одрживости у предузећима. Укључивањем заинтересованих страна у расправе о могућностима испуњења циљева из Кјотоа<sup>13</sup> партиципативни *backcasting* приступ је примењен и на тему климатских промена.

Партиципативни *backcasting* може бити од велике помоћи у истраживању нових решења за сложене проблеме одрживости. Како постојеће институције и правни системи неретко немају довољно капацитета да решавају ове проблеме, визије будућности омогућавају тестирање нових правила која су део жељене будућности, као и развој нових и креативних идеја и подршке за праћење.

При реализацији пројеката партиципативног *backcasting*-а неопходно је коришћење широког спектра метода и алата који су подељени у четири групе [42]. Прве три групе алата и метода се односе на (1) учешће заинтересованих страна, (2) пројектовање и развој и (3) анализу. Четврта група обухвата методе и алате за управљање процесом и заинтересованим странама. Мора се напоменути да сваки корак било ког *backcasting* приступа генерално захтева алате и методе из све четири категорије.

Партиципативни алати и методе чине прву групу, која обухвата све алате и методе које су корисне за укључивање заинтересованих страна и генерисање и усмеравање интеракције између њих. То укључује специфичне алате који се примењују на радионицама, алате за подстицање креативности заинтересованих страна, алате који помажу актерима у одређеним *backcasting* активностима и алате за партиципативне визије и изградњу сценарија. Постоје алати и методе за елаборацију и детаљно дефинисање система, као и за дефинисање самог процеса. Такође, *backcasting* укључује аналитичке алате и методе које се односе на израду студија прихватљивости од стране потрошача, процене утицаја на животну средину, економске анализе, као и методе за анализу и евалуацију процеса, идентификацију и анализу заинтересованих страна. *Backcasting* такође захтева алате и методе за управљање, координацију и комуникацију. То укључује методе за комуникацију за обликовање и одржавање мреже заинтересованих страна.

### 3.5.2. Развијене *backcasting* методологије

*Backcasting* није само општа методологија, већ и концепт или конкретан корак у пуној методологији. Од раних 80-их година XX века па до данас *backcasting* је стекао широку примену, посебно у областима које се односе на планирање у енергетици и одрживом развоју [45,46,47].

---

<sup>13</sup> Основни циљ протокола из Кјотоа је стабилизација у емисијама гасова стаклене баште, односно да се у зависности од земље до земље, емисија ових гасова у просеку смањи за 5% у односу на ниво из 1990.

Табела 3.10 Развијени *Backcasting* приступи

корак	Робинсон, 1982 [43]	Робинсон, 1990 [45]	TNS [42]	STD [42]	SusHouse [42]
1	Утврђивање циљева	Одређивање оптих циљева	Дефинисање оквира и критеријума одрживости	Оријентација ка стратешким проблемима	Оријентација ка проблему и дефинисање функције
2	Анализа текуће потрошње и продукције енергије	Дефинисање специфичних циљева, ограничења и циљева	Описивање тренутне ситуације у складу са дефинисаним оквиром	Развој визије одрживе будућности	Анализа заинтересованих страна и њихово укључивање
3	Развој нацрта будућег изгледа привреде	Опис постојећег система	Разматрање изгледа одрживог стања у будућности	<i>Backcasting</i> - навођење алтернативних решења	Креативне радионице са заинтересованим странама
4	Анализа потражње	Дефинисање егзогених променљивих	Дефинисање стратегије за остваривање одрживости	Разматрање опција и идентификовање препрека	Израда сценарија
5	Анализа снабдевања	Анализа сценарија		Одабир опције и успостављање акционог плана	Процене сценарија
6	Анализа утицаја потражње и снабдевања	Анализа утицаја		Успостављање сарадње	<i>Backcasting</i> и стратегијске радионице са заинтересованим странама
7				Спровођење програма истраживања	Реализовање праћења и спровођење

наставак табеле 3.10

корак	Мандер и сарадници, 2007 [52]	Квист и Верграгт, 2006 [51]	Свенфелт и сарадници, 2011 [56]	Кларсон-Каниама и сарадници, 2008 [41]	Хојер и сарадници, 2011 [57]
1	Одређивање стратешких циљева	Анализа проблема	Дефинисање проблема/формирање циљева	Позивање заинтересованих страна на прву радионицу	Дефинисање циљева
2	Опис тренутне енергетске потрошње и начина снабдевања	Дефинисање визије одрживе будућности	Анализа постојећих трендова и предвиђања	Спровођење прве радионице, на којој се генеришу, групишу и оцењују идеје	Анализа циљева
3	Дефинисање енергетских захтева у изабраној крајњој години	Backcasting анализа	Развој изгледа жељене будућности	Рад у оквиру тима у циљу формулације жељеног стања и прорачун уштеда у енергији	Дефинисање визије будућности
4	Дефинисање једног система снабдевања енергијом који ће задовољити дефинисане енергетске захтеве	Израда и анализа акционог плана и дефинисање програма праћења	Дискусија о остваривању жељене будућности у оквиру радионица са заинтересованим странама	Позивање заинтересованих страна на другу радионицу са фокусом на оне који су присуствовали првој радионици	Анализа визија будућности
5	Враћање у назад од дефинисане крајње тачке у циљу дефинисања неопходних промена	Праћење и имплементација		Спровођење друге радионице на којима се разрађују визије жељеног стања и путање	

Важно је истаћи да не постоји стриктно дефинисан *backcasting* приступ, већ се приступ и методологија формирају на основу конкретних случајева који се разматрају или на основу проблема чије се решавање тражи. Потребно је напоменути, да се одређени *backcasting* приступ развијен за потребе разматрања једног случаја, може применити и на сличне у оригиналном облику или уз евентуалне модификације. У литератури, се стога, може пронаћи велики број различитих *backcasting* приступа који комбинују примену различитих метода и алата. У табели 3.10 приказани су неки од развијених и примењених *backcasting* приступа.

## 4. МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ ОПТИМИЗАЦИЈЕ

Потенцијал дрвне биомасе је значајан и највећим делом (шумски остаци) је неискоришћен, али бољом организацијом и адекватном институционалном подршком може се унапредити коришћење и увећати проценат искоришћења ресурса. У циљу унапређења коришћења и стварања оптималних иницијалних услова за значајније коришћења, биомасу је неопходно користити на енергетски, економски и еколошки оптималан начин. Постизање оптималног коришћења биомасе захтева детаљно планирање и управљање шумским ресурсима, ланцима снабдевања и постројењима за конверзију биомасе [23]. Како би се дефинисао оптимални начини коришћења доступних количина биомасе, у дисертацији је развијен математички модел мешовитог целобројног нелинеарног програмирања *MINLP* који оптимизује расподелу локација прикупљања ресурса и локацијску расподелу постројења за конверзију биомасе. То практично значи да резултати математичког модела у зависности од одабране функције циља, требало би да покажу која количина биомасе може да се користи, где су локације на којима се обавља конверзија енергије биомасе и које технологије за конверзију биомасе би требало применити. Применом предложеног модела дефинишу се и техно-економски параметри постројења који омогућавају увид у потребна инвестициона средства као и евентуалне економске користи. Тиме се омогућава доносиоцима одлука да одаберу оптималну инвестицију. Развијени математички модел представља основу предложене методологије за дугорочно планирање (видети поглавље 5.) али се може користити у комбинацији са ГИС технологијама за подршку у доношењу одлука у садашњем времену [92].

У зависности од студије случаја на коју се примењује математички модел, може бити велики број потенцијалних локација примарних складишта, потенцијалних локација постројења за конверзију биомасе, као и технологија које се могу користити за конверзију биомасе. Из тог разлога се уводи низ скупова и подскупова [88,89]. Потенцијалне локације примарних складишта, потенцијалне локације постројења за конверзију биомасе, као и технологије које се могу користити за конверзију биомасе, изражене су следећим скуповима и индексима:

- $I$  - скуп потенцијалних локација примарних складишта,
- $i$  - индекс за потенцијалне локације примарних складишта,
- $J$  - скуп потенцијалних локација постројења,
- $j$  - индекс за за потенцијалне локације постројења,
- $K$  - скуп технологија које се могу користити за конверзију биомасе,
- $k$  - индекс за технологије које се могу користити за конверзију биомасе.

Међутим, често није могуће сваку врсту постројења за конверзију биомасе изградити на свим потенцијалним локацијама<sup>14</sup>, због тога се неки од дефинисаних скупова, састоје од одређених подскупова.

---

<sup>14</sup> Као што је описано у поглављу 3.2.2. за изградњу топлане или когенерационог постројења потребно је постојање топлотног конзума, док изградња постројења за производњу пелета није предвиђена у близини јавних објеката.

- $J^{bf}$  -  $J^{bf} \subseteq J$  подкуп потенцијалних локација на којима је могуће изградити постројење за добијање биогорива,
- $J^{tp}$  -  $J^{tp} \subseteq J$ , подкуп потенцијалних локација на којима је могуће изградити електрану,
- $J^{hp}$  -  $J^{hp} \subseteq J$ , подкуп потенцијалних локација на којима је могуће изградити топлану,
- $J^{chp}$  -  $J^{chp} \subseteq J$ , подкуп потенцијалних локација на којима је могуће изградити когенерационо постројење.

На основу претходних истраживања, приказаних у [16,21,93,94,95,84] и референтне литературе нпр. [8,12,26,36,68,70,79] постоји велики број различитих постројења и технологија за конверзију биомасе, које су за потребе предложене методологије подељене у четири групе: постројења за производњу биогорива (чврстих, течних и гасовитих), топлане (котларнице), термоелектране и когенерациона постројења. Из тог разлога скуп,  $K$  састоји се из подскупова који дефинишу примењиве технологије за конверзију биомасе:

- $K^{bf}$  -  $K^{bf} \subseteq K$ , подкуп технологија које је могуће користити за производњу биогорива,
- $K^{tp}$  -  $K^{tp} \subseteq K$ , подкуп технологија које је могуће користити у електранама,
- $K^{hp}$  -  $K^{hp} \subseteq K$ , подкуп технологија које је могуће користити у топланама,
- $K^{chp}$  -  $K^{chp} \subseteq K$ , подкуп технологија које је могуће користити у когенерационим постројењима.

#### 4.1. Економски параметри

Економски параметри обухватају трошкове и приходе који настају као резултат потенцијалне инвестиције. Трошкови укључују:

- 1) Трошкове биомасе на примарном складишту  $i$ ;
- 2) Трошкове транспорта биомасе од локације примарног складишта  $i$  до локације постројења  $j$ ;
- 3) Трошкове постројења (оперативни и трошкови одржавања).

Приходи настају као резултат продаје биогорива, електричне енергије и топлоте<sup>15</sup> на тржишту. Економски параметри који се разматрају применом развијеног модела су коефицијент нето садашње вредности, нето садашња вредност и нето годишња добит.

Коефицијент нето садашње вредности  $NPVQ$  се рачуна према изразу (4.1) [96,97]:

$$NPVQ = \frac{NPV}{Inv} \quad (4.1)$$

где су:

$NPV$  [€] - нето садашња вредност,

---

<sup>15</sup> У одређеним случајевима, када је реч о топлоти, приходи могу настати и као резултат уштеда, односно разлике у трошковима за грејање у претходном и новоинсталираном систему.

$Inv$  [€] - вредност инвестиције.

Нето садашња вредност  $NPV$  се рачуна према изразу (4.2) [96,97]:

$$NPV = ANP \cdot \frac{1 - (1 + d)^{-lc}}{d} - Inv \quad (4.2)$$

где су:

- $ANP$  [€] - нето годишњи профит,  
 $d$  [%] - дисконтна стопа<sup>16</sup>,  
 $lc$  [year] - посматрани временски период<sup>17</sup>.

Нето годишња добит  $ANP$ , представља разлику годишњих прихода продаје и годишњих оперативних трошкова (израз 4.3):

$$ANP = G - (Cpr + Ctr + Cpl) \quad (4.3)$$

где су:

- $G$  [€] - укупни приходи свих постројења,  
 $Cpr$  [€] - трошкови биомасе на примарном складишту,  
 $Ctr$  [€] - трошкови транспорта биомасе,  
 $Cpl$  [€] - трошкови рада и одржавања постројења<sup>18</sup>.

## 4.2. Кључне променљиве

Резултати решавања математичког модела према постављеној функцији циља требало би да помогну доносиоцима одлука у одабиру одговарајуће инвестиције. Сем тога они би требало да покажу коју количину биомасе је могуће искористити при тренутним условима, односно са којих локација би требало прикупити биомасу и у којим количинама, као и које технологије за конверзију би требало користити и на којим локацијама. Кључне променљиве чије вредности произилазе из функције циља су:

- $y_{i,j,k}$  [t/god] - променљива чија вредност одређује количину биомасе која се транспортује са примарном складишта  $i$  до постројења на локацији  $j$  на којој је примењена технологија  $k$  (искоришћена количина доступних ресурса);
- $\beta_{j,k}$  [-] - бинарна променљива.  $\beta=1$  уколико је на локацији  $j$  могуће изградити постројење у коме је примењена технологија  $k$ ;  $\beta=0$  у другом случају.

---

<sup>16</sup> Дисконтна стопа је стопа дисконтовања, мера временске вредности новца, односно свођења будућих новчаних износа или примања на садашњу вредност.

<sup>17</sup> У неким случајевима временски период може бити једнак економском или животном веку пројекта.

<sup>18</sup> Не укључују трошкове горива.

### 4.3. Променљиве које описују постројења

Кључне променљиве не садрже све податке о потенцијалним постројењима који су неопходни за доношење одлуке о инвестицији. Стога је неопходно све четири групе постројења математички описати према некој карактеристичној величини која је у функцији кључних променљивих. Са друге стране, постојање променљивих које описују постројења је предуслов за одређивање вредности кључних променљивих.

Карактеристичне величине, односно променљиве, које описују постројења за производњу биогорива су часовни капацитет производње  $pc_{j,k}^{bf}$  [t/h] (4.4) и годишња продукција  $Q_{j,k}^{bf}$  [t] (4.5):

$$pc_{j,k}^{bf} = \sum_i \frac{y_{i,j,k} \cdot f_k^{bf}}{oh_j^{bf}} \cdot \beta_{j,k} \quad j \in J^{bf}, \quad k \in K^{bf}, \quad (4.4)$$

$$Q_{j,k}^{bf} = pc_{j,k}^{bf} \cdot oh_j^{bf} \quad j \in J^{bf}, \quad k \in K^{bf}, \quad (4.5)$$

где су:

$f_k^{bf}$  [-] - фактор конверзије технологије за производњу биогорива  $k$ ,  $0 \leq f_k \leq 1$ ,

$oh_j^{bf}$  [h] - годишњи број радних сати постројења за производњу биогорива на локацији  $j$ .

Термоелектране се карактеришу према инсталисаној снази  $P_{j,k}^{tp}$  [kW] (4.6) и годишњој количини генерисане електричне енергије  $E_{j,k}^{tp}$  [kWh] (4.7):

$$P_{j,k}^{tp} = \sum_i \frac{y_{i,j,k} \cdot LHV_i \cdot \eta e_k^{tp}}{oh_j^{tp}} \cdot \beta_{j,k} \quad j \in J^{tp}, \quad k \in K^{tp}, \quad (4.6)$$

$$E_{j,k}^{tp} = P_{j,k}^{tp} \cdot oh_j^{tp} \quad j \in J^{tp}, \quad k \in K^{tp}, \quad (4.7)$$

где су:

$LHV_i$  [MJ/t] - просечна вредност доње топлотне моћи биомасе на примарном складишту  $i$  са кога се снабдева потенцијално постројење,

$\eta e_k^{tp}$  [-] - просечна ефикасност генерисања електричне енергије (коришћењем технологије  $k$ ),

$oh_j^{tp}$  [h] - годишњи број радних сати електране на локацији  $j$ .



Рад топлана се може математички описати према инсталисаној снази за генерисање топлоте  $H_{j,k}^{hp}$  [kW] (4.8) и годишњој продукцији топлоте  $T_{j,k}^{hp}$  [kWh] (4.9):

$$H_{j,k}^{hp} = \sum_i \frac{y_{i,j,k} \cdot LHV_i \cdot \eta t_k^{hp}}{oh_j^{hp}} \cdot \beta_{j,k} \quad j \in J^{hp}, \quad k \in K^{hp}, \quad (4.8)$$

$$T_{j,k}^{hp} = H_{j,k}^{hp} \cdot oh_j^{hp} \quad j \in J^{hp}, \quad k \in K^{hp}, \quad (4.9)$$

где су:

$\eta t_k^{hp}$  [-] - просечна ефикасност генерисања топлоте (коришћењем технологије  $k$ ),

$oh_j^{hp}$  [h] - годишњи број радних сати топлане на локацији  $j$  - зависи од топлотног конзума на локацији  $j$ .

Когенерациона постројења омогућавају истовремено генерисање електричне енергије и топлоте. На основу тога, когенерациона постројења могу да буду математички описана према инсталисаној снази за генерисање електричне енергије  $P_{j,k}^{chp}$  [kW<sub>el</sub>] (4.10) и годишњој продукцији електричне енергије  $E_{j,k}^{chp}$  [kWh<sub>el</sub>] (4.11) или према инсталисаној снази за генерисање топлоте  $H_{j,k}^{chp}$  [kW<sub>th</sub>] (4.12) и укупно генерисаној количини топлоте на годишњем нивоу  $T_{j,k}^{chp}$  [kWh<sub>th</sub>] (4.13):

$$P_{j,k}^{chp} = \sum_i \frac{y_{i,j,k} \cdot LHV_i \cdot \eta e_k^{chp}}{oh_j^{chp}} \cdot \beta_{j,k} \quad j \in J^{chp}, \quad k \in K^{chp}, \quad (4.10)$$

$$E_{j,k}^{chp} = P_{j,k}^{chp} \cdot oh_j^{chp} \quad j \in J^{chp}, \quad k \in K^{chp}, \quad (4.11)$$

$$H_{j,k}^{chp} = \sum_i \frac{y_{i,j,k} \cdot LHV_i \cdot \eta t_k^{chp}}{oh_j^{chp}} \cdot \beta_{j,k} \quad j \in J^{chp}, \quad k \in K^{chp}, \quad (4.12)$$

$$T_{j,k}^{chp} = P_{j,k}^{chp} \cdot oh_j^{chp} \quad j \in J^{chp}, \quad k \in K^{chp}, \quad (4.13)$$

где су:

$\eta e_k^{chp}$  [-] - просечна ефикасност генерисања електричне енергије у когенерационом постројењу технологије  $k$ ,

$\eta t_k^{chp}$  [-] - просечна ефикасност генерисања топлоте у когенерационом постројењу технологије  $k$ ,

$oh_j^{chp}$  [h] - годишњи број радних сати когенерационог постројења на локацији  $j$  - зависи од топлотног конзума на локацији  $j$ .

#### 4.4. Инвестициони трошкови

Инвестициони трошкови  $Inv$  представљају збир трошкова изградње и инсталације постројења. Ови трошкови представљају збир трошкова изградње и инсталације постројења за производњу биогорива  $Inv^{bf}$  [€], електране  $Inv^{tp}$  [€], топлане  $Inv^{hp}$  [€] и когенерационог постројења  $Inv^{chp}$  [€]. Инвестициони трошкови се могу израчунати према изразу (4.14):

$$Inv = Inv^{bf} + Inv^{tp} + Inv^{hp} + Inv^{chp} \quad (4.14)$$

Инвестициони трошкови одређених група постројења могу се одредити на следећи начин према изразима (4.15 - 4.18):

$$Inv^{bf} = \sum_j \sum_k cap_{j,k}^{bf} \cdot pc_{j,k}^{bf} \cdot oh_j^{bf} \quad j \in J^{bf}, \quad k \in K^{bf}, \quad (4.15)$$

$$Inv^{tp} = \sum_j \sum_k cap_{j,k}^{tp} \cdot P_{j,k}^{tp} \quad j \in J^{tp}, \quad k \in K^{tp}, \quad (4.16)$$

$$Inv^{hp} = \sum_j \sum_k cap_{j,k}^{hp} \cdot H_{j,k}^{hp} \quad j \in J^{hp}, \quad k \in K^{hp}, \quad (4.17)$$

$$Inv^{chp} = \sum_j \sum_k cap_{j,k}^{chp} \cdot P_{j,k}^{chp} \quad j \in J^{chp}, \quad k \in K^{chp}, \quad (4.18)$$

где су:

$cap_{j,k}^{bf}$  [€/t/god] - јединични капитални трошкови постројења за производњу за биогорива,

$cap_{j,k}^{tp}$  [€/kW] - јединични капитални трошкови за електране,

$cap_{j,k}^{hp}$  [€/kW] - јединични капитални трошкови за топлане и

$cap_{j,k}^{chp}$  [€/kW] - јединични капитални трошкови за когенерациона постројења.

#### 4.5. Приходи постројења

Укупни приходи свих потенцијално изграђених постројења  $G$  [€] представљају збир свих прихода који настају као резултат продаје биогорива  $G^{bf}$  [€], продаје електричне енергије из електране  $G^{tp}$  [€], продаје топлоте или уштеда у виду смањења трошкова за топлотну енергију услед изградње новог постројења, односно супституције горива  $G^{hp}$  [€], и продаје електричне енергије и продаје или уштеда остварених на рачун коришћења топлоте из когенерационих постројења  $G^{chp}$  [€]. Укупни приходи могу бити израчунати према изразу (4.19):

$$G = G^{bf} + G^{tp} + G^{hp} + G^{chp} \quad (4.19)$$

Приходи који се могу остварити из одређених група технологија дефинишу се следећим изразима (4.20 - 4.23):

$$G^{bf} = \sum_j \sum_k Q_{j,k}^{bf} \cdot sp^{bf} \quad j \in J^{bf}, \quad k \in K^{bf}, \quad (4.20)$$

$$G^{tp} = \sum_j \sum_k E_{j,k}^{tp} \cdot sp_j^{ee} \quad j \in J^{tp}, \quad k \in K^{tp}, \quad (4.21)$$

$$G^{hp} = \sum_j \sum_k T_{j,k}^{hp} \cdot sp_j^h \quad j \in J^{HP}, \quad k \in K^{HP}, \quad (4.22)$$

$$G^{chp} = \sum_j \sum_k (E_{j,k}^{chp} \cdot sp_j^{ee} + T_{j,k}^{chp} \cdot sp_j^h) \quad j \in J^{CHP}, \quad k \in K^{CHP}, \quad (4.23)$$

где су:

- $sp^{bf}$  [€/t] - продајна цена биогорива,
- $sp_j^{ee}$  [€/kWh] - продајна цена електричне енергије,
- $sp_j^h$  [€/kWh] - продајна цена топлоте.

#### 4.6. Трошкови биомасе на примарном складишту

Трошкови биомасе на примарном складишту укључују трошкове прикупљања или откупа и уситњавање биомасе  $harv$  [€/t], закуп земљишта за потребе складишта  $lease_i$  [€/m<sup>2</sup>], трошкове прекривне фолије  $foil$  [€/m<sup>2</sup>] и трошкове противпожарне заштите  $fire$  [-]. Трошкови заштите од пожара изражавају се процентуално од укупне вредности ускладиштене биомасе. Трошкови биомасе на примарном складишту рачунају се према изразу (4.24):

$$C_{pr} = \sum_i \sum_j \sum_k y_{i,j,k} \cdot (harv + area \cdot lease_i + area \cdot foil + harv \cdot fire) \cdot \beta_{j,k} \quad (4.24)$$

где је :

- $area$  [m<sup>2</sup>/t] - површина која је неопходна за складиштење 1t биомасе.

#### 4.7. Трошкови транспорта

Шумска биомаса има релативно ниску густину што захтева велики број камиона (тура) за транспорт што значајно утиче на трошкове транспорта [3,9,12,16]. Трошкови транспорта могу се изразити према (4.25):

$$C_{tr} = \sum_i \sum_j \sum_k y_{i,j,k} \cdot dist_{i,j} \cdot trans \cdot \beta_{j,k} \quad (4.25)$$

где су:

- $dist_{ij}$  [km] - растојање од локације примарног складишта  $i$  до локације постројења  $j$ ,
- $trans$  [€/t·km] - цена превоза 1t биомасе по 1 km пређеног пута.

#### 4.8. Трошкови постројења

Поред инвестиционих трошкова, у току животног века постројења, јављају се и трошкови везани за рад и одржавање постројења и трошкови запослених у постројењима. Укупни трошкови рада инсталираних постројења представљају збир трошкова постројења за производњу биогорива,  $Cpl^{bf}$  [€], термоелектране  $Cpl^{tp}$  [€], топлане  $Cpl^{hp}$  [€] и когенерационог постројења  $Cpl^{chp}$  [€]. Укупни трошкови рада постројења рачунају се према изразу (4.26):

$$Cpl = Cpl^{bf} + Cpl^{tp} + Cpl^{hp} + Cpl^{chp} \quad (4.26)$$

Годишњи трошкови рада за сваку групу постројења могу се израчунати као производ годишњег капацитета и специфичних оперативних трошкова према изразима (4.27 - 4.30):

$$Cpl^{bf} = \sum_j \sum_k Q_{j,k}^{bf} \cdot oprc_k^{bf} \quad j \in J^{bf}, \quad k \in K^{bf}, \quad (4.27)$$

$$Cpl^{tp} = \sum_j \sum_k E_{j,k}^{tp} \cdot oprc_k^{tp} \quad j \in J^{tp}, \quad k \in K^{tp}, \quad (4.28)$$

$$Cpl^{hp} = \sum_j \sum_k T_{j,k}^{hp} \cdot oprc_k^{hp} \quad j \in J^{hp}, \quad k \in K^{hp}, \quad (4.29)$$

$$Cpl^{chp} = \sum_j \sum_k E_{j,k}^{chp} \cdot oprc_k^{chp} \quad j \in J^{chp}, \quad k \in K^{chp}. \quad (4.30)$$

где су:

- $oprc_k^{bf}$  [€/t] - специфични оперативни трошкови постројења за производњу биогорива,
- $oprc_k^{tp}$  [€/kWh] - специфични оперативни трошкови термоелектране,
- $oprc_k^{hp}$  [€/kWh] - специфични оперативни трошкови топлане,
- $oprc_k^{chp}$  [€/kWh<sub>e</sub>] - специфични оперативни трошкови когенерационог постројења.

#### 4.9. Ограничења модела

У циљу проналажења решења функције циља, потребно је поставити одређена ограничења модела. Ограничење дефинисано изразом (4.31) ограничава модел, тако да се

са локације примарног складишта  $i$  може до локације  $j$  на којој је инсталирано постројење  $k$  транспортовати највише она количина биомасе која је доступна на локацији  $i$ :

$$\sum_j \sum_k y_{i,j,k} \leq res_i \quad \forall i \in I \quad \forall j \in J \quad \forall k \in K \quad (4.31)$$

Годишња продукција топлоте генерисана са инсталиране топлане или когенерационог постројења може бити мања или једнака захтевима топлотног конзума на локацији  $j$  -  $hd_j$  [kWh] (4.32) и (4.33):

$$\sum_k T_{j,k}^{hp} \leq hd_j \quad j \in J^{hp}, \quad k \in K^{hp} \quad (4.32)$$

$$\sum_k T_{j,k}^{chp} \leq hd_j \quad j \in J^{chp}, \quad k \in K^{chp} \quad (4.33)$$

Како би се спречило физичко преклапање постројења, уведена су ограничења (4.34 - 4.37) која дефинишу да се на једној локацији може изградити само једно постројење које користи одређену технологију:

$$\sum_k \beta_{j,k} \leq 1 \quad j \in J^{bf}, \quad k \in K^{bf} \quad (4.34)$$

$$\sum_k \beta_{j,k} \leq 1 \quad j \in J^{tp}, \quad k \in K^{tp} \quad (4.35)$$

$$\sum_k \beta_{j,k} \leq 1 \quad j \in J^{hp}, \quad k \in K^{hp} \quad (4.36)$$

$$\sum_k \beta_{j,k} \leq 1 \quad j \in J^{chp}, \quad k \in K^{chp} \quad (4.37)$$

#### 4.10. Одабир функције циља и ограничења

Дефинисани модел омогућава постављање и решавање различитих функција циља у зависности од специфичности студије случаја, као и поређење добијених резултата. Као функција циља, на пример, може се поставити максимизација неког од економских параметара ( $NPVQ$ ,  $NPV$  или  $ANP$ ) или максимизација коришћења расположивих ресурса ( $Y$ ). Решавање функције циља не значи и добијање оптималног решења, јер генерисано решење може некада одступати од ограничења<sup>19</sup> која су специфична за одређену студију случаја на којој би предложена методологија била примењена. У предложеној методологији значајан део ограничења биће дефинисан као критеријуми применом *backcasting* приступа.

<sup>19</sup> Разликују се од ограничења модела дефинисаних изразима (4.31 - 437) и могу бити енергетског, еколошког, економског и социјалног карактера.

#### 4.11. Решавање модела

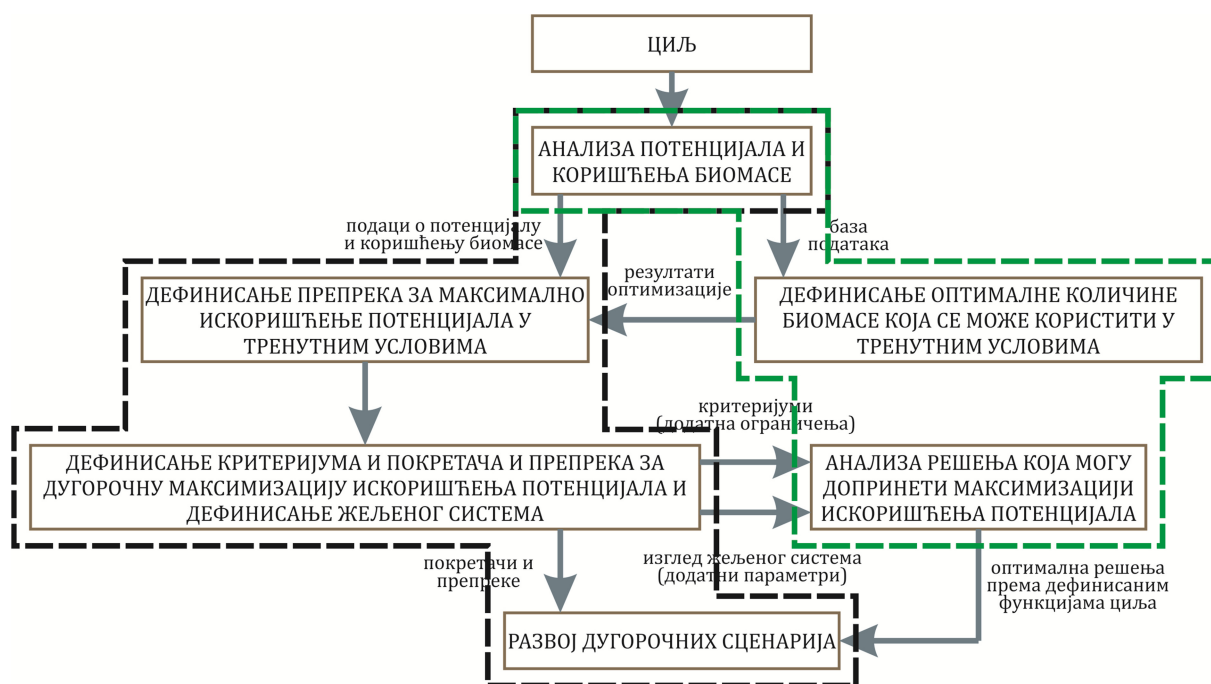
Оптимална количина дрвне биомасе која се може користити у енергетске сврхе у тренутним условима одређује се анализом података о потенцијалу биомасе у одабраном региону и применом математичке оптимизације (математичког програмирања). Дефинисањем математичког модела описане су све променљиве и константне величине које фигуришу у функцији циља. За генерисање решења математичких модела могу се користити различити софтверски алати<sup>20</sup>.

---

<sup>20</sup> ПРИЛОГ 1 - Математички модел у GAMS софтверу, који је коришћен за генерисање решења.

## 5. ДЕФИНИСАЊЕ МЕТОДОЛОГИЈЕ

Резултати математичке оптимизације користе се као полазни подаци за *backcasting* приступ, где се кроз укључивање заинтересованих страна, из одабраног региона, дефинишу главни покретачи и препреке за максимално искоришћење потенцијала у тренутним условима. Потом се, коришћењем истог приступа, дефинише временски период у којем је потребно извршити неопходне промене, како би се створили услови за максимално искоришћење потенцијала. То подразумева дефинисање временских оквира развоја сценарија, одређивање критеријума за одрживу максимизацију коришћења дрвне биомасе, а затим и идентификују покретача и препрека и одређивање кључне неизвесности дугорочног искоришћења потенцијала биомасе.



Слика 5.1. Шема предложене методологије за израду дугорочних сценарија коришћења потенцијала биомасе

На основу дефинисаних критеријума и неизвесности, коришћењем математичке оптимизације уз модификацију дефинисаних математичких модела, дефинише се модел оптималног дугорочног сценарија максималног искоришћења дрвне биомасе, уз дефинисање путање и неопходних културолошких, структурних и технолошких (К-С-Т) промена за остварење сценарија.

Предложена методологија састоји се из 7 корака (слика 5.1) који ће бити објашњени у наставку.

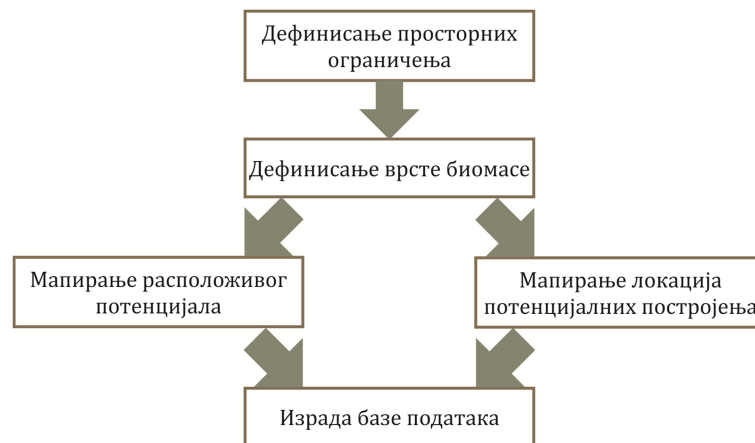
### 5.1. Циљ

Од укупног потенцијала дрвне биомасе највеће је искоришћење огревног дрвета, али се велика количина огревног дрвета користи у енергетске сврхе на ниско-ефикасан начин. За разлику од огревног дрвета, значајна количина дрвних остатака је неискоришћена.

Бољом организацијом и оптималним коришћењем (односно енергетски, економски и еколошки оправданим коришћењем и добро развијеним политикама и стратегијама, које ће обезбедити институционалну подршку) може се увећати и унапредити искоришћење потенцијала. Циљ предложене методологије је одржива максимизација искоришћења доступне количине дрвне биомасе<sup>21</sup> на одређеном региону.

## 5.2. Анализа потенцијала и коришћења биомасе

Анализа потенцијала и коришћења дрвне биомасе обухвата низ корака (Слика 5.2), чијом се реализацијом стиче потпуна слика о доступном потенцијалу дрвне биомасе, врсти која ће бити разматрана, могућности коришћења и унапређења коришћења, затим о локацијама на којима се налази расположиви потенцијал и локацијама потенцијалних постројења за валоризацију дрвне биомасе.



Слика 5.2. Анализа потенцијала и коришћења биомасе

### 5.2.1. Дефинисање просторних ограничења

Анализу потенцијала и коришћења дрвне биомасе потребно је започети дефинисањем просторних ограничења, која подразумевају дефинисање географске области (територије). Географска област може обухватати једно или више насеља, месних заједница, катастарских општина, општину, град, регион [98]. Иако између суседних територија често постоји интеракција, односно деловање на једној територији може имати утицај на другу, дефинисање просторних ограничења је неопходно како би се одредио потенцијал дрвне биомасе, могућност коришћења, али и идентификовале заинтересоване стране, регулаторна и друга ограничења. Такође, територија може бити дефинисана и према захтеву финансијера или иницијатора израде дугорочног плана (општинске власти, удружење грађана, регионалне власти, итд).

<sup>21</sup> Методологија разматра максимизацију искоришћења потенцијала дрвне биомасе, али се може примењивати и на друге типове биомасе, пре свега, остатке ратарске производње и остатке резидбе воћа.

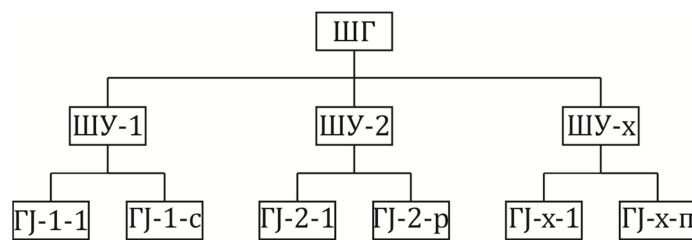


### 5.2.2. Дефинисање врсте биомасе

Након дефинисања просторних ограничења, потребно је дефинисати врсту или врсте дрвне биомасе која ће бити предмет разматрања у циљу постизања дугорочне максимизације коришћења расположивог потенцијала. У зависности од карактеристика одабране територије, а на основу статистичких података о шумовитости, коришћењу шума и производњи дрвних сортимената, полупроизвода и производа могуће је одредити једну или више врста биомасе које ће бити предмет разматрања.

### 5.2.3. Мапирање расположивог потенцијала

Географска расутоост локација на којима је доступна дрвна биомаса, што је изражено када се ради о шумској биомаси, представља једну од највећих препрека значајнијем коришћењу дрвне биомасе у енергетске сврхе, па је важно, у циљу одређивања оптималних количина које се могу користити, извршити мапирање доступних количина и њихових локација. Подаци о коришћењу и потенцијалу дрвне биомасе могу се добити из више извора<sup>22</sup> [77,99,100]. Дрвна биомаса је директно повезана са шумском производњом. У Србији, Јавно предузеће „Србијашуме“ управља шумама и кроз надлежно Шумско газдинство (ШГ) одобрава, планира и евидентира сваку врсту експлоатације шума. ШГ је према количини ресурса и територијалној расподели подељено на више Шумских управа (ШУ), од којих је свака подељена на више Газдинских јединица (ГЈ) (слика 5.3) [77]. Подаци који се евидентирају односе се на план и реализацију експлоатације шумских ресурса (сеча шума). План и реализација плана сече обухватају податке о планираној и реализованој сечи (брutto и нето посечена запремина, врста дрвета, врста дрвних сортимената) разврстаних према више критеријума који дефинишу све неопходне податке за идентификацију потенцијала.



Слика 5.3. Организациона подела ЈП Србијашуме

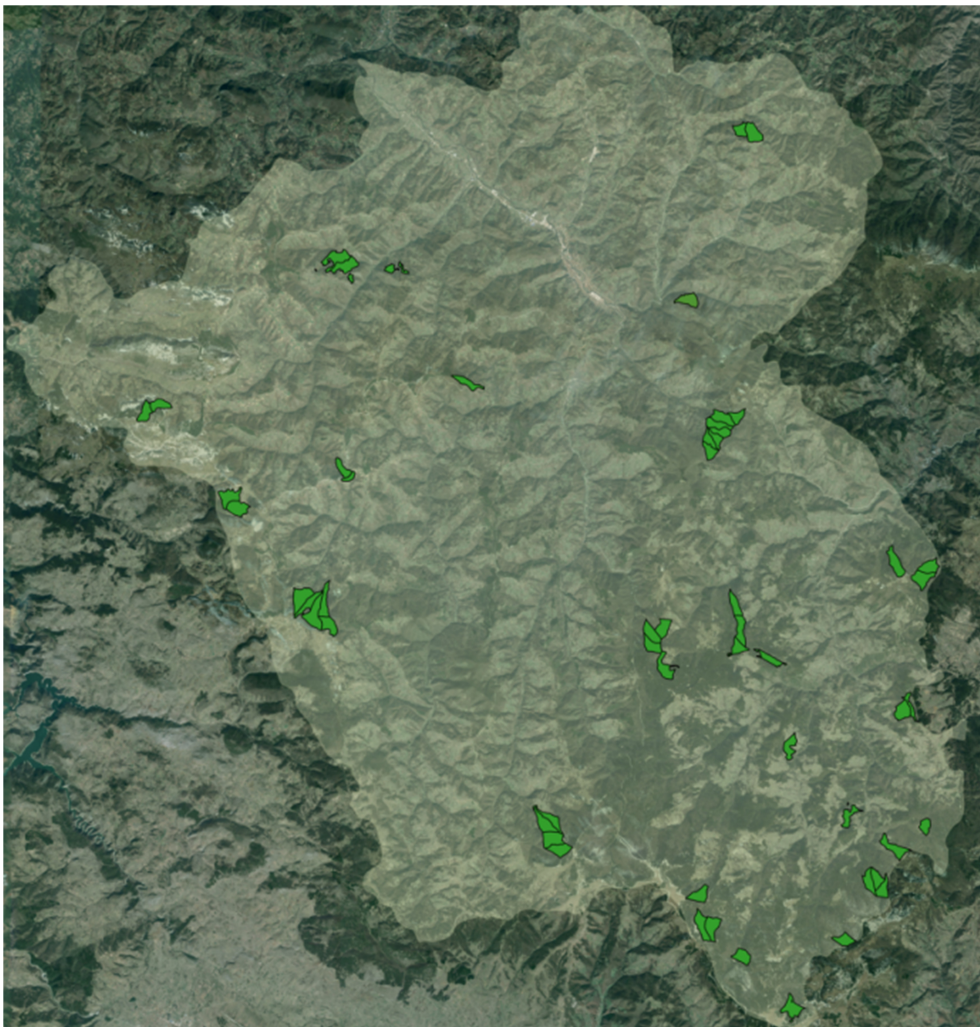
Свака Газдинска јединица, подељена је на већи број одељења, која представљају скуп сектора на којима се врши сеча. Сектори представљају парцеле које се карактеришу према доступним врстама дрвета и на једном сектору се може налазити више врста. Пример података који се могу добити од стране ЈП Србијашуме приказан је у табели 5.1.

<sup>22</sup> Подаци о остацима дрвопрерађивачке и сродних индустрија могу се добити директно из индустрије.

Табела 5.1 Пример прикупљених података

ШУ	ГЈ	Одељење	Сектор	Врста	Бруто [m <sup>3</sup> ]	Нето [m <sup>3</sup> ]	Остаци [m <sup>3</sup> ]	Координате центра
Голијска река	2201	20	A	Буква	1071,00	910,00	161,00	20.27749 E, 43.35186 N
			A	Јела	256,00	212,00	44,00	
			A	Смрека	915,00	760,00	155,00	

Сва Шумска газдинства са припадајућим одељењима и секторима и одговарајућим атрибутима могу се приказати помоћу ГИС софтвера, слика 5.4. Коришћење ГИС софтвера омогућава визуализацију сваке парцеле (сектора) на коме је доступна биомаса и користи се за одређивање локација потенцијалних постројења и примарних складишта, као и за израчунавање растојања између њих [26,36].



Слика 5.4. Начин приказа одељења на којима се врши сеча

Број парцела на којима се врши експлоатација шума може бити велики и из тог разлога се за локације на којима се налази расположиви потенцијал, односно локације примарних складишта са којих се биомасом снабдевају постројења, усвајају географски центри одређених административних јединица (град, општина, катастарска општина, насеље,

итд). Количина доступне количине дрвне биомасе на примарним складиштима једнака је збиру количина са гравитирајућих сектора.

#### 5.2.4. Мапирање потенцијалних локација постројења

Одређивање потенцијалних локација постројења, као и локација примарних складишта неопходно је у циљу одређивања растојања на којима је потребно транспортовати биомасу, а тиме и трошкове транспорта. Потенцијалне локације постројења, као и могућност примене одређених технологија зависи од низа фактора.

Одабир потенцијалних локација постројења за производњу биогорива, као и локација термоелектрана, зависе пре свега од постојања или могућности изградње саобраћајне инфраструктуре која омогућава приступ постројењима. Такође, постојање електродистрибутивне мреже и могућност повезивања је један од главних услова који се мора узети у обзир када се разматра изградња термоелектрана. Са друге стране, постојање топлотног конзума је предуслов за изградњу когенерационог постројења или топлане. Приликом одабира потенцијалних локација потребно је узети у обзир и евентуална еколошка и друга ограничења<sup>23</sup>.

Потребе топлотног конзума директно утичу на величину, односно инсталисану снагу постројења. У оквиру предложене методологије је предвиђено да се за одређивање потреба за топлотном енергијом јавних објекта користе енергетски биланси, док се за стамбене објекте користе подаци из националне типологије стамбених зграда Србије [101] као и подаци из пописа 2012 [102], катастра непокретности и приказа у дигиталној форми [99,103].

#### 5.2.5. Формирање базе улазних података

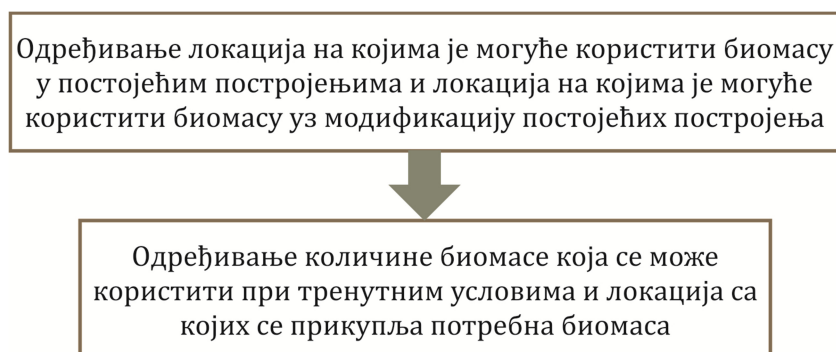
У циљу лакше анализе, обраде и коришћења доступних података формира се пратећа база података која се може мењати и допуњавати новим подацима. База улазних података се формира у форми *Excel* табела и омогућава учитавање података у софтвер за решавање математичког модела. У зависности од величине територије, база података може садржати велики број података. Подаци који се уносе у базу података су: доступне количине биомасе на појединим локацијама, просечна доња топлотна моћ биомасе за сваку потенцијалну локацију примарног складишта, растојања између локација примарних складишта и локација постројења, трошкови изнајмљивања земљишта за примарна складишта, топлотни конзум, број радних сати постројења у току године, итд.

---

<sup>23</sup> Еколошка ограничења се могу огледати у постојању заштићеног подручја на одређеном региону у складу са Уредбом о режимима заштите („Службени гласник РС“ бр. 31/2012). Такође одређено подручје може бити категорисано као споменик културе, просторно културно историјска целина, археолошко налазиште или знаменито место у складу са Законом о културним добрима („Службени гласник РС“, бр. 71/94).

### 5.3. Дефинисање оптималне количине биомасе која се може користити у тренутним условима

Како би се стекао бољи увид у могућности коришћења биомасе, неопходно је одредити количине биомасе које се могу користити у тренутним условима, односно постојећим постројењима без значајних К-Т-С промена. Евентуални бенефити (економски, еколошки, социјални) које би коришћење биомасе у тренутним условима донело, може послужити као добра основа за даљу анализу и дефинисање покретача, препрека и критеријума, које би требало да задовоље жељени систем. Дефинисање оптималне количине биомасе која се може користити у тренутним условима одређује се у 2 корака, слика 5.5.



Слика 5.5. Поступак одређивање оптималне количине биомасе која се може користити у тренутним условима

#### 5.3.2. Одређивање локација на којима је могуће користити биомасу у постојећим постројењима

Одабрану врсту биомасе је могуће користити у постојећим постројењима, тамо где то технички услови дозвољавају, без значајних К-Т-С промена. То могу бити локације које већ користе неки други облик биомасе или уз модификацију постојећих постројења (модификација котлова) могу користити одабрану врсту биомасе.

Након извршеног мапирања потенцијалних локација, идентификују се локације на којима је могуће користити разматрану врсту биомасе. Ово захтева анализу постојећих система, на потенцијалним локацијама, која подразумева, када се ради о системима грејања, когенерационим постројењима или термоелектранама, анализу котлова и ложишта, анализу складишног простора, анализу система регулације и анализу могућности модификације у циљу коришћења разматране врсте биомасе. Уколико се ради о постројењима за производњу биогорива, такође је потребно извршити адекватну анализу система.

#### 5.3.3. Одређивање количине биомасе која се може користити при тренутним условима и локације са којих се прикупља потребна биомаса

Обзиром да су познате потребне годишње количине топлоте и карактеристике постојећих система, за ове потребе се дефинисани математички модел може свести на модел линеарног програмирања, са функцијом циља максимизације укупне количине

биомасе са локација  $i$ , коју је могуће искористити у постојећим постројењима на локацији  $j$ , што се може написати као (5.1):

$$\max\left(\sum_i \sum_j y_{i,j}\right) \quad (5.1)$$

Скуп  $K$ , потенцијалних технологија у овом случају је искључен, јер циљ модела није да одабере технологију која би се употребила на локацији  $j$ , већ да се одреди количина биомасе коју је могуће користити у тренутним условима. У складу са тим, трошкови биомасе на примарном складишту (5.2) и трошкови транспорта (5.3) се могу написати као:

$$C_{pr} = \sum_i \sum_j y_{i,j} \cdot (harv + area \cdot lease + area \cdot foil + harv \cdot fire) \cdot \beta_j \quad (5.2)$$

$$C_{tr} = \sum_i \sum_j y_{i,j} \cdot dist_{i,j} \cdot trans \cdot \beta_j \quad (5.3)$$

Трошкови модификације котла  $C_m$  [€] или ложишта могу се изразити (5.4):

$$C_m = \sum_j \beta_j \cdot mod_j \quad (5.4)$$

где је

$mod_j$  [€] - трошак модификације котла или ложишта на локацији  $j$ .

Укупни трошкови коришћења биомасе у постојећим постројењима  $C$  [€] су (5.5):

$$C = C_{pr} + C_{tr} + C_m, \quad (5.5)$$

док је укупна добит  $G$  [€] једнака разлици тренутних трошкова генерисања енергије или производње биогорива и трошкова који би настали као последица коришћења шумских остатака за исту намену (5.6):

$$G = \left( \sum_j troskovi_j \cdot beta_j \right) - C \quad (5.6)$$

где је,

$troskovi_j$  [€] - тренутни трошкови генерисања енергије или производње биогорива у постојећим постројењима на локацији  $j$ .

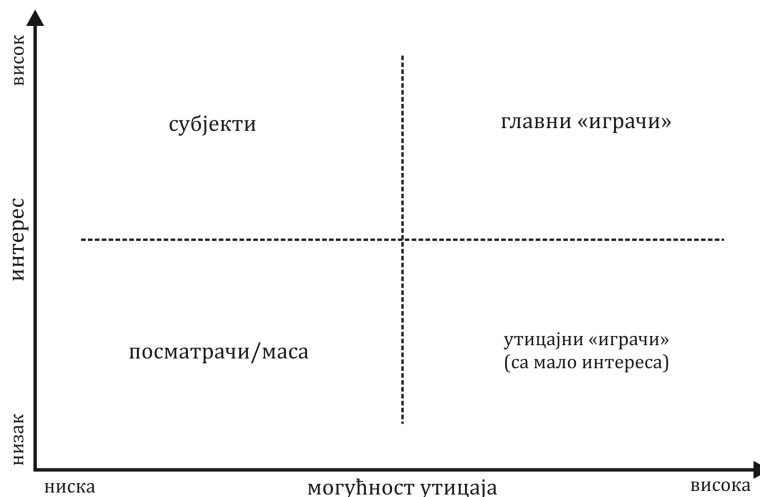
#### 5.4. Идентификација препрека за максимално искоришћење потенцијала у тренутним условима

Проблеми који се решавају применом *backcasting* методологије, најчешће, су комплексне природе, па је неопходно извршити детаљну анализу тренутног стања, како би се утврдиле све неопходне чињенице. Комплексни проблеми обухватају велики број заинтересованих страна на које утиче предмет разматрања или које могу да утичу на предмет разматрања. Стога је пре него што се приступи следећим корацима, неопходно извршити идентификацију и анализу заинтересованих страна. Коришћење биомасе зависи од низа фактора, који су не само техничке, већ и социјалне, еколошке и економске природе. Резултати примене математичке оптимизације на одређивање количине биомасе која се може користити у тренутним условима, представљају основ за идентификацију покретача и препрека врши се максималном искоришћењу биомасе. Идентификација покретача и препрека врши се партиципативним поступком који подразумева укључивање заинтересованих страна. У овом кораку, заинтересоване стране се укључују кроз интервјуе, при чему је неопходно идентификовати и прелиминарно анализирати заинтересоване стране и позвати их да узму учешће у процесу.

##### Идентификација и укључивање заинтересованих страна

Укључивање заинтересованих страна у процес није, увек, једноставно и потребно је ангажовати више ресурса како би се обезбедило њихово активно учешће у процесу. Истраживање спроведено у раду [41] показује да укључивање заинтересованих страна у процес и њихова активност зависе од навика и окружења у коме живе. Тако на пример истраживање које је спроведено у пет градова (пет земаља) показује да заинтересоване стране из земаља које су у јужној Европи немају навике да се укључују у процесе доношења одлука. Како се наводи у [61], могуће објашњење је то да је у земљама јужне Европе, из културолошких разлога, процес доношења одлука „резервисан“ за политичаре и познате и признате експерте. Оваква ситуација може бити и резултат снажних лобија који штите одређене интересе, док занемарују друге.

Идентификација заинтересованих страна се врши на основу дефинисане територије која се разматра, дефинисаног типа биомасе и дефинисаних потенцијалних могућности коришћења биомасе, а пре свега на основу иницијалних разговора са представницима локалних власти и референтне литературе [56,60,61]. Обзиром да коришћење биомасе има утицај на ширу заједницу и као што је већ речено утиче на низ фактора, заинтересоване стране могу бити: локална власт, грађани (корисници биомасе или енергије/биогорива произведене из биомасе), власници шума, пољопривредних газдинстава, трговци енергентима, експерти, еколошке организације, удружења грађана. Може се, на одређеној територији, идентификовати велики број заинтересованих страна, али немају све исти интерес и исту могућност утицаја по питању одређеног проблема. Због тога се врши прелиминарна анализа свих потенцијалних заинтересованих страна помоћу дијаграма *могућност утицаја-интерес* (слика 5.6), како би се у даљи рад укључиле само оне заинтересоване стране које имају моћ и интерес да начине неопходне промене.



Слика 5.6. Дијаграм могућност утицаја-интерес за анализу заинтересованих страна

Прелиминарна анализа омогућује одабир заинтересованих страна које би требало позвати на интервјуе, односно привремено искључује из процеса оне заинтересоване стране које према прелиминарној анализи имају ниску моћ и утицај (посматрачи/маса) на истраживање/студију/планирање које се спроводи. Неопходно је нагласити, да прелиминарна анализа, не значи и дефинитивно искључивање из процеса оних заинтересованих страна чији су моћ и утицај процењени као ниски, јер се након интервјуа са заинтересованим странама поново врши анализа, која може довести до тога да се неке заинтересоване стране укључе, а неке евентуално искључе из процеса.

Након идентификације и прелиминарне анализе, заинтересоване стране могу бити позиване на више начина [41,53,57,60]: поштом, електронском поштом, телефоном, личним контактом, преко контакт особа у институцијама на територији која је предмет разматрања или путем медија.

### Интервјуисање

Спровођење интервјуа се врши према упитнику који садржи низ питања. Она омогућавају добијање неопходних података и мишљења од стране интервјуисаних заинтересованих особа, која су неопходни за даљу анализу. Како би се поступак интервјуисања обавио што ефикасније и како би се смањило оптерећење заинтересованих страна, упитник је подељен на четири целине. Прва целина упитника се односи на информације о интервјуисаној особи и податке о њеној/његовој повезаности са производњом дистрибуцијом и/или коришћењем биомасе. Друга целина обухвата питања везана за анализу и могућности коришћења биомасе у тренутним условима. У оквиру ових питања дају се одговори на то да ли се биомаса (и који од типова биомасе) користи и да ли је такво коришћење адекватно, који су покретачи и препреке за коришћење биомасе, на који начин се доносе одлуке везане за коришћење биомасе, да ли се спроводе неке активности, да ли се води рачуна о заштити животне средине, као и да ли су грађанима доступне информације везане за коришћење биомасе (потенцијал и могућности). Питања друге целине која су садржана у упитнику су:

- Како је Ваше мишљење о садашњем начину коришћења биомасе? У којој је мери заступљено и да ли се адекватно користи?
- Шта је добро у садашњем начину коришћења биомасе?



- Шта је лоше у садашњем начину коришћења биомасе?
- Који су главни покретачи и препреке за тренутно стање у погледу коришћења биомасе?
- Да ли сте упознати са тржишним аспектима доношења одлука везаних за коришћење биомасе на локалном нивоу? Ко по Вашем мишљењу има кључну улогу?
- Да ли сте упознати са регулаторним аспектима доношења одлука везаних за коришћење биомасе на локалном нивоу? Ко по Вашем мишљењу има кључну улогу?
- Да ли је потребно да буде још укључених приликом доношења одлука које се односе на коришћење биомасе на локалном нивоу?
- Да ли се утицај на животну средину разматра при доношењу одлука које се односе на коришћење биомасе на локалном нивоу? Да ли сматрате да је тај утицај адекватно вреднован при доношењу одлуке?
- Шта мислите о тренутним начинима задовољења потреба за топлотном енергијом у општини?
- Да ли су јавности доступне информације које се односе на могућност коришћења биомасе (осим огревног дрвета)?
- Да ли знате за неке спроведене активности (покренута иницијатива, планирано, остварено) везано за коришћење биомасе или неког другог ОИЕ у општини и/или пројекте везане за унапређење енергетске ефикасности? Наведите неке од резултата остварених пројеката. Уколико постоје пројекти који нису реализовани, који су разлози?

Питања везана за дугорочно планирање коришћења потенцијала биомасе обухваћена су трећом целином (детално објашњено у поглављу 5.6.). Последња целина интервјуа односи се на анализу предложених заинтересованих страна за учешће у поступку дугорочног планирања. Свака интервјуисана особа може да анализира предложене заинтересоване стране и одређује њихов положај на дијаграму могућност утицаја-интерес. Такође свака од интервјуисаних особа је могла да предложи укључивање додатних заинтересованих страна које се нису налазиле на иницијалној листи.

Дакле, током интервјуа, заинтересована страна, одговара на питања која се односе на тренутно стање, али и на жељено будуће стање и анализу заинтересованих страна. Интервју се одвија тако да особа која интервјуише поставља питања и даје евентуална разјашњења о питањима без сугерисања одговора.

## 5.5. Идентификација критеријума и покретача и препрека за дугорочну максимизацију искоришћења потенцијала и дефинисање жељеног стања

Критеријуми, покретачи и препреке за дугорочну максимизацију потенцијала, као и жељено стање дефинишу се на основу спроведених интервјуа, описаних у претходном поглављу. Како је већ наглашено, питања везана за дугорочно планирање коришћења потенцијала биомасе обухваћена су трећом целином упитника. Циљ коришћења ове целине упитника је да се добију информације које ће помоћи при креирању дугорочних



сценарија везаних за биомасу. Одговори на питања која су обухваћена овом целином, требало би да дају информације о евентуалним дугорочним плановима и пројектима као и о постојању праксе укључивања заинтересованих страна у процес дугорочног планирања. Затим би требало установити, да ли је могуће доћи до унапређења тренутног стања у кратком року, без значајних К-Т-С промена. Кроз питања из треће целине, дефинишу су критеријуми које би требало да задовољи жељено стање, као и на којим системима и технологијама би то стање требало да буде базирано. Критеријуми који се дефинишу морају да буду мерљиви, јер једино такви могу бити унапређени. Такође, дефинише се и предлог покретача и препрека дугорочној максимизацији искоришћења постојећег потенцијала. Питања треће целине која су садржана у упитнику су:

- Да ли је, у вашој организацији/општини, уобичајено укључивање различитих заинтересованих страна у процес доношења одлука (без обзира на шта се односе)?
- Да ли сте упознати са функционисањем ланца снабдевања биомасом?
- Да ли мислите да је могуће у наредном периоду (у кратком року), без значајних К-Т-С промена, доћи до унапређења коришћења биомасе, тј до значајнијег коришћења потенцијала?
- Уколико бисте се ставили у време кроз 20/30 година, како замишљате коришћење биомасе? Описати како би изгледао будући систем?
- Које врсте биомасе ће имати највећи удео?
- Која технологија би требала да буде коришћена?
- Шта би требало да карактерише будући „систем“ коришћења биомасе, како би се остварила одржива максимизација искоришћења потенцијала? Наведите неколико мерљивих критеријума.
- Који су главни покретачи и препреке дугорочној максимизацији искоришћења постојећег потенцијала?
- Које технологије за конверзију енергије биомасе би требало користити у будућности? Технологије су, за потребе методологије, подељене у четири групе: производња биогорива, топлане, електране, когенерација.

Критеријуми се дефинишу анализом одговора са интервјуа уз учешће експерата. Одговарањем на питања из упитника, заинтересоване стране интерпретирају критеријуме на свој начин и вероватно је да ће бити дефинисан велики број критеријума. Такође, могуће је да дефинисани критеријуми различитих заинтересованих страна буду интерпретирани тако да се могу груписати у један критеријум. Велики број критеријума је непрактичан за даљи рад, па се препоручује да се изврши одабир неколико (најчешће до пет) највреднијих критеријума и поткритеријума. Дефинисање критеријума, анализа предложених критеријума и на крају одабир највреднијих критеријума врши се на радионици<sup>24</sup> и требало би да представљају решење добијено консензусом свих

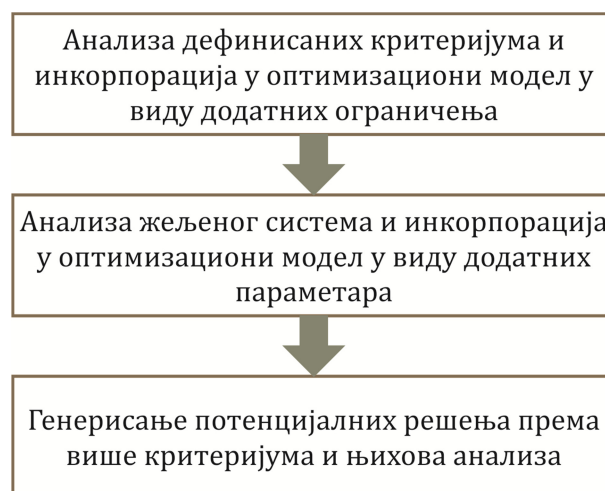
---

<sup>24</sup> У оквиру предложене методологије предвиђено је, поред интервјуа, спровођење једне радионице са заинтересованим странама. На основу спроведеног истраживања у раду [61], истиче се да традиционална структура *backcasting* приступа са две радионице, утиче на смањење квалитета добијених резултата, јер је број заинтересованих страна на другој радионици често знатно мањи него на првој. Такође, често је пракса да се на другој радионици појављују учесници који нису биле на првој, што такође има утицај на резултате. Стога се препоручује, да се заинтересованим странама омогући, уз спровођење једне радионице, неки вид учешћа у целокупном процесу.

заинтересованих страна. Кроз интервјуе, заинтересоване стране дају и своје виђење жељеног стања у будућности. На основу одговора заинтересованих страна, може се дефинисати оквирна визија жељеног система. Визија жељеног система подразумева дефинисања врсте биомасе на којој ће бити заснован жељени систем, технологије која ће се користити и обим коришћења биомасе (снабдевања).

## 5.6. Генерисање и анализа решења која могу допринети максимизацији искоришћења потенцијала

Генерисање и анализа решења врши се кроз поступак приказан на слици 5.7, који се састоји из три фазе.



Слика 5.7. Поступак генерисања и анализе решења

### 5.6.1. Анализа дефинисаних критеријума и инкорпорација у оптимизациони модел у виду додатних ограничења

Критеријуми који се дефинишу у току интервјуа са заинтересованим странама инкорпорирају се у оптимизациони модел у виду додатних ограничења. Инкорпорацијом у модел, обезбеђује се да решење добијено као излаз из математичког модела буде у складу са дефинисаним критеријумима, што је од великог значаја јер се критеријумима на неки начин описују захтеви заинтересованих страна, чиме се обезбеђује одрживост решења. На пример, уколико је ограничење еколошка прихватљивост, онда се у модел додаје ограничење које ограничава да емисија гасова стаклене баште, или неких других изабраних полутаната, буде нижа од постојеће или да буде нижа од неке жељене вредности.

### 5.6.2. Анализа жељеног система и инкорпорација у оптимизациони модел у виду додатних параметара

Жељени начин коришћења биомасе може бити дефинисан тако да захтева додавање нових параметара у дефинисани оптимизациони модел. Параметри који се додају могу бити: нови потрошачи, нове локације потенцијалних постројења и сл. Параметри се додају или директно у модел или у базу података.

### 5.6.3. Генерисање потенцијалних решења према више функција циља и њихова анализа

Након анализирања резултата интервјуа који се односе на дугорочно планирање и евентуалног додавања нових ограничења и параметара, а на основу претходно извршеног мапирања, математичком оптимизацијом се генеришу потенцијална решења на основу више постављених функција циља и ограничења.

Како би се одредила количина биомасе која се може користити на најисплативији начин, генеришу се потенцијална решења са функцијом циља максимизације  $NPVQ$ .  $NPVQ$  различитих потенцијалних пројеката показује који је пројекат најисплативији, односно више вредности  $NPVQ$  означавају који је пројекат профитабилнији што омогућава рангирање потенцијалних пројеката према односу профит/инвестиција [96,97]. Вредност  $NPVQ$  показује колико ће се јединица новца зарадити на једну уложену по истеку пројекта. Овај начин одређивања оптималне инвестиције је посебно значајан када се располаже са ограниченом количином новца и потребно га је уложити на најисплативији могући начин. Комуналне заједнице у земљама у развоју, се најчешће суочавају са овим видом проблема. Сви пројекти код којих је  $NPVQ$  позитиван могу се сматрати економски оправданим.

Друга функција циља (максимизација  $NPV$ ) показује колико ће пројекат или пројекти донети новца након одређеног временског периода. За разлику од претходне функције циља, пројекти који имају највећу  $NPV$  не морају да буду и најисплативији, али показују која количина новца је на располагању после завршетка пројекта, односно колико новца се може улагати у наредне пројекте.

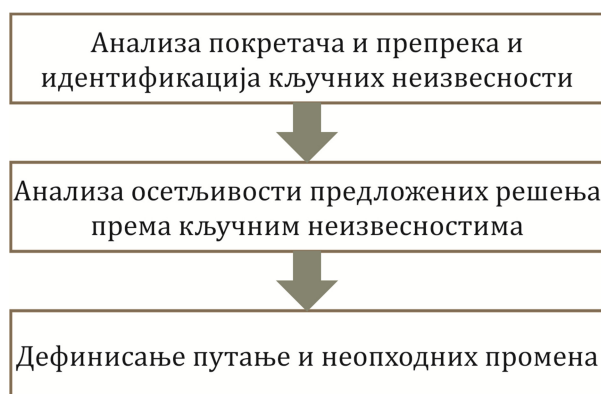
Максимизација употребљене количине дрвне биомасе у енергетске свхе је трећа функција циља која уједно представља и циљ предложене методологије. Ова методологија показује коју количину биомасе можемо користити и на који начин. Како би употреба била економски оправдана потребно је поставити ограничење минималне вредности  $NPV$ . За потребе анализе у дисертацији предвиђено је да  $NPV \geq 0,01 \cdot INV$ . На овај начин се одређује економски потенцијал разматране дрвне биомасе.

Решења добијена овом функцијом циља су основа за разраду акционог плана. Наравно, потребно је сагледати и решења која су добијена коришћењем претходно описаних функција циља, како би се стекла потпуна слика и правилно дефинисао акциони план.

Треба имати на уму да резултати добијени на овај начин представљају количину биомасе која се може користити у складу са садашњим тржишним условима (цене енергената и технологија). Због тога је неопходно урадити анализу осетљивости на промену кључних тржишних параметара. Анализа осетљивости ће показати колико промена одређених параметара може да утиче на техно-економске параметре генерисаних решења.

## 5.7. Развој дугорочних сценарија

Након генерисања и анализе потенцијалних решења прелази се на последњи корак предложене методологије - развој дугорочних сценарија. Развој дугорочних сценарија обавља се у три фазе (слика 5.8).

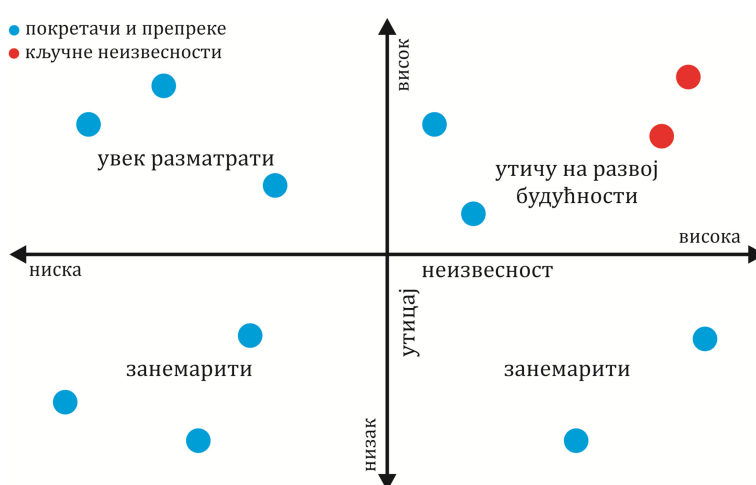


Слика 5.8. Фазе развоја дугорочних сценарија

### 5.7.1. Анализа покретача и препрека и идентификација кључних неизвесности

Покретачи и препреке дугорочном планирању представљају један од главних фактора према којима је потребно анализирати предложена решења. Покретачи и препреке се дефинишу током интервјуа и радионице, али је потребно и значајно одредити кључне неизвесности. Кључне неизвесности су они покретачи и препреке чије се промене током времена не могу предвидети, односно нису део постојећих трендова, а имају утицај на разматрани систем. На пример, промену броја становника током времена можемо предвидети, али је, са друге стране, постојање политичке воље и подршке да се остваре неке промене, посебно у Србији, врло тешко предвидети.

Идентификација кључних неизвесности се врши позиционирањем дефинисаних покретача и препрека на дијаграму *утицај-неизвесност* слика (5.9):

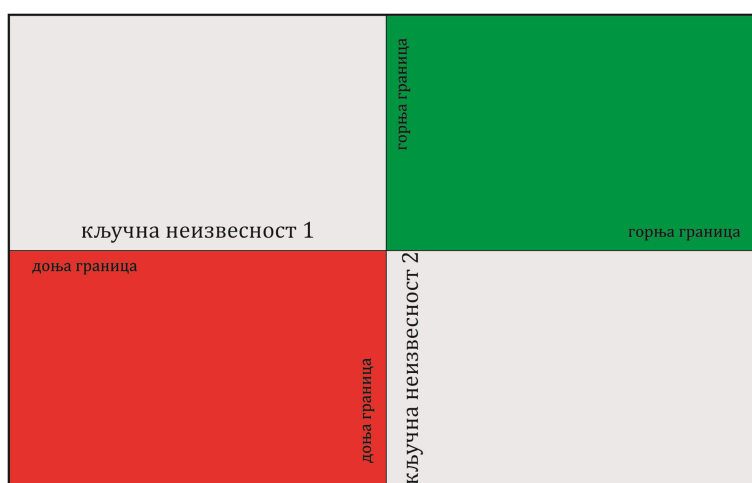


Слика 5.9. Анализа покретача и препрека

Циљ овог поступка је идентификација две (највише три) кључне неизвесности према којима ће се вршити даља анализа.

### 5.7.2. Анализа предложених решења према кључним неизвесностима

Предложена решења је потребно анализирати према дефинисаним кључним неизвесностима тако што се разматра утицај екстремних вредности идентификованих кључних неизвесности (слика 5.10.), на предложена решења и разматра како избећи или умањити њихов утицај. Анализа осетљивости сценарија према кључним неизвесностима подразумева означавање поља, на дијаграму, у оквиру којег ће одређени сценарио бити одржив. Поступак анализе је детаљно објашњен кроз студију случаја (поглавље 6.6)



Слика 5.10. Анализа сценарија према кључним неизвесностима

### 5.7.3. Дефинисање путање и неопходних промена

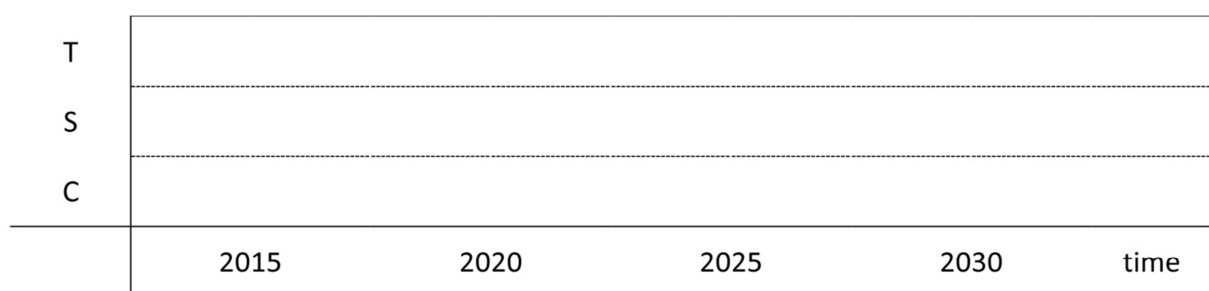
Трећа фаза у оквиру последњег корака предложене методологије, представља *backcasting* анализа, кроз коју се гледањем из перспективе пожељне будућности идентификују неопходне промене које је потребно остварити како би се дошло до пожељне будућности. Практично, кроз *backcasting* анализу, потребно је дати одговоре на следећа питања [44]:

- 1) Шта је неопходно променити, односно које су културолошке, структурне и технолошке промене неопходне?
- 2) Ко би требао извршити неопходне промене?
- 3) Како промене могу бити остварене?

Када се анализирају предложена питања, потребно је поново урадити анализу и ажурирати листу заинтересованих страна. Кроз анализу може доћи до идентификације заинтересованих страна (при анализи „Ко би требало извршити неопходне промене?“) које нису биле укључене од почетка, док се за друге може увидети да ипак немају велику моћ или интерес као што је то претпостављено у првој анализи.

Реализација неопходних промена, често ће бити пропраћена низом препрека, те је веома важно идентификовати поменути препреке, како би се приликом разраде акционог плана дефинисали начини да се препреке превазиђу.

Дефинисање акционог плана подразумева, планирање конкретних идентификованих активности како би се постигло жељено стање (слика 5.11). Као пример се може навести унапређење јавног транспорта, где се као жељено стање види развијена мрежа метроа. Да би се то жељено стање постигло кроз 20-30 година, неопходно је кренути у структурном смислу, са дефинисањем траса, променом урбанистичких планова, усклађивањем постојеће или доношењем нове правне регулативе... Затим, у технолошком смислу, почети са испитивањем терена, потом одабрати одговарајућу технологију и када се за то стекну услови, кренути са прокопавањем тунела и градњом станица. У културолошком смислу, потреба је пре свега информисати становништво о евентуалним изменама због изградње метроа, како ће се то одразити на њихове животне навике, а потом и благовремено едуковати становништво, како би било спремно да прихвати и користи нови вид транспорта.

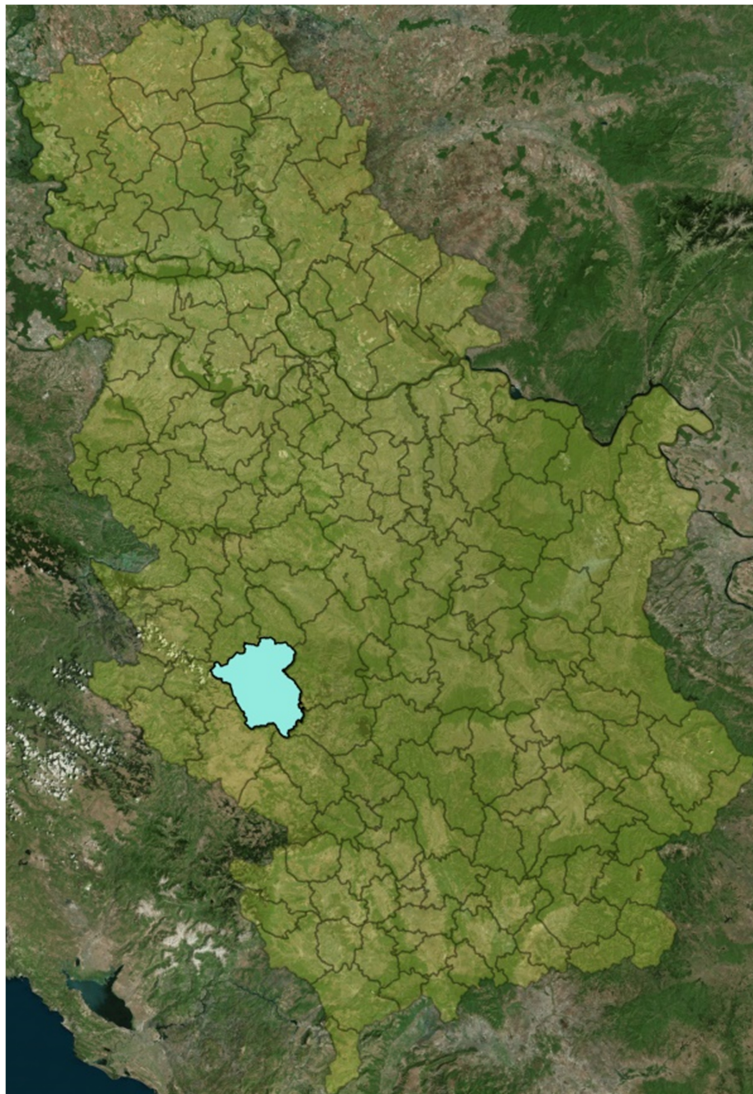


Слика 5.11. Временски распоред промена и активности

## 6. ПРИМЕНА МЕТОДОЛОГИЈЕ НА СТУДИЈИ СЛУЧАЈА

### 6.1. Анализа потенцијала и коришћења

Развијена методологија примењена је и тестирана кроз студију случаја унапређења и максимизације коришћења шумске биомасе на територији општине Ивањица. Ивањица се налази у југозападној Србији (слика 6.1) и заузима површину од око 1.090 km<sup>2</sup>, од чега је под шумским покривачем 55.306,84 ha или 50.74% територије, што је више од просечне шумовитости Србије која износи 29,1% [77,99]. Обзиром да је просечан прираст око 4,5 m<sup>3</sup>/ha [77], процењује се да укупан прираст дрвета у шумама на територији општине Ивањица износи преко 248.000,00 m<sup>3</sup>, од чега око 137.000,00 m<sup>3</sup> у шумама које су у државном власништву (55% од укупног шумског покривача на територији општине Ивањице заузимају државне шуме).



Слика 6.1. Положај Општине Ивањица

Већи број врста шумског дрвећа је заступљен у шумама на територији општине. На висинама до 1000 метара надморске висине распрострањене су врба, топола, јова, јасен,



цер, храст, граб, брест, буква, јавор и зова, а на висинама преко 1.000 метара смрека, јела и бор. Преовлађујуће врсте на територији општине су буква, смрека/јела и бор. Актуелни подаци ЈП Србијашуме<sup>25</sup> показују да се годишње посеће око 87.400 m<sup>3</sup> дрвета од чега 14,30% (12.500 m<sup>3</sup>) су шумски остаци [77]. Однос сече и прираста износи око 59%, што је нешто ниже од препорученог односа за одрживо коришћење шумских ресурса. Обзиром да се један део шумских ресурса налази у оквиру заштићених подручја I и II категорије у оквиру Парка природе „Голија“ [104], не би требало очекивати значајније увећање овог односа. Укупан енергетски потенцијал остатака је значајан и износи око 33.917,6 MWh, табела 6.1. Међутим, због недостатка финансијских средстава за инвестиције у енергетски сектор као и због навика становништва, коришћење шумских остатака је на веома ниском нивоу.

Табела 6.1 Годишњи обим сече (просечно 2011-2014)

Врста шумског дрвећа	Укупно посечено [m <sup>3</sup> ]	Шумски остаци [m <sup>3</sup> ]	Биомаса [t]	LHV [MWh/t]	Енергетски потенцијал [MWh]
Тврди лишћари	50.770,00	7.260,00	5.805,00	3.86	22.407,30
Меки лишћари	12.180,00	1.740,00	1.045,00	3.50	3.657,50
Четинари	24.450,00	3.500,00	1.920,00	4.09	7.852,8
УКУПНО	87.400,00	12.500,00	8.770,00		33.917,60

Шумски остаци представљају један од најзначајнијих неискоришћених потенцијала на територији Општине Ивањица и из тог разлога ће могућности коришћења шумских остатака у енергетске сврхе бити предмет студије случаја и биће анализирани у наредним поглављима.

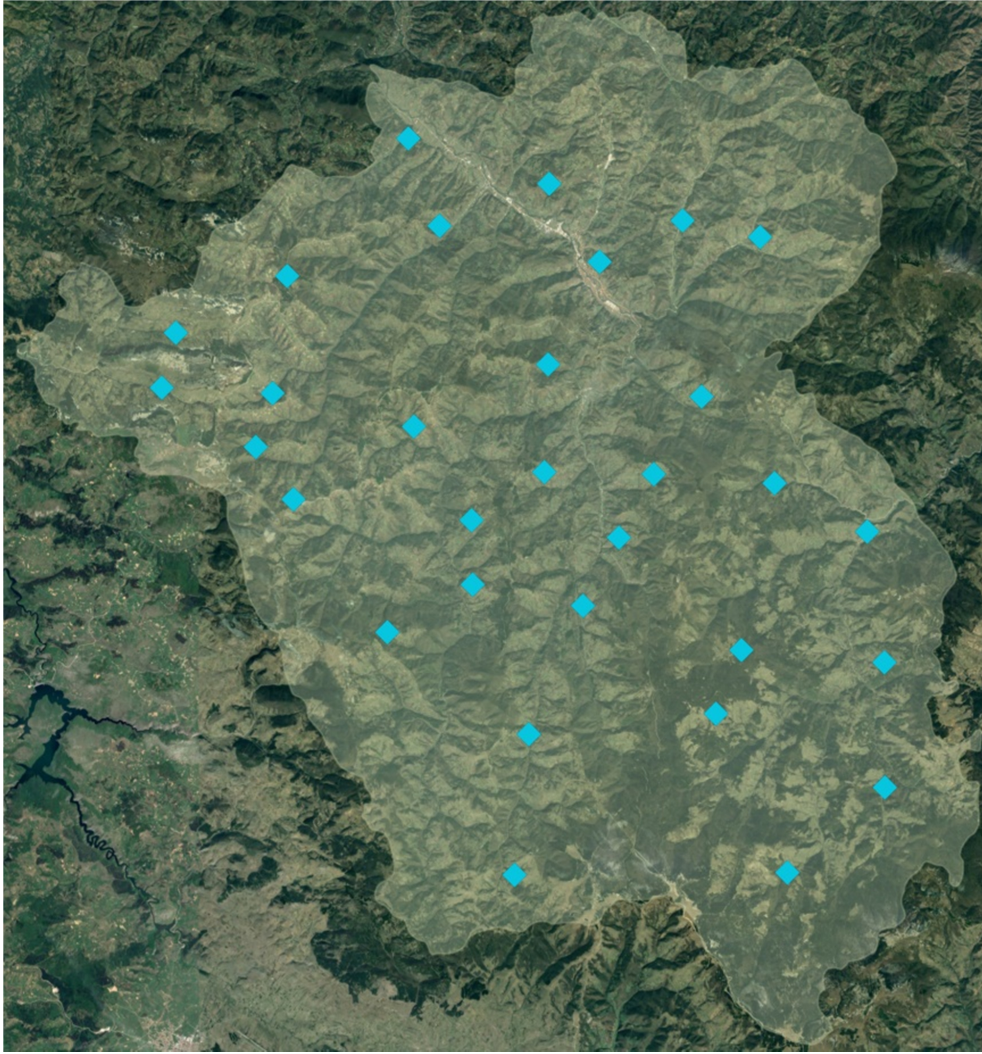
#### 6.1.1. Потенцијал шумских остатака на територији општине Ивањица и њихово мапирање

Количине остатака које остају на појединим парцелама и које се могу сакупити и складиштити на потенцијалним примарним складиштима варирају и могу се битно разликовати од локације до локације, што зависи од покривеност шумом и планиране експлоатације шумских ресурса. У складу са предложеном методологијом, центри катастарских општина су усвојени као локације примарних складишта. Општина Ивањица подељена је на 42 катастарске општине и на основу територијалне расподеле шумских ресурса и остатака, 30 (тридесет) је усвојено као локације потенцијалних примарних складишта, слика 6.2. За визуализацију локација потенцијалних примарних складишта, као и локација потенцијалних постројења, као и растојања између њих, коришћен је софтвер *QGIS*<sup>26</sup> (*Quantum GIS*).

<sup>25</sup> Односи се само на државне шуме

<sup>26</sup> <http://www.qgis.org/en/site/>





Слика 6.2. Потенцијалне локације примарних складишта

Количине<sup>27</sup> шумских остатака  $res_i$  [t] које су доступне на свакој од локација  $loc1, loc2, \dots, loc30$  потенцијалних примарних складишта приказане су у табели 6.2.

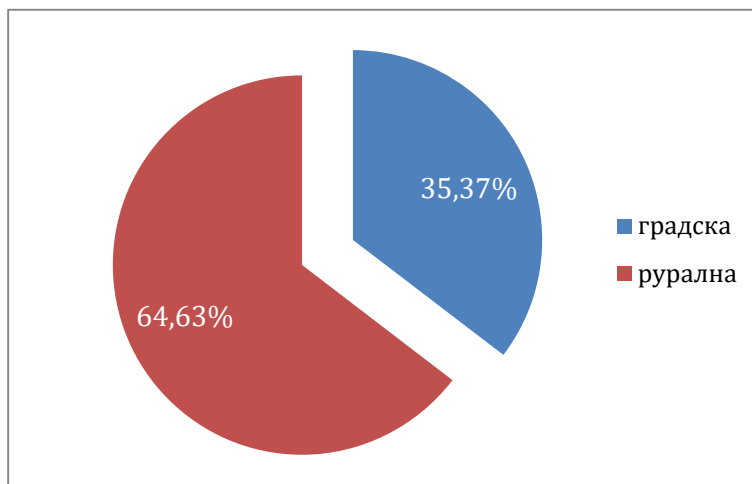
Табела 6.2 Доступне количине шумске биомасе

$res_i$ [t]	$res_i$ [t]	$res_i$ [t]	$res_i$ [t]	$res_i$ [t]	$res_i$ [t]
<i>loc1</i>	46,16	<i>loc6</i>	339,54	<i>loc11</i>	30,56
<i>loc2</i>	30,43	<i>loc7</i>	551,92	<i>loc12</i>	48,04
<i>loc3</i>	1.132,36	<i>loc8</i>	448,73	<i>loc13</i>	1.725,95
<i>loc4</i>	490,45	<i>loc9</i>	991,54	<i>loc14</i>	14,46
<i>loc5</i>	268,14	<i>loc10</i>	53,72	<i>loc15</i>	177,12
				<i>loc16</i>	369,31
				<i>loc17</i>	262,28
				<i>loc18</i>	26,76
				<i>loc19</i>	344,06
				<i>loc20</i>	76,01
				<i>loc21</i>	160,29
				<i>loc22</i>	171,21
				<i>loc23</i>	17,36
				<i>loc24</i>	547,30
				<i>loc25</i>	46,31
				<i>loc26</i>	34,19
				<i>loc27</i>	321,38
				<i>loc28</i>	352,74
				<i>loc29</i>	42,98
				<i>loc30</i>	111,32

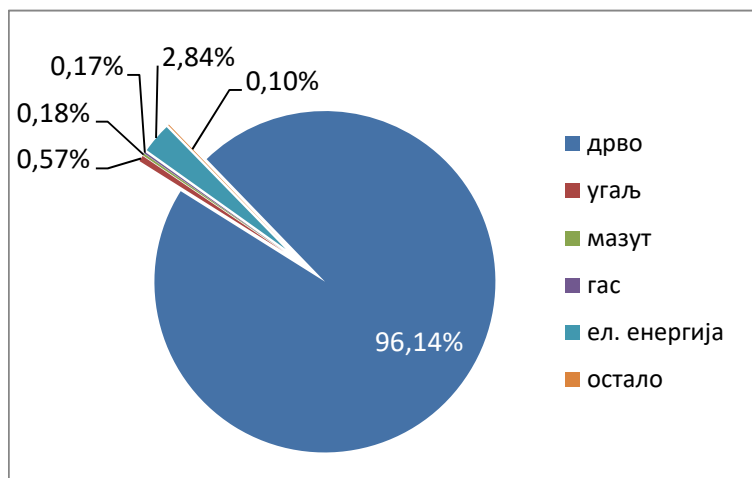
<sup>27</sup> ПРИЛОГ 2 - Подаци који су добијени од ЈП Србија шуме, а који су коришћени за одређивање доступних количина шумске биомасе

### 6.1.2. Анализа коришћења шумских остатака и мапирање потенцијалних локација постројења за валоризацију

Према званичним резултатима пописа, популацију општине чини 31.963 грађанина у оквиру 10.550 домаћинстава (у 10.388 настањених станова), од чега се 6.818 налази у руралном делу општине [105], слика 6.3.



Слика 6.3. Домаћинства у градском у руралном подручју



Слика 6.4. Расподела коришћења горива по становима

Дрво се као главни извор енергије за загревање простора и припрему хране користи у 9.772 домаћинстава (преко 96%, слика 6.4) од којих само четвртина поседује систем централног грејања, док остала домаћинства користе огревно дрво на традиционалан и неефикасан начин, слика 6.5 [102].



Слика 6.5. Удео станова са и без инсталација централног/етажног грејања

Традиционално коришћење огревног дрвета подразумева коришћење дрвета у пећима ниске ефикасности које поред загревања простора служе и за припрему. На основу студије спроведене од стране Главоњића и осталих [106] просечна ефикасност коришћених пећи је око 34%, при чему је око 50% пећи старије од 10 година. Коришћење ових пећи омогућава грејање једне или више просторија уз неравномерну расподелу топлоте.

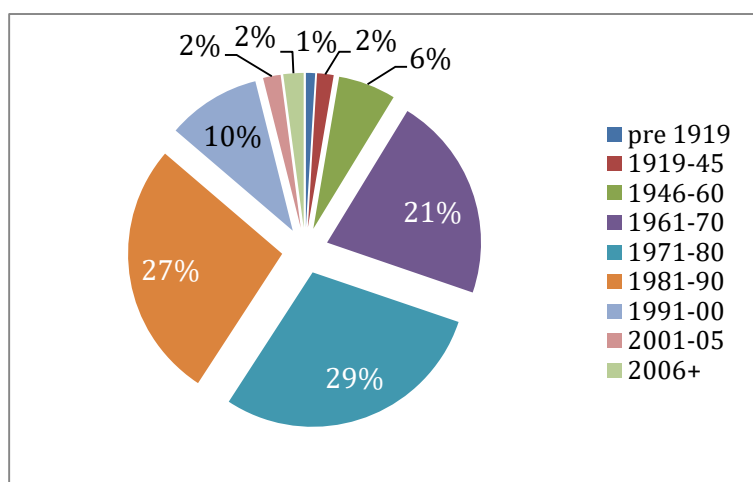
Коришћење огревног дрвета на овај начин, поред ниске ефикасности, често је праћено ниским нивоом комфора. Да би се огревно дрво користило у оваквим пећима, потребно га је претходно припремити. Припрема подразумева операције: стругања, цепања и складиштења, што захтева ангажовање радне снаге, време и простор. Потреба за ангажовањем радне снаге и простора се често занемарује од стране корисника када се рачуна цена топлотне енергије, јер се због лоше материјалне ситуације корисници одричу комфора како би имали мање трошкове. Поред тога, у одређеним случајевима јавља се недостатак простора за припрему и складиштење огревног дрвета, што је најчешће случај са вишепородичним стамбеним зградама (зграде колективног становања) или стамбеним објектима који се налазе у центру општина/градова (слика 6.6)



Слика 6.6. Складиштење огревног дрвета на јавним површинама

Најчешће коришћене пећи не дозвољавају никакав вид аутоматизације, односно захтевају мануелно убацавање дрва у ложиште, најчешће више пута у току дана. Мануелно убацавање дрвета у ложишта праћено је и мануелним допремањем дрва од места складиштења до просторије (у стану) где се налази пећ, што може представљати велики проблем у зимским условима када се место складиштења налази одвојено од стамбеног објекта. Проблем допремање дрвета до просторије где се налази пећ је изражен код вишеспратних вишепородичних стамбених зграда у случајевима када је потребно допремити дрво на више спратове.

Стање омотача грађевинских објеката које се карактерише, углавном, непостојањем термичке изолације, је додатни проблем који утиче на задовољење потреба топлотног конзума Ивањице. Више од 85% стамбених зграда и кућа на територији општине Ивањице је изграђено пре више од 25 година, слика 6.7 [107] и више од 83% не поседује адекватну термичку изолацију [106].



Слика 6.7. Стамбени сектор у Ивањици према години изградње

На основу године изградње и националне типологије стамбених зграда у Србији [97] и сервиса Републичког геодетског завода за повезивање и размену хармонизованих просторних података из различитих извора од различитих власника доступних путем интернета „Гео-Србија“ процењена је количина топлоте која је потребна на разматраној зони. Одређивање потребне количине топлоте значајно је због потреба дефинисања топлотног конзума и димензионисања постројења.

У општини Ивањица, налази се и неколико јавних објеката финансираних од стране општинске управе који су значајни енергетски потрошачи и захтевају значајна новчана средства за енергенте. Највећа новчана средства по утрошеној јединици топлотне енергије захтевају објекти који користе лож-уље као гориво. У табели 6.3 приказане су грејне површине јавних објеката, специфична годишња потрошња топлоте, количина потребне топлоте, број сати на годишњем нивоу и годишњи трошкови енергената. Подаци у табели добијени су на основу спроведеног енергетског билансирања које је, по методологији препорученој од стране Министарства рударства и енергетике, реализовано од стране надлежних општинских институција.

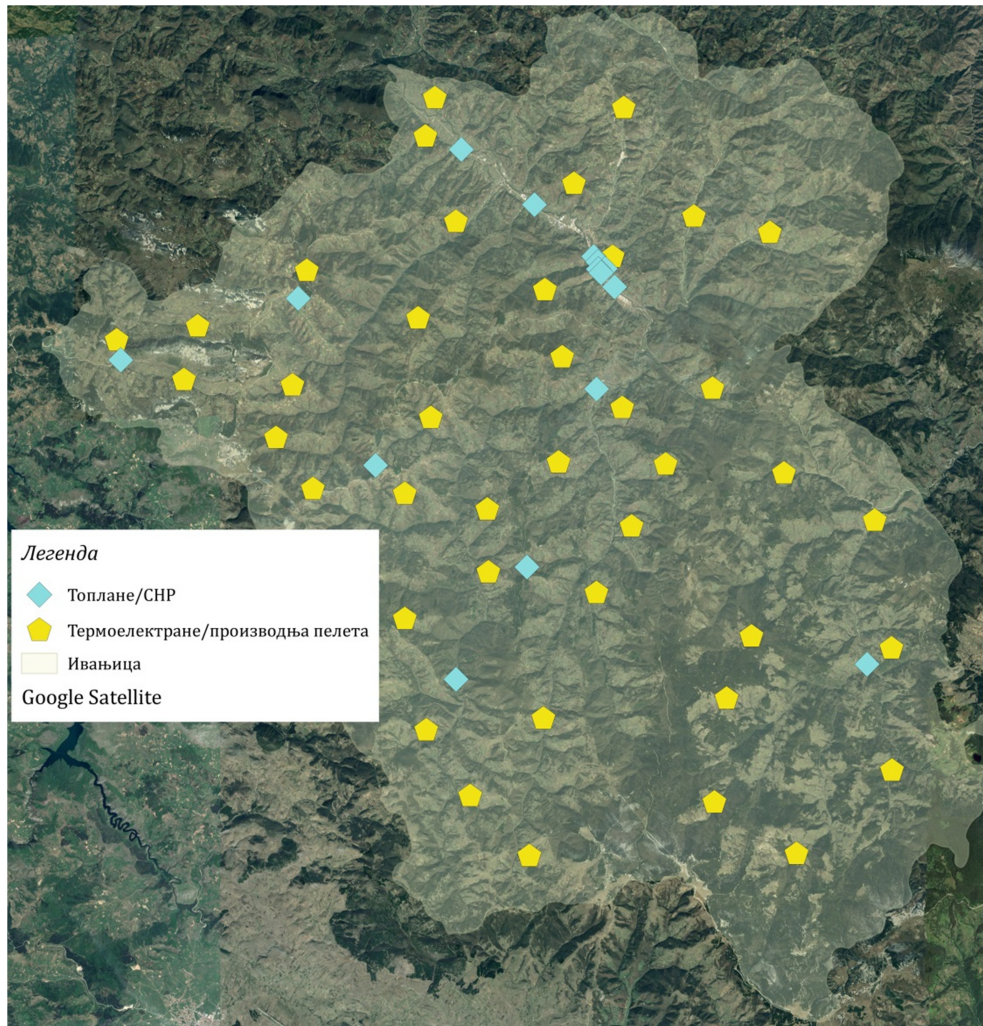


Табела 6.3 Карактеристике јавних објеката

	Објекат	Површина	Енергент	Специфична годишња потрошња топлотне енергије [kWh/m <sup>2</sup> ]	Годишње потребе за топлотном енергијом [kWh]	Годишњи трошкови енергента [€]
plant43	Дом здравља	5.715,00	лож-уље	319,5	1.898.083,19	205.000,00
plant44	Техничка школа	1.900,00	лож-уље	95,16	184.800,72	21.600,00
plant45	Гимназија / ОШ Милинко Кушић / Обданиште Ђурђевак	7300,00	огревно дрво	227,22	1.658.731,00	65.500,00
plant46	Обданиште Звончица	1.030,00	огревно дрво	194,65	200.484,94	4.800,00
plant47	ОШ Светозар Марковић	900,00	огревно дрво	136,13	122.520,45	3.200,00
plant48	ОШ Милан Вучићевић	800,00	огревно дрво	292,69	234.150,00	4.000,00
plant49	ОШ Вучић Величковић	2.500,00	огревно дрво	60,48	151.200,00	3.600,00
plant50	ОШ Мићо Матовић – Брезова	100,00	огревно дрво	168,00	16.800,00	400,00
plant51	ОШ Мићо Матовић – Мочиоци	807,00	огревно дрво/сечка	124,91	100.802,37	2.400,00
plant52	ОШ Недељко Кошанин	882,00	огревно дрво	313,81	276.780,42	6.800,00
plant53	ОШ Мајор Илић	815,00	огревно дрво	206,13	167.995,95	4.000,00
plant54	ОШ Сретен Лазаревић	2.070,00	огревно дрво	146,09	302.407,42	7.200,00
plant55	ОШ Кирило Савић	5.240,00	огревно дрво	144,27	755.974,80	19.400,00
plant56	ОШ Милинко Кушић / Обданиште - Буковица	1.300,00	огревно дрво	208,38	270.900,00	6.000,00
plant57	СО Ивањица	1.300,00	лож-уље	165,85	215.600,00	28.800,00
	УКУПНО	32.659,00			6.557.231,26	382.700,00

Узимајући у обзир постојеће стање топлотног конзума и комерцијално доступних технологија, постројења за производњу пелета (*pp*), термоелектрана са парнотурбинским постројењем (*pt*), топлане са котловима на дрвну сечку (*bb*) и когенерациона постројења заснована на органском Ранкиновом циклусу (*orc*) су разматрана као потенцијална која се могу применити у оквиру студије случаја. За масовније коришћење технологија производње течних и гасовитих биогорива и њихово евентуално коришћење у

енерганамa, главну препреку чине високи енергетски захтеви за прераду дрвне биомасе [27,108].



Слика 6.8. Потенцијалне локације постројења за валоризацију биомасе

На основу иницијалних разговора са представницима општинских власти локације јавних објеката дефинисане су као потенцијалне локације<sup>28</sup> топлана или когенерационих, постројења обзиром да се енергетски трошкови ових објекта финансирају од стране локалне самоуправе и да би њихово укључење у потенцијални енергетски систем било извесно у случају повољних економских параметара. Уз снабдевање јавних објеката планирано је и снабдевање околних стамбених и комерцијалних објеката.

Потенцијалне локације топлана и когенерационих постројења су за потребе математичког модела означене са *plant43*, *plant44*, ..., *plant57* (укупно 15 локација (табела 6.3)), док су за потенцијалне локације термоелектрана и постројења за производњу пелета усвојени центри катастарских општина *plant1*, *plant2*, ..., *plant42* (укупно 42), слика 6.8. Као што је већ напоменуто, за потенцијалне локације постројења за производњу пелета и термоелектране неопходно је постојање одговарајуће инфраструктуре, као и

<sup>28</sup> Потенцијалне локације које се дефинишу у овом кораку могу бити измењене током рада са заинтересованим странама.

поштовање регулативе за евентуална ограничења. То значи да потенцијално постројење за производњу пелета или термоелектрана неће бити изграђено тачно на месту где је географски центар катастарске општине, већ у околини где за то постоје услови.

## 6.2. Могућност коришћења биомасе у тренутним условима

Количина биомасе која се може користити у тренутним условима подразумева ону количину која се може користити у постојећим постројењима или уз модификацију постојећег постројења, односно ложишта, што не захтева велика инвестициона улагања и значајне К-Т-С промене. Локације на којима је могућа евентуална модификација котлова или ложишта су оне на којима се сада користи огревно дрво као енергент. Међутим, у већини од ових објеката постојећи системи су у таквом стању да захтевају замену котлова без обзира да ли се разматра увођење система на дрвну сечку, док код појединих објеката (сеоских школа на локацијама *plant47*, *plant48*, *plant49*, *plant50* и *плант53*) услед значајног смањења броја ђака увођење оваквих система не би имало економског смисла. Систем грејања на локацији *plant51* је унапређен 2007. године када су постојећи котлови на мазут замењени новим који користе дрвну биомасу (сечку). Котао који снабдева Гимназију, ОШ Милинко Кушић и Ђурђевак (*plant45*) је стар и потребна је његова замена. Поред, тога котларница се налази у подруму и дозирање се врши мануелно. Такође су потребна значајна улагања у систем складиштења шумских остатака и у систем аутоматског дозирања. У обданишту Звончица (*plant46*) је потребна замена котла и изградња складишта како би било могуће коришћење уситњених шумских остатака. Слична је ситуација код ОШ Кирило Савић (*plant55*) и ОШ Недељко Кошанин (*plant52*). Коришћење шумских остатака, односно дрвне сечке није могуће без замене котла на локацијама где се сада користи мазут.

Дакле, тренутно се шумски остаци у облику сечке могу користити само у једном постојећем постројењу (*plant51*), а да при том нису потребне значајније К-Т-С промене и улагања. Применом модела *LP*, добијено је, да се на овој локацији може искористити 60 t доступних шумских остатака.

## 6.3. Препреке за максимално искоришћене потенцијала у тренутним условима

Препреке за максимално искоришћење потенцијала у тренутним условима дефинисане су анализом резултата добијених током спровођења интервјуа са заинтересованим странама.

### Идентификација и позивање заинтересованих страна

Током припреме питања за интервјуе и прављења плана за извођење интервјуа, на основу претходног искуства [109] и реализованих истраживања описаних у [41,53,56,60,61] извршена је идентификација заинтересованих страна и прелиминарна анализа њихових могућих утицаја. Заинтересоване стране које би могле да имају одређену моћ или утицај у оквиру разматране студије случаја су идентификоване и позване да узму учешће у интервјуима и даљем раду (табела 6.4).

Табела 6.4 Заинтересоване стране укључене у процес

Институција	Опис	Интервјуисање	Радионица
Локална управа	Општинско веће	+	-
Локална управа	Општинско веће	-	+
Општинска управа	Одсек за економски развој	+	+
Општинска управа	Одсек за економски развој	+	+
Општинска управа	Одсек (еколошке) инспекције	+	+
ЈП Србијашуме, ШГ Голија	Планирање и анализа	+	-
ЈП Србијашуме, ШГ Голија	Планирање и анализа	-	+
ЈП Србијашуме, ШГ Голија	Ревирни инжењер	+	+
Удружење Зелени ЕПИ-центар	Промоција екологије, заштите животне средине, чисте енергије и одрживог развоја Ивањице	+	+
Удружење Зелени ЕПИ-центар	Промоција екологије, заштите животне средине, чисте енергије и одрживог развоја Ивањице	+	-
ЈКП Комунално	Управљање отпадом	+	-
СЗР Милур	Услужна делатност у шумарству	+	-
Грађани	грађани	+	+
Грађани	Грађани	+	+

Позивање заинтересованих страна обављено је у периоду од две недеље пре извођења интервјуа, личним контактом, телефоном и преко контакт особа у одређеним институцијама.

#### Спровођење интервјуа и анализа резултата

Интервјуисање заинтересованих страна обављено је у периоду од једне радне недеље на више локација. У току интервјуисања заинтересоване стране су одговарале на питања са позиције на којој су идентификоване као заинтересоване стране. На почетку интервјуа заинтересованим странама су презентоване основне информације везане за биомасу и врсте биомасе, као и о могућностима њеног коришћења.

Иако је студијом случаја предвиђено разматрање коришћења шумских остатака у енергетске сврхе, у оквиру уводних питања овог дела интервјуа, од заинтересованих страна се тражило генерално мишљење о свим врстама биомасе. Мишљење заинтересованих страна о коришћењу и могућностима коришћења осталих врста биомасе је значајно у циљу стицања увида у евентуалну могућност коришћења оних врста биомасе које нису предмет студије случаја. Обзиром да је око 55% територије општине Ивањица покривено шумом и да око 95% домаћинстава користи огревно дрво као енергент за загревање стамбеног простора, заинтересоване стране су у значајној мери упознате са коришћењем огревног дрвета у енергетске сврхе. Међутим, када су у питању други



извори биомасе (друге врсте) и могућност њиховог коришћења у енергетске сврхе (шумски остаци, остаци резидбе воћа, остаци из малињака и купинака, остаци узгајања ратарских култура), оне нису упознате у довољној мери (осим представника из општинске управе које се баве одрживим развојем и енергетиком). Може се рећи да ниво упознатости са основним информацијама и генерално са биомасом зависи од групе коју заинтересоване стране представљају. На основу претходног се закључује да је недовољна информисаност на свим нивоима прва препрека за значајније коришћење доступног потенцијала и то не само шумских остатака већ и осталих врста биомасе.

Коришћење огревног дрвета у тренутним условима има добре стране јер је огревно дрво доступно, обзиром да постоји организована сеча и откуп дрвета, као и да је према мишљењу заинтересованих страна економски најповољнији енергент. Код овакве тврдње треба имати у виду, да мали део станова има инсталиран систем индивидуалног централног, који је, по мишљењу заинтересованих страна, скуп систем (обзиром на платежну моћ становништва<sup>29</sup>). Већина заинтересованих страна је упозната са могућностима и предностима овог система, као и са аутоматизованим системима грејања који као гориво користе дрвени пелет и дрвну сечку, али сматрају да код већине становништва нема економске могућности за инсталацију таквих система.

Иако обезбеђује већу ефикасност искоришћења ресурса и виши ниво комфора, цена система за централно грејање је идентификована као једна од лоших страна у садашњем начину коришћења биомасе, односно огревног дрвета. Традиционално и неефикасно коришћење огревног дрвета, по мишљењу заинтересованих страна, повлачи и низ других проблема, као што су велико загађење у зимском периоду (видљиво висока количина смога) и уништавање шумских ресурса. Што се тиче уништавања шумских ресурса, то је перцепција која је присутна код свих заинтересованих страна, али не може бити поткрепљена мерљивим подацима. На основу разговора са представницима ЈП Србијашуме, закључује се да је такво стање вероватно у приватним шумама јер не постоји ефикасан систем контроле експлоатације ових шума. Код државних шума се израђују детаљни планови који су у складу са принципима одрживог газдовања ресурсима.

Доступност и ниска цена представљају главне покретаче за коришћење шумских остатака. Дефинисане препреке за значајније коришћење шумских остатака у тренутним условима су:

- недовољна информисаност становништва,
- економска ситуација, енергетски неефикасне зграде и системи грејања,
- заинтересованост (навике) становништва,
- непостојање изграђених система за коришћење шумских остатака
- цена технологија за конверзију енергије и
- обимна законска процедура када се ради о већим постројењима и јавним установама.

Заинтересоване стране углавном нису упознате са доношењем тржишних и регулаторних одлука. Већина сматра да се тржишне одлуке доносе од стране ЈП Србијашуме које управља шумским ресурсима, док се регулаторне одлуке усклађују са одлукама на државном нивоу и њих доноси локална власт. Заинтересоване стране сматрају да би процес доношења одлука требало да буде транспарентнији, с обзиром да се ради о

---

<sup>29</sup> Просечна плата у Ивањици у 2016. години је износила око 30.000,00 дин, док је републички просек око 45.000,00 <http://www.stat.gov.rs/WebSite/Public/PageView.aspx?pKey=26>

одлукама које имају значајну социјалну компоненту, и проширен на шири круг учесника. Локална власт у Ивањици покушава да на неки начин прошири круг учесника у процесу доношења одлука, тако да је постала пракса да све одлуке од ширег јавног значаја пролазе рани јавни увид, јавни увид и јавну расправу, али је, према мишљењу представника локалних власти, одзив заинтересованих страна доста слаб.

Један од начина да се унапреди коришћење биомасе је информисање становништва о могућностима коришћења шумских остатака и других врста биомасе у енергетске сврхе. Тренутно не постоји успостављен ефикасан систем за информисање јавности, што може бити и један од разлога због чега је мали одзив на јавним увидима и расправама. У ранијем периоду, спроведено је неколико кампања по локалним медијима у циљу информисања становништва о проблемима енергетске ефикасности и коришћења ОИЕ. Поред спроведених кампања, на нивоу локалне самоуправе, спроведено је неколико активности везаних за коришћење биомасе и унапређења њеног коришћења биомасе. Једна се односи на израду регистра стамбених јединица у циљу унапређења енергетске ефикасности, а друга на израду студије изводљивости за топлану која би снабдевала Дом Здравља, Гимназију, ОШ Милинко Кушић и обданиште Ђурђевак, а која би се снабдевала дрвном сечком. Због недостатка средстава, реализација је за сада заустављена. Такође, урађена је и анализа коришћења орезине малине и купине у енергетске сврхе за подручје Ивањице и Ариља.

При доношењу одлука које се односе на енергетски сектор на локалном нивоу, утицај на животну средину се разматра али не у довољној мери. Најчешће се раде процене утицаја које су обавезне према закону, али сам утицај на животну средину није приоритетан.

#### 6.4. Критеријуми и покретачи и препреке дугорочној максимизацији искоришћења потенцијала и дефинисање жељеног стања

Критеријуми и покретачи и препреке дугорочној максимизацији искоришћења потенцијала, као и дефинисање жељено стања у погледу унапређења коришћења шумских остатака и осталих врста биомасе, дефинисани су систематизацијом и критичком анализом резултата интервјуа. У општини Ивањица до сада нису били спроведени пројекти везани за дугорочно планирање, што је један од разлога да нико од заинтересованих страна нема искуство у дугорочном планирању. Међутим, све заинтересоване стране су навеле да промене везане за унапређење коришћења биомасе није могуће спровести у кратком року, односно без значајних К-Т-С промена.

Према мишљењу интервјуисаних заинтересованих страна, жељено стање у погледу коришћења биомасе, заснивало би се на огревном дрвету и шумским остацима као енергентима. Као технологије за валоризацију требало би инсталирати топлане или когенерациона постројења и то за јавне објекте и стамбени сектор у ширем центру (у близини јавних објеката). При томе, требало би развити тржиште за коришћење шумских остатака као биомасе. Овим су потврђене претпоставке које су дефинисане на основу иницијалних разговора са представницима локалних власти. Жељени систем би требало да задовољи неколико критеријума: еколошка прихватљивост (емисија гасова стаклене баште (*GHG*) - CO<sub>2</sub>, однос посечене дрвне масе и прираста;), економска прихватљивост (специфични трошкови мањи или једнаки садашњим), поузданост (сталност у снабдевању), табела 6.5.

Табела 6.5 Дефинисани критеријуми и њихове вредности

Критеријум	Поткритеријум	Јединица	Вредност 2015	Жељена вредност
Еколошка прихватљивост	Емисија гасова GHG <sup>30</sup>	[t]	705	-
	Однос посечене дрвне масе и прираста	[%]	59%	65%
Економска прихватљивост	Цена по јединици топлотне енергије	[€/kWh]	0,04	<0,04
	Годишњи трошкови за енергенте (јавне зграде и стамбени сектор)	[€/y]	1.380.000,00	<1.380.000,00
Поузданост	Број дана без снабдевања	бр. дана	0	0

Критеријум еколошке прихватљивости подразумева унапређење тренутне ситуације у погледу утицаја на животну средину. Подељена је на два поткритеријума од којих се један односи на системе за конверзију енергије биомасе, а други на коришћење шумских ресурса. Због неефикасних система и коришћења фосилних горива у зимском периоду долази до значајне емисије гасова стаклене баште и чађи. У циљу унапређења утицаја на животну средину, жељени систем би требало да има мању емисију. Неконтролисано коришћење шумских ресурса може да доведе до нарушавања стања животне средине и девастирања шумског покривача. Како би се то избегло, потребно је шуме користити на одржив начин и због тога је битно да посечена дрвна маса буде до највише 75% годишњег прираста. У оквиру студије случаја, усвојено је да је због постојања заштићеног подручја граница од 65% задовољавајућа.

Друга група критеријума, која је значајна са становишта корисника односи се на економске параметре, односно економску прихватљивост жељеног система. Критеријум економске прихватљивости је подељен на два поткритеријума који обухватају цену по јединици генерисане енергије и укупне годишње трошкове енергената. Цена коју би плаћали корисници, а која би требала да буде нижа од садашње, један је од главних критеријума који мора да буде задовољен како би се што већи број корисника прикључио на жељени систем и како би тај систем имао економског смисла. Са друге стране, при анализи је потребно узети у обзир да око 75% становништва нема инсталиран систем централног грејања и да садашњи трошкови енергената обухватају припрему хране и загревање једне просторије или више просторија уз неравномерну расподелу топлоте. Из тог разлога усвојен је и поткритеријум укупних годишњих трошкова за енергенте за потребе генерисања топлоте.

Поузданост снабдевања која се квантификује бројем дана без снабдевања топлотном енергијом у току године је трећи критеријум који би требало да описује функционисање жељеног система. Константност снабдевања директно утиче на функционисање система.

Постизање жељеног стања често је праћено деловањем низа покретача и препрека. Покретачи и препреке су утицаји који могу да спречавају или подстичу постизање жељеног стања. Током интервјуа, заинтересоване стране су давале своје виђење и на

<sup>30</sup> Емисија гасова се односе само на јавне објекте који су користили мазут као енергент, јер се коришћење биомасе у било ком облику може сматрати CO<sub>2</sub> неутралним.

основу њихових одговора дефинисана је листа покретача и препрека који могу утицати на постизање жељеног стања. Дефинисани покретачи и препреке су:

- еколошка питања,
- природне непогоде (катастрофе),
- економска ситуација,
- политичка воља,
- климатске промене,
- развој технологије,
- промене у европској регулативи.

## 6.5. Решења која могу допринети максимизацији искоришћења потенцијала

### 6.5.1. Анализа критеријума и инкорпорација у математички модел

Решења која потенцијално могу допринети унапређењу и максимизацији искоришћења потенцијала шумских остатака, требало би да буду у складу са дефинисаним критеријумима. Неке од дефинисаних критеријума је могуће описати математички и инкорпорирати у математички модел у виду математичких ограничења.

Еколошка прихватљивост је дефинисана кроз два мерљива поткритеријума:

- годишња емисија гасова стаклене баште  $ghg_{j,k}$  [t] на локацији  $j$ , на којој је инсталирана технологија  $k$  (6.1)

$$\sum_{k=1}^K ghg_{j,k} \leq tr\_ghg_j \quad (6.1)$$

- однос посечене дрвне масе и прираста  $prirast$  [m<sup>3</sup>] (6.2)

$$\sum_{i=1}^I (res_i / 0,143) \leq prirast \cdot 0,75 \quad (6.2)$$

Економска прихватљивост је други критеријум који би, према виђењу заинтересованих страна, жељени систем требало са задовољи. Економска прихватљивост сачињена је од два поткритеријума:

- цена јединице производа (електричне енергије или топлоте)  $cena_{j,k}$  [€/kWh] (6.3),

$$\sum_{k=1}^K cena_{j,k} \leq spec\_tros_j \quad (6.3)$$

- годишњи трошкови за енергенте (6.4).

$$\sum_j troskovi_j - ANP \leq \sum_j troskovi_j \quad (6.4)$$

Трећи критеријум који се односи на поузданост се не уноси у математички модел, већ се мери бројем дана у којима није било снабдевања енергентима.

### 6.5.2. Анализа жељеног система и инкорпорација у математички модел

Дефинисано жељено стање, које подразумева изградњу постројења из којих би се топлотном енергијом снабдевале јавне зграде и ужи центар града, подразумева употребу значајне количине шумских остатака. Процењена количина топлоте која је неопходна за снабдевање конзума (који би био обухваћен жељеним стањем), уноси се у модел у виду параметара, односно најчешће, додавањем података у базу података. Додатни параметри се односе на годишње потребне количине топлоте и годишње трошкове за енергенте. Потребне годишње количине топлоте, за конзум према сценаријима, приказане су у наредном поглављу. База података иницијално садржи податке који се односе на јавне објекте, а након интервјуа додати су и подаци о стамбеном сектору.

### 6.5.3. Генерисање решења према више функција циља и њихова анализа

Земље у развоју, као што је Србија, често се суочавају са недостатком или ограниченошћу новчаних средстава за инвестирање у изградњу нових постројења. Велики број инвестиција у искоришћење природних ресурса у земљама у развоју је резултат страних директних инвестиција [110]. Жељено стање, које би омогућило максимизацију искоришћења потенцијала доступне шумске биомасе може подразумевати велики број решења, од којих би поједина захтевала значајна инвестициона средства. Како би се дошло до одговарајућег решења неопходно их је генерисати према више функција циља (описаних у поглављу 5.7.3), а затим их и анализирати.

У наредном тексту ће бити представљена четири сценарија, која су разматрана према све три функције циља и три додатна која се користе за поређење. Решења су генерисана коришћењем математичког модела описаног у поглављу 4.0. Жељено стање дефинисано, у претходним корацима (поглавље 6.4) подразумева инсталирање топлана или когенерационих постројења. Кроз предложене сценарије, односно дефинисане математичке моделе, размотрена је могућност изградње термоелектрана и постројења за производњу пелета, како би се утврдило да ли жељено стање, дефинисано од стране заинтересованих страна, представља и најбоље решење, односно оптимално решење коришћења шумских остатака.

За потребе студије случаја, постојећи специфични трошкови грејања јавних објеката усвојени су као цена по којој се испоручује генерисана топлота ка тим објектима  $sp_j^h$  [€/kWh]. Обзиром да је предвиђено да постројења буду у власништву локалне самоуправе, приход топлане или когенерационог постројења, настаје од продаје топлоте стамбеном сектору, односно остварених уштеда када се ради о јавним објектима или продаје електричне енергије из когенерационог постројења.

Електрична енергија  $ee$  из когенерационих постројења, односно електрана које користе биомасу као гориво, испоручује се према Уредби о подстицајним мерама за производњу електричне енергије из обновљивих извора и из високоефикасне комбиноване производње електричне и топлотне енергије Владе Републике Србије. Износ подстицајне тарифе зависи од величине постројења и коришћене технологије [111]. За когенерациона постројења и електране на биомасу снаге до 1 MW одобрава се максимална подстицајна цена  $sp^{ee} = 0,1326$  €/kWh, док за постројења снаге преко 10 MW подстицајна тарифа

износи 0,0822 €/kWh. Подстицајна цена електричне енергије за постројења инсталисаних снага 1-10 MW рачуна се према изразу (6.5) [111]:

$$sp^{ee} = 13,82 \cdot 0,56 P_{j,k} \quad (6.5)$$

Специфични капитални трошкови појединих технологија могу се написати у функцији неке карактеристичне величине постројења. У случају постројења за производњу пелета специфични капитални трошкови зависе од часовног капацитета и крећу се у износу од 30 до 130 €/t/h. За потребе студије случаја математички су описани изразом који је добијен анализом података (6.6) [112,113].

$$cap_{j,pp}^{pp} = 10 \cdot \left( 0,1293 \cdot (pc_{j,pp}^{pp})^2 - 2,7154 \cdot pc_{j,pp}^{bf} + 17,134 \right) \cdot \beta_{j,pp} \quad \forall pc_{j,pp}^{bf} \leq 10 \text{ t/h} \quad (6.6)$$

Специфични капитални трошкови термоелектране са парном турбином и когенерационог постројења заснованих на органском Ранкиновом циклусу су у функцији инсталисане снаге за генерисање електричне енергије и крећу се у износу од 3000 до 6000 €/kWh за термоелектране [26,79,81] и од 3500 до 7500 €/kWh за когенерациона постројења [114,115,116,117,118,119].

Анализом поменутих података, специфични капитални трошкови термоелектране су, за потребе студије случаја, описани изразом (6.7), а когенерационих постројења изразом (6.8):

$$cap_{j,pt}^{pp} = 2 \cdot \left( 0,0057 \cdot (P_{j,pt}^{pp})^2 - 0,2341 \cdot P_{j,pt}^{pp} + 3,861 \right) \cdot \beta_{j,pt} \quad \forall P_{j,pt}^{pp} \quad (6.7)$$

$$cap_{j,orc}^{chp} = \left( 0,0012 \cdot (P_{j,orc}^{chp})^2 - 3,6237 \cdot P_{j,orc}^{chp} + 10,874 \right) \cdot \beta_{j,orc} \quad \forall P_{j,orc}^{chp} \leq 3 \text{ MWe} \quad (6.8)$$

Специфични капитални трошкови топлане су у функцији инсталисаног капацитета за генерисање топлоте (300 - 800 €/kW) [81,120]. Математички су описани изразом (6.9):

$$cap_{j,bb}^{hp} = 3,7 \cdot \left( 9 \cdot 10^{-6} \cdot (H_{j,bb}^{hp})^2 - 0,0667 \cdot H_{j,bb}^{hp} + 222,16 \right) \cdot \beta_{j,bb} \quad \forall H_{j,bb}^{hp} \quad (6.9)$$

Вредности одређених параметра математичког модела су усвојене као константне и исте су за све сценарије. Ови параметри се односе на потенцијална примарна складишта и постројења, а њихове вредности приказани су у табели 6.6.

Табела 6.6 Параметри који се односе на потенцијална примарна складишта и постојења

Параметар	Вредност	Параметар	Вредност	Параметар	Вредност
$d$	4,5 [%]	$\eta_k^{chp}$	0,72 [-]	$lease_i$	0,5 - 2,0 [€/m <sup>2</sup> ]
$lc$	15 [year]	$opc_{pp}^{bf}$	80 [€/t]	$foil$	3 [€/m <sup>2</sup> ]
$oh_j^{bf}$	8.000 [h]	$opc_{pt}^{tp}$	0,0055 [€/kWh]	$fire$	1,014 [-]
$oh_j^{tp}$	8.000 [h]	$opc_{bb}^{hp}$	0,004 [€/kWh]	$area$	3 [m <sup>2</sup> /t]
$\eta_{pt}^{tp}$	0,35 [-]	$opc_{orc}^{chp}$	0,0074 [€/kWh]	$trans$	0,7 [€/km·t]
$\eta_{orc}^{chp}$	0,18 [-]	$harv$	25 [€/t]	$sp^{bf}$	150 [€/t]

### Сценарио S1

Прва група сценарија (S1) дефинише количину шумских остатака која се може искористити уколико би се инвестирало у потенцијалну изградњу постројења за валоризацију шумских остатака, према дефинисаном жељеном стању. Потенцијална решења која се могу дефинисати у овој групи сценарија подразумевају топлане и когенерациона постројења на локацијама јавних објеката где се тренутно користи мазут (*plant43*, *plant44* и *plant57*). У оквиру ове групе сценарија није разматран стамбени сектор, већ би решења генерисана према овом сценарију би требало да прикажу евентуалне бенефите које би донела супституција мазута (који се користи у јавним објектима), шумским остацима., Због коришћења мазута као горива, на овим локацијама, специфични трошкови топлотне енергије  $sp_j^h$  су високи и износе 0,1 €/kWh, 0,107 €/kWh и 0,121 €/kWh респективно. У табели 6.7 приказане су количине топлоте<sup>31</sup> које су потребне у разматраним јавним објектима на годишњем нивоу.

Табела 6.7 Потенцијалне локације и њихови захтеви за топлотом (сценарији S1)

Потенцијална локација	Објекти на локацији	Годишња потребна количина топлоте [kWh]
<i>plant43</i>	Дом Здравља	2.087.891,51
<i>plant44</i>	Техничка Школа	203.280,79
<i>plant57</i>	Општинска управа	237.160,00

### Сценарио S2

Одређени јавни објекти са разматране територије се међусобно налазе у непосредној близини, па је код друге групе сценарија (S2), предвиђено да се географски блиски јавни објекти снабдевају топлотом из једног постројења. Топлане и когенерациона постројења су у овом случају предвиђене само на локацијама где макар један од јавних објеката

<sup>31</sup> Годишње потребе за топлотном енергијом су увећање за 10% у односу на оне које су добијене енергетским билансима због покривања дистрибутивних губитака.



тренутно користи мазут. Потенцијално постројење би се у овом случају налазило уз један од груписаних објеката. Дом Здравља (*plant43*) налази се у непосредној близини Гимназије, ОШ Милинко Кушић и обданишта Ђурђевак (*plant45*) и потенцијална локација постројења из којег би се снабдевали ови објекти, означена је као *plant43* (*plant43* из сценарија S1 + *plant45*) (слика 6.9). Техничка школа (*plant44*) и зграда Општинске Управе (*plant57*), такође се налазе у непосредној близини и могуће их је снабдевати из истог топлотног извора, означено као *plant44* (*plant44+plant57* из сценарија S1). Годишњи топлотни захтеви потенцијалних постројења, односно јавних објеката који би се снабдевали из ових постројења приказани су у табели 6.8.



Слика 6.9. Приказ потенцијално груписаних јавних објеката

Табела 6.8 Потенцијалне локације и њихови захтеви за топлотом (сценарији S2)

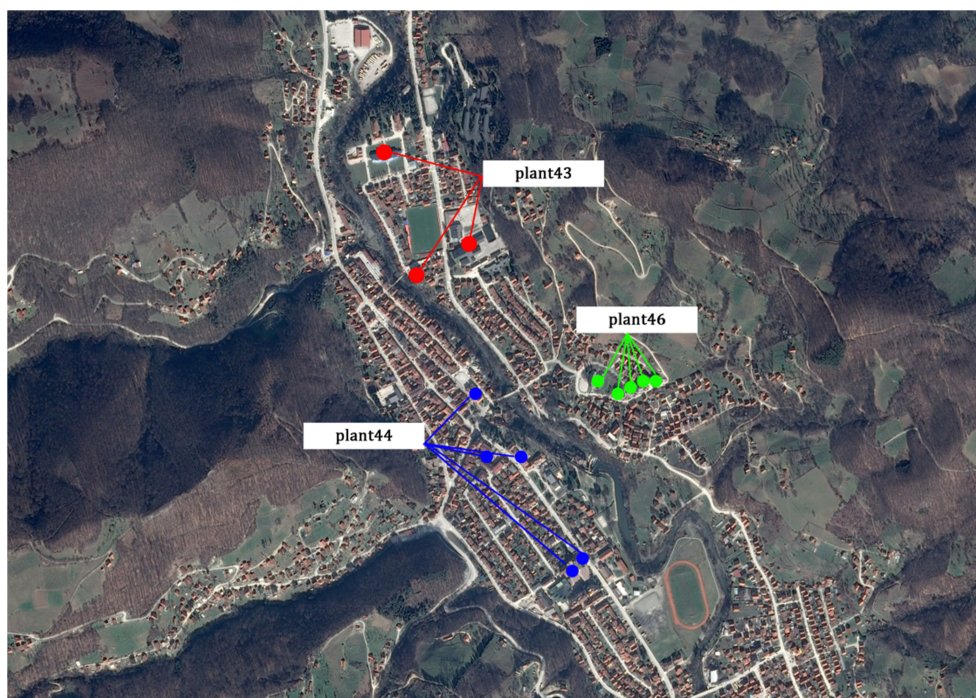
Потенцијална локација	Објекти на локацији	Годишња потребна количина топлоте [kWh]
<i>plant43</i>	Дом Здравља ( <i>plant43</i> ) + Гимназија, ОШ Милинко Кушић и обданиште Ђурђевак ( <i>plant45</i> )	3.912.495,61
<i>plant44</i>	Техничка Школа ( <i>plant43</i> ) + Општинска управа ( <i>plant57</i> )	440.440,79

### Сценарио S3

Укључивање објеката колективног становања (вишепородичне стамбене зграде) које се налазе у близини разматраних јавних зграда (слика 6.10) разматрано је кроз трећу групу сценарија (S3). Као и код сценарија S2 и код ове групе сценарија, предвиђено је снабдевање географски блиских јавних објеката из заједничких постројења. У оквиру сценарија S1 и S2, разматране су само оне јавне зграде или групе јавних зграда где постоји



макар један потрошач који користи мазут као гориво. Код ове групе сценарија предвиђено је разматрање и оних јавних објеката, који се налазе у зони дефинисаној жељеним стањем, без обзира коју врсту енергента тренутно користе, а у чијој околини се налазе стамбени објекти који би могли да се снабдевају из потенцијалног постројења. Из тог разлога, у оквиру сценарија S3, разматране је изградња потенцијалног постројења на локацији обданишта Звончица (*plant46*) из кога би се снабдевале и вишепородичне стамбене зграде које се налазе у близини (слика 6.10).



Слика 6.10. Приказ локација стамбених зграда у околини потенцијалних локација постројења

Табела 6.9 Потенцијалне локације и њихови захтеви за топлотом (сценарији S3)

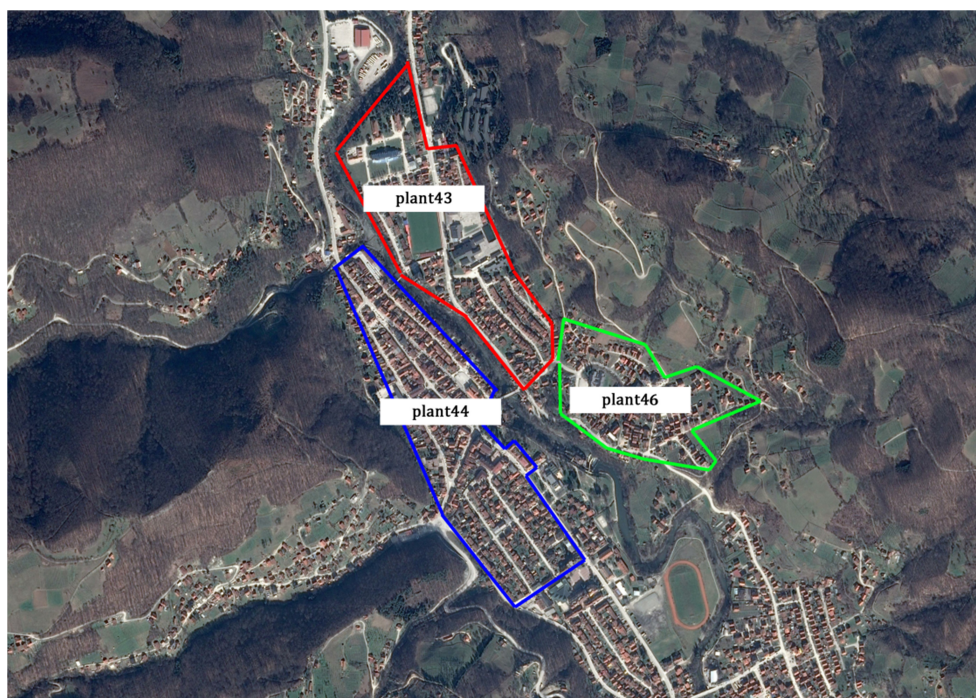
Потенцијална локација	Објекти на локацији	Годишња потребна количина топлоте [kWh]
<i>plant43</i>	Дом Здравља ( <i>plant43</i> ) + Гимназија, ОШ Милинко Кушић и обданиште Ђурђевак ( <i>plant45</i> ) + стамбене зграде	4.300.526,11
<i>plant44</i>	Техничка Школа ( <i>plant43</i> ) + Општинска управа ( <i>plant57</i> ) + стамбене зграде	3.990.882,74
<i>plant46</i>	Обданиште Звончица ( <i>plant43</i> ) + стамбене зграде	859.963,43

Потенцијалне локације постројења, као и топлотни захтеви објеката (јавних и стамбених) разматраних у оквиру сценарија S3 приказани су у табели 6.9.

#### Сценарио S4

Решења дефинисана у оквиру претходна три сценарија требало би да омогуће унапређење искоришћења потенцијала биомасе. Међутим, да би се омогућило потпуно

искоришћење доступног потенцијала, неопходно је поред вишепородичних стамбених објеката, размотрити и снабдевање индивидуалних стамбених објеката, који су на територији општине Ивањица у великој већини. Поред тога, четврта група сценарија (S4), поред топлотног конзума, који је дефинисан сценариом S3, подразумева и укључивање породичних кућа (слика 6.11). Обзиром на стање у сектору породичних кућа (део се не користи, део се користи повремен, а и не би требало очекивати да ће се све куће прикључити на систем ), топлотни конзум обухвата око 70% кућа из означене зоне.



Слика 6.11. Приказ локација стамбених зграда у околини потенцијалних локација постројења

Укупне годишње потребе за топлотом на потенцијалним локацијама постројења *plant43*, *plant44* и *plant45*, приказане су табели 6.10.

Табела 6.10 Потенцијалне локације и њихови захтеви за топлотом (сценарији S4)

Потенцијална локација	Објекти на локацији	Годишња потребна количина топлоте [kWh]
<i>plant43</i>	Дом Здравља ( <i>plant43</i> ) + Гимназија, ОШ Милинко Кушић и обданиште Ђурђевак ( <i>plant45</i> ) + стамбене зграде + куће	8.855.095,36
<i>plant44</i>	Техничка Школа ( <i>plant43</i> ) + Општинска управа ( <i>plant57</i> ) + стамбене зграде + куће	19.041.387,44
<i>plant46</i>	Обданиште Звончица ( <i>plant43</i> ) + стамбене зграде + куће	5.429.972,83

#### Сценарију S11, S12, S13

Сценарији (S11, S12 и S13) су анализирани у циљу поређења. Ови сценарији су у основи исти као сценарији (S1, S2 и S3, респективно), али је код њих искључена могућност

изградње топлана. Односно, овим сценаријима је на потенцијалним локацијама предвиђена само инсталација когенерационог постројења.

#### 6.5.4. Анализа резултата

Резултати генерисани, применом математичке оптимизације и *backcasting* приступа, према предложеним сценаријима, показују на који је начин могуће унапредити и максимизирати искоришћење потенцијала биомасе. На основу дефинисаног жељеног стања и критеријума, дефинисано је више решења која задовољавају постављене услове. Нека од решења могу допринети унапређењу коришћења енергије и смањењу негативног утицаја на животну средину уз максималне економске бенефите, али уз мало унапређење искоришћења ресурса, док друга решења дају мање економске бенефите уз максимално искоришћење ресурса. Решавањем математичког модела и применом одговарајућих параметра и критеријума, који се односе на топлотни конзум, за сваку групу сценарија се добијају оптимална решења. Анализа резултата, односно добијених решења према различитим сценаријима, биће приказана у наредном тексту.

##### Максимизација NPVQ

Генерисање решења према функцији циља максимизације NPVQ значи и дефинисање решења која ће донети највећу добит у односу на уложена финансијска средства. У складу са тим, оптимално решење које се добија, према сценарију S1, подразумева изградњу топлане којом би се снабдевао Дом Здравља<sup>32</sup>. Од три потенцијалне локације, предвиђене сценаријом S1, Дом Здравља је имао највеће специфичне трошкове топлотне енергије по , па би изградња новог постројења на дрвну сечку (шумске остатке) обезбедила највећу добит у односу на уложена средства. Потребна инсталисана снага постројења<sup>33</sup> у овом случају је 775 kW, коју је потребно снабдевати са око 660 t шумских остатака.

Снабдевање географски блиских јавних објеката из заједничког постројења утиче на повећање топлотних захтева, односно на увећање инсталисаног капацитета топлане. Решење генерисано према сценарију S2 подразумева топлану која би снабдевала Дом Здравља, Гимназија, ОШ Милинко Кушић и обданиште Ђурђевак. Потребна количина шумских остатака за ово постројење износи око 1.240 t. Као и код сценарија S1 и овде постројење, у основи, служи за снабдевање Дома Здравља, као највећег потрошача. Пошто Гимназија, и ОШ користе огревно дрво као енергент, вредност NPVQ ће бити нешто нижа него код решења из сценарија S1.

Потенцијално укључивање вишепородичних стамбених зграда (сценарио S3) неће значајно утицати на укупан топлотни конзум, обзиром да више од 80 % стамбеног сектора чине породичне куће са једним или два стана. Међутим, са друге стране, укључивање у мрежу даљинског грејања индивидуалних стамбених објеката (сценарио

---

<sup>32</sup> ПРИЛОГ 4 - Извод из GAMS извештаја који садржи податке о: локацијама са којих се транспортује биомаса до постројења и количинама транспортоване биомасе, трошковима биомасе на примарном складишту, трошковима транспорта, инвестиционим трошковима, нето годишњој добити, нето садашњој вредности и количини генерисане енергије. Прилог се односи на сва решења, према свим сценаријима.

<sup>33</sup> Инсталисане снага постројења задовољавају базна и средња оптерећења, при чему испоручују преко 90% потребне топлотне енергије (важи за све сценарије).

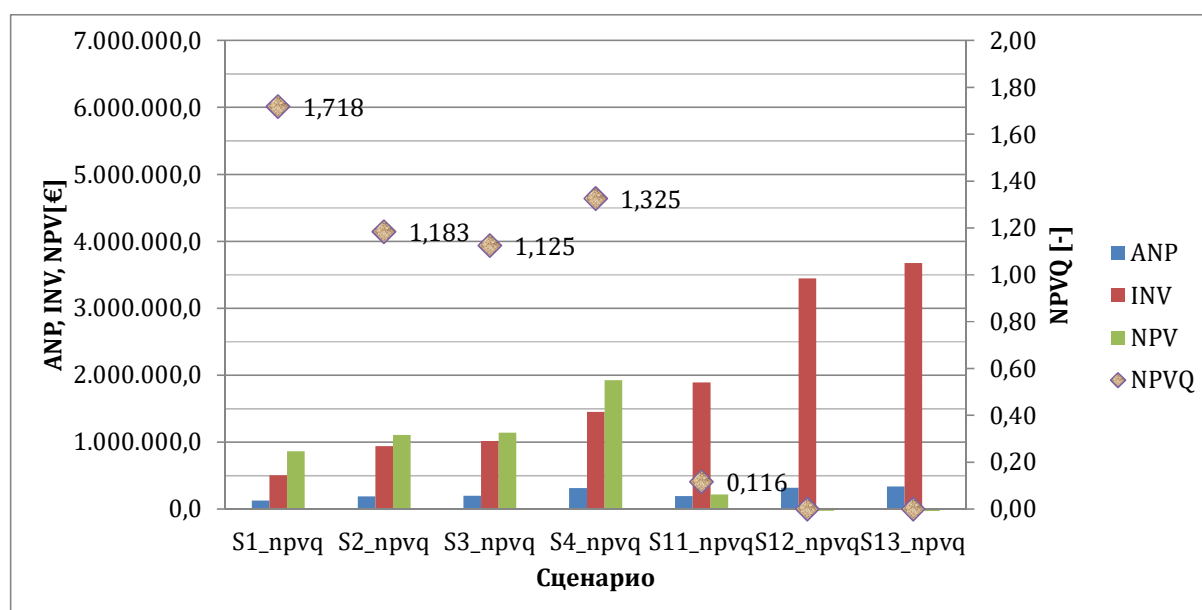


S4), значајно ће увећати укупан топлотни конзум система, а самим тим и искоришћење доступне количине биомасе. Генерисањем решења према овом сценарију, допринеће искоришћењу око 2.800 t шумских остатака у топлани на локацији *plant43*.

Табела 6.11 Карактеристике оптималних решења сценарија према функцији циља  $\max NPVQ$

Сценарио	локације	тип постројења	топлота [kW]	електрична енергија [kW]	потребна количина шумских остатака [%]
S1_npvq	<i>plant43</i>	топлана	775	-	7,5
S2_npvq	<i>plant43</i>	топлана	1.665	-	14,1
S3_npvq	<i>plant43</i>	топлана	1.930	-	16,3
S4_npvq	<i>plant44</i>	топлана	3.280	-	32,0
S11_npvq	<i>plant43</i>	когенерација	775	200	8,5
S12_npvq	<i>plant43</i>	когенерација	1.665	370	18,2
S13_npvq	<i>plant43</i>	когенерација	1.930	430	21,2

Техничке карактеристике генерисаних решења према функцији циља максимизације NPVQ, приказане су у табели 6.11.



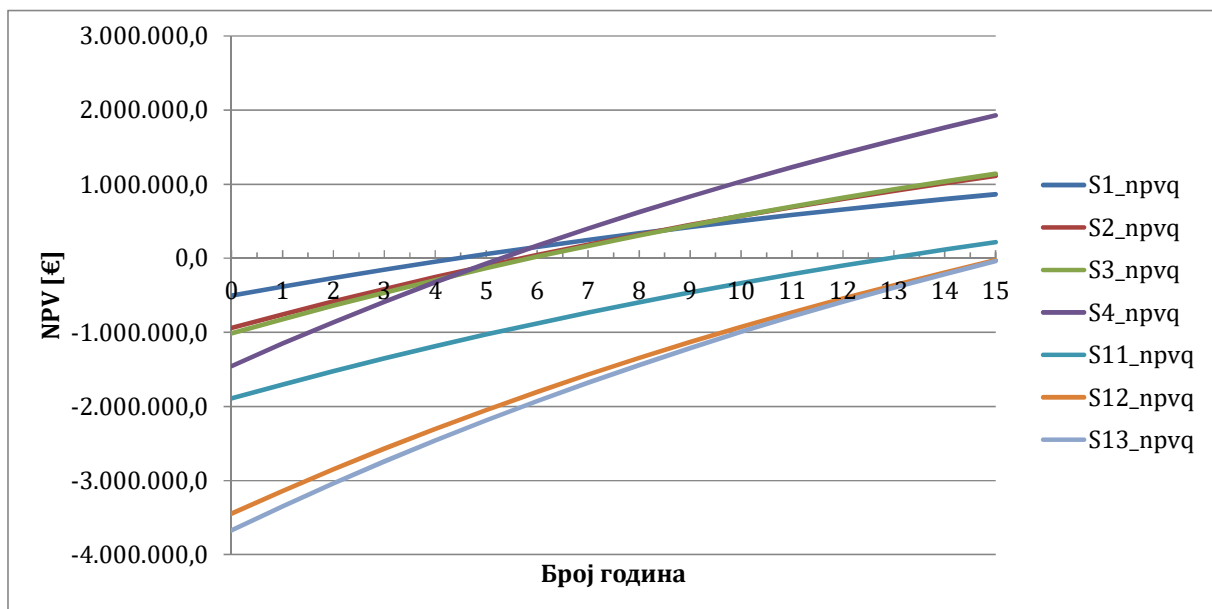
Слика 6.12. Економски параметри решења добијених решавањем модела рема функцији циља максимизације NPVQ

Потребна инвестициона средства за постројења чије су техничке карактеристике приказане у табели 6.11 крећу се од 500.000,00 € за постројење према сценарију S1, па до 1.450.000,00 € за постројење према сценарију S4 (слика 6.12).

Због високих трошкова које имају јавни објекти који користе мазут као гориво, према критеријуму максимизације NPVQ, најповољнији сценарио је S1, али се примећује да и сценарији S2, S3 и S4 имају  $NPVQ > 1$ , што је са становишта инвеститора исплативо (инвестиције које имају  $NPVQ > 0$  сматрају се исплативим). Сценарио S1 има највећи NPVQ

јер подразумева инсталирање нове топлане у Дому здравља чиме би била замењена постојећа која као гориво користи мазут и чији рад је праћен великим трошковима. Иако се сценаријима S2 и S3 повећава топлотни конзум, вредности NPVQ се смањују. Разлог за то је што ови објекти користе огревно дрво као енергент, што је праћено нижим специфични трошковима топлотне енергије. Међутим, значајно увећање топлотног конзума, захтева увећање инсталисаног капацитета. То условљава ниже инвестиционе трошкове по јединици инсталисане снаге, што ће утицати на повећање вредности NPVQ.

На слици 6.12, приказани су и решења модела према сценаријима S11, S12 и S13, који показују економске параметре решења која обухватају исти конзум као и код сценарија S1, S2 и S3, али за разлику од којих подразумевају когенерациона постројења уместо топлана. Иако имају исти топлотни конзум решења према сценаријима S11, S12 и S13, због генерисане електричне енергије која се продаје према повлашћеним условима, имају већу нето годишњу добит ANP, али захтевају употребу више ресурса и знатно више инвестиционе трошкове, што на крају резултује мањим вредностима NPVQ.



Слика 6.13. Дијаграм тока новца – за различите сценарије према функцији циља максимизација NPVQ

Дијаграм тока новца, за константну вредност дисконтне стопе (тренутно 4,5%), приказана је на слици 6.13. Са дијаграма се може уочити време повраћаја уложене инвестиције, које се креће од око 4 године за сценарио S1, до више од 15 година за сценарије S12 и S13. Решење добијено према сценарију S4 које одговара жељеном стању, отплатило би се за око 5 година што се може сматрати добром вредношћу.

#### Максимизација NPV

Друга функција циља према којој су решавани модели сценарија је максимизација NPV. Веће вредности NPV значе веће количине новца које ће бити доступне по завршетку пројекта. Већи новчани износи који ће остати по истеку разматраног временског раздобља, не значе и веће вредности NPVQ, јер су више вредности NPV, често праћене вишим инвестицијама.

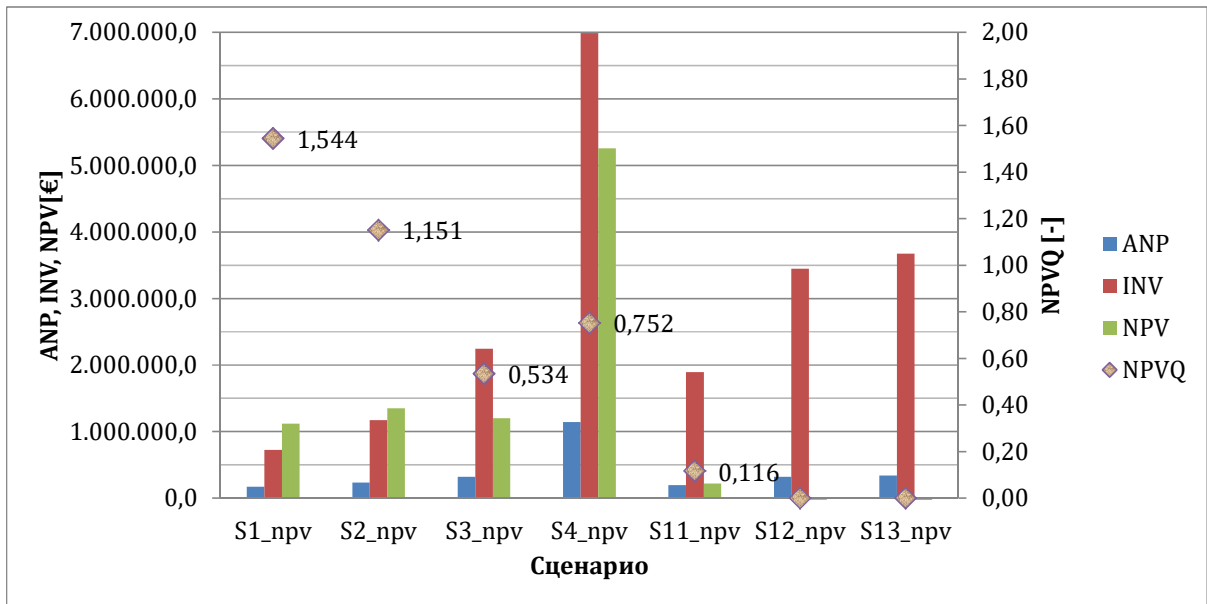
У оквиру сценарија S1, према функцији циља максимизације *NPV*, добијају се оптимална решења, која подразумевају изградњу нових топлана на све три локације на којима се користи мазут као енергент. Укупна потребна количина шумских остатака за снабдевање ова три постројења износи око 800 t. Уколико би се географски блиски јавни објекти снабдевали из једног постројења (сценарио S2), решења генерисана у овом случају би подразумевала изградњу две топлане које би снабдевале разматране јавне објекта, уз искоришћење око 1.380 t шумских остатака. Топлане на истим локацијама (*plant43* и *plant44*) би снабдевале и топлотни конзум предвиђен сценаријом S3. Решења која се генеришу у оквиру сценарија S3 подразумевају изградњу две топлане које би снабдевале јавне објекте и оближње стамбене зграде.

Значајно увећање топлотног конзума, као последица укључивања индивидуалних стамбених објеката (сценарио S4), за резултат има оптимално решење које подразумева изградњу топлане на локацији *plant43* и когенерационог постројења на локацији *plant44*. Топлана на локацији *plant43* задовољава око 69% потреба за топлотном енергијом припадајуће конзума, док би постројење на локацији *plant44* задовољило готово целокупне потребе припадајућег топлотног конзума. Ова постројења омогућавају искоришћење свог доступног потенцијала. Техничке карактеристике генерисаних решења према функцији циља максимизације *NPV*, приказане су у табели 6.12.

Табела 6.12 Карактеристике оптималних решења сценарија према функцији циља *max NPV*

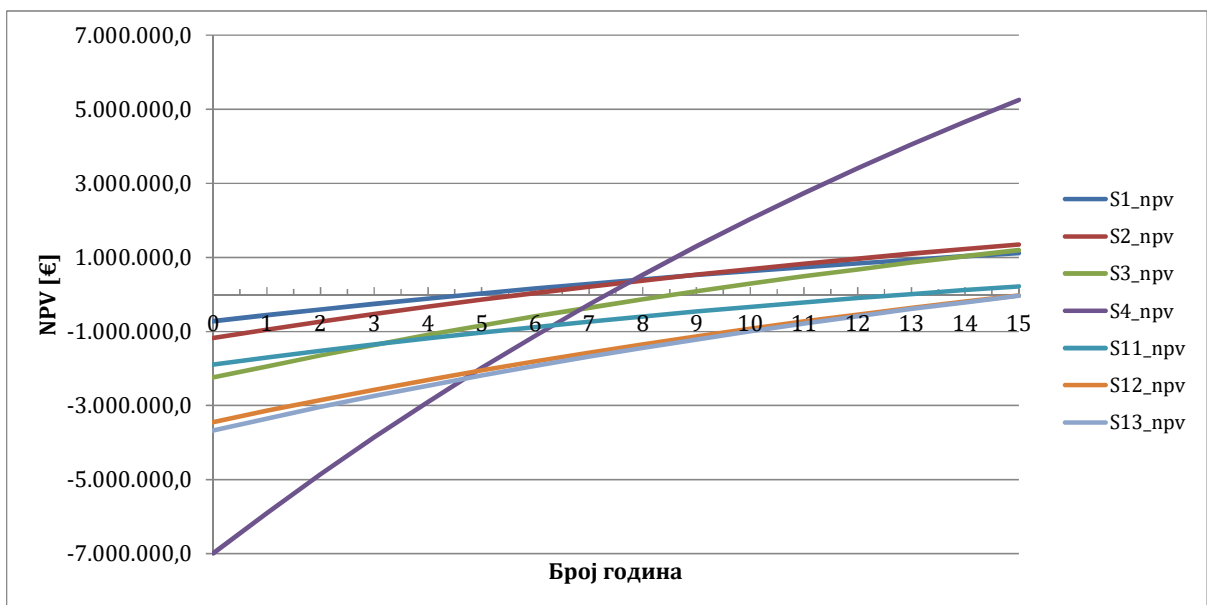
Сценарио	локације	тип постројења	топлота [kW]	електрична енергија [kW]	потребна количина шумских остатака [%]
S1_npv	<i>plant43</i>		775		
	<i>plant44</i>	топлана	140	-	9,2
	<i>plant57</i>		175		
S2_npv	<i>plant43</i>	топлана	1.665	-	15,7
	<i>plant44</i>		315		
S3_npv	<i>plant43</i>	топлана	1.930	-	30,0
	<i>plant44</i>		2500		
	<i>plant46</i>		-		
S4_npv	<i>plant43(69%)</i>	когенерација	2.075	-	100
	<i>plant44</i>	топлана	7.050	1.590	
S11_npv	<i>plant43</i>	когенерација	775	200	8,5
S12_npv	<i>plant43</i>	когенерација	1.665	370	18,2
S13_npv	<i>plant43</i>	когенерација	1.930	430	21,2

Постројења која су дефинисана као оптимална према функцији циља максимизације *NPV* захтевају знатно виша инвестициона средства у односу на решења према функцији циља максимизације *NPVQ*. Потребна инвестициона средства за ова постројења су од 725.000,00 € за постројења по сценарију S1 па до 7.000.000,00 € за постројење према сценарију S4 (слика 6.14).



Слика 6.14. Економски параметри решења добијених решавањем модела рема функцији циља максимизације *NPV*

Виша инвестициона средства, у овом случају, проузрокују нешто ниже вредности *NPVQ*. За разлику од претходног случаја решавања модела према функцији циља максимизације *NPV*, могу се уочити веће разлике између економских параметара сценарија S1, S2 и S3. Утицај увећања топлотног конзума има сличне ефекте као и у случају решавања модела сценарија према функцији максимизације *NPVQ*.



Слика 6.15. Дијаграм тока новца – за различите сценарије према функцији циљ максимизација *NPV*

На слици 6.15 приказан је дијаграм тока новца решења добијена максимизацијом *NPV*. У овом случају су за сценарије S1, S2 и S3, периоди повраћаја инвестиције су увећани у односу на случај када је функцију циља била максимизација *NPVQ*. Крећу се од око 5

године за сценарио S1 па до више од 15 година за сценарије S12 и S12. Постројења дефинисана према сценарију S4, отплатила би се за око 7,5 година.

### Максимизација Y

Последња функција циља према којој су решавани модели сценарија је максимизација искоришћене количине доступних шумских остатака Y. Иако код решавања модела према овој функцији, економски параметри нису у првом плану, пожељно је да буду у границама исплативости. Максимизација искоришћења доступних шумских остатака, уједно представља циљ развијене методологије.

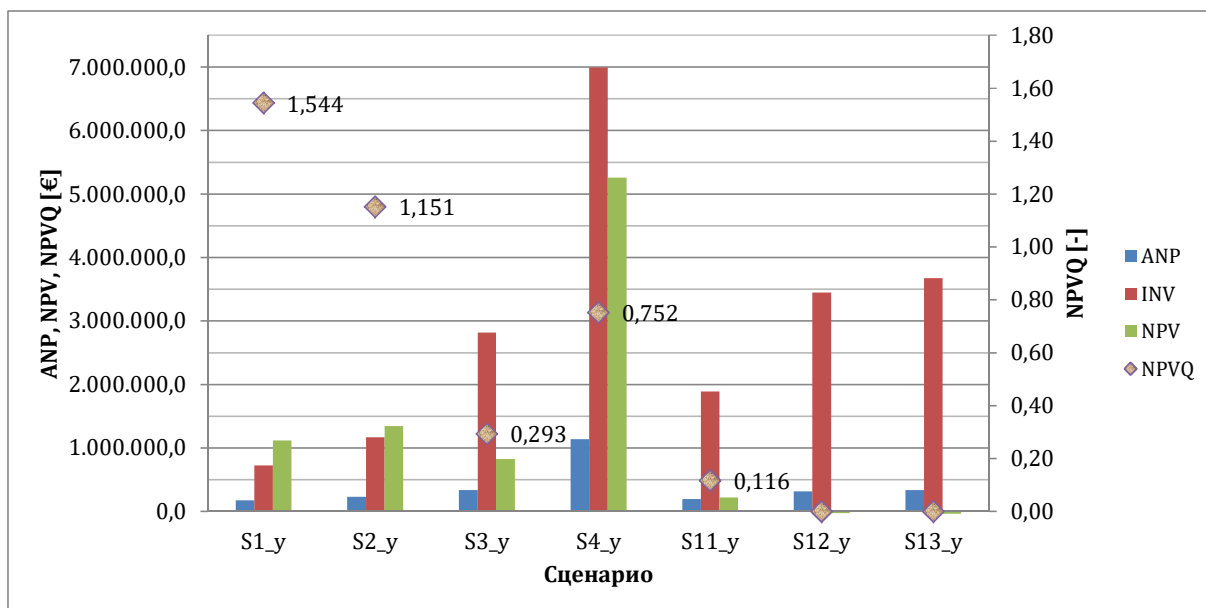
Техничке карактеристике (табела 6.13) и економски параметри (слика 6.16) решења генерисаних према овој функцији циља, за све сценарије су исте као и код функције циља максимизације NPV, осим код сценарија S3. Наиме, решења према функцији циља максимизације NPV, по сценаријима S1 и S2, подразумевала су скоро потпуно задовољење предвиђеног топлотног конзума, док је решење према сценарију S4 предвиђало потпуно искоришћење доступних шумских остатака. Због тога, генерисање решења по овим сценаријима у функцији циља максимизације Y није донело никакве промене.

Табела 6.13 Карактеристике оптималних решења сценарија према функцији циља max Y

Сценарио	локације	тип постројења	топлота [kW]	електрична енергија [kW]	искоришћена количина шумских остатака [%]
S1_y	plant43	топлана	775	-	9,2
	plant44		140		
	plant57		175		
S2_y	plant43	топлана	1.665	-	15,7
	plant44		315		
S3_y	plant43	топлана	1.830	-	35,7
	plant44		2.490		
	plant46		800		
S4_y	plant43(69%)	когенерација	2.075	-	100
	plant44	топлана	7.050	1.590	
S11_y	plant43	когенерација	775	200	8,5
S12_y	plant43	когенерација	1.665	370	18,2
S13_y	plant43	когенерација	1.930	430	21,2

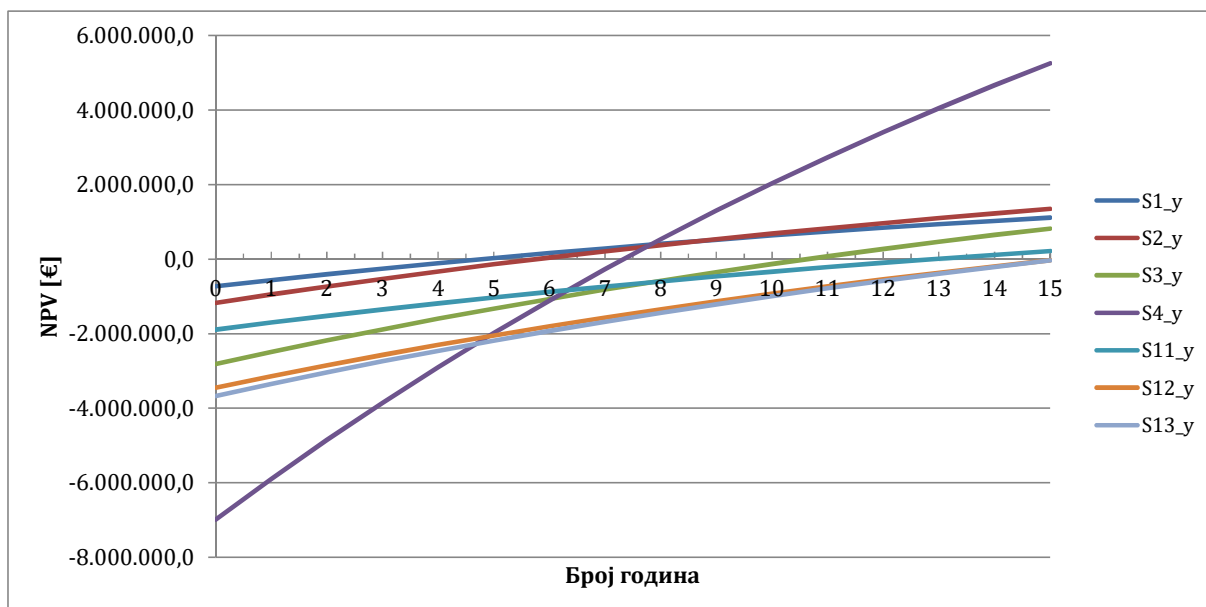
У случају сценарија S3, претходној функцији циља максимизације NPV, није било предвиђено постројење које би снабдевало конзум на локацији plant46. Ово постројење је предвиђено по функцији циља максимизације Y. Инсталација постројења на локацији plant46, имала би за последицу смањивање NPVQ и NPV.





Слика 6.16. Економски параметри решења добијених решавањем модела према функцији циља максимизације  $Y$

Дијаграм тока новца, за решења која су генерисана према функцији циља максимизације  $Y$  приказан је на слици 6.17. Вредности приказане на дијаграму су исте као и на дијаграму 6.15, осим за сценарио S3, код којег су ниже вредности NPV и дужи период повраћаја инвестиције.



Слика 6.17. Дијаграм тока новца – за различите сценарије према функцији циљ максимизације  $Y$

На основу анализе добијених резултата, према предвиђеним сценаријима и функцијама циља, може се закључити да ће сва генерисана решења допринети унапређењу искоришћења доступног потенцијала шумских остатака. Решења генерисана према сценарију S4 (према функцијама циља максимизације  $NPV$  и  $Y$ ), поред тога што би

допринела унапређењу коришћења потенцијала шумских остатака, допринела би и одрживој максимизацији искоришћења овог потенцијала, што је и циљ ове дисертације. Због тога ће, у наставку, ће бити фокус на овим решењима.

Ниједно од генерисаних решења, према предложеним сценаријима не подразумева изградњу постројења за производњу пелета. Додатно моделирање је показало, да тек при значајнијим променама цене пелета (изнад 180 €/t) у односу на тренутну цену (150€/t), уз задржавање осталих параметара непроменљивим, производња пелета јавља као једно од исплативих решења

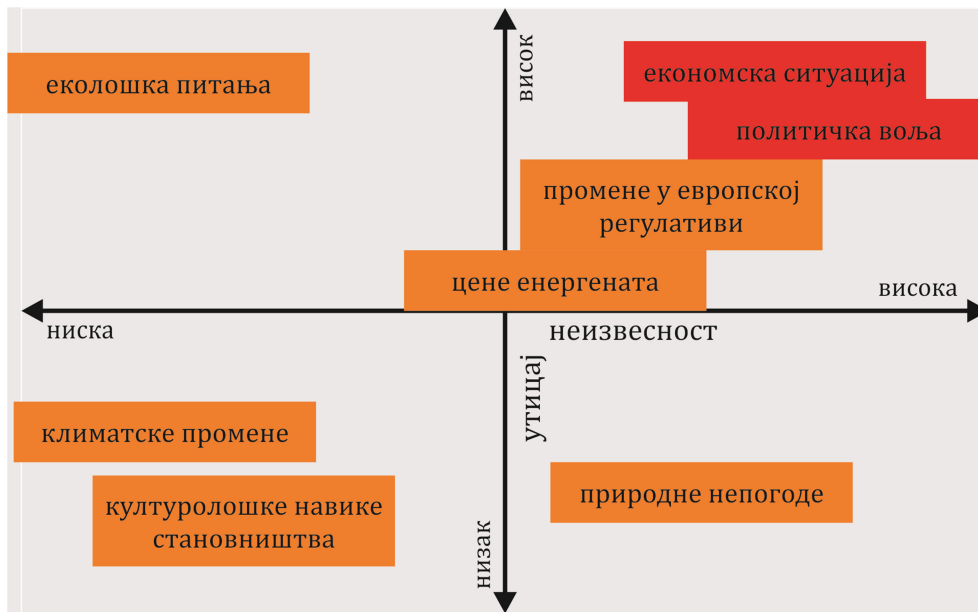
## 6.6. Дугорочни сценарио

Након генерисања потенцијалних решења и идентификације решења која могу допринети максимизацији искоришћења потенцијала врши се њихова анализа према кључним неизвесностима. Одрживост сценарија у односу на кључне неизвесности анализирана је током *backcasting* радионице (слика 6.18).



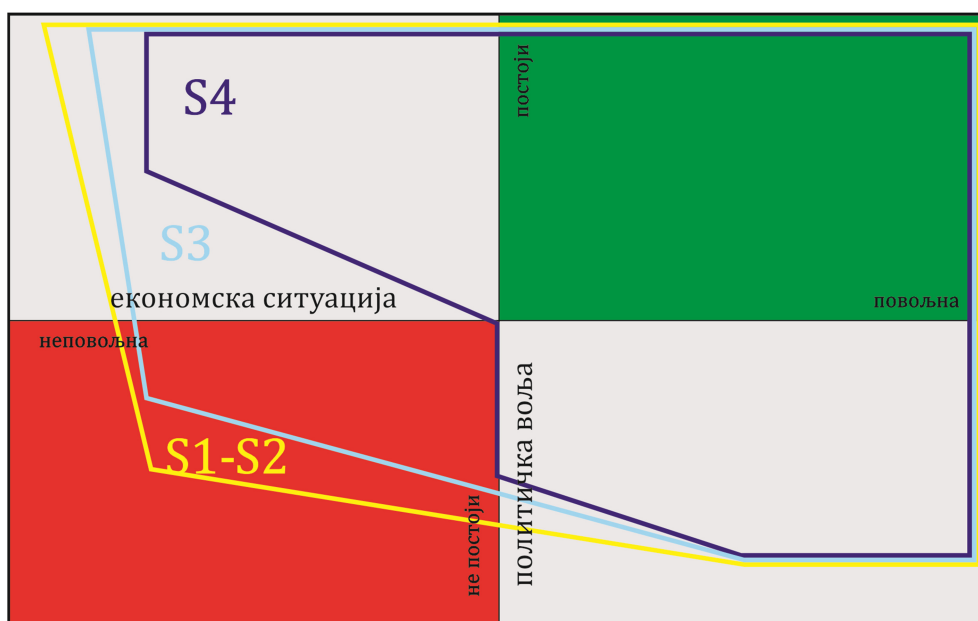
Слика 6.18. Backcasting радионица

На основу предлога, односно листе идентификованих покретача и препрека извршена је анализа утицај-неизвесност и дефинисане су кључне неизвесности (слика 6.19). Консензусом свих заинтересованих страна, као кључне неизвесности, дефинисане су економска ситуација и политичка воља. Од економске ситуације и политичке воље, која се огледа у институционалној подршци зависи одрживост сценарија S4, као сценарија који омогућава максимизацију коришћења потенцијала биомасе. То се такође односи и на остале сценарије S1, S2 и S3.



Слика 6.19. Идентификоване кључне неизвесности

Према виђењу заинтересованих страна, предложени сценарији ће сигурно бити одрживи у ситуацији када постоји политика воља и када је добра економска ситуација (слика 6.20). Наиме, раније је већ напоменуто да се становништво често одриче комфора како би се уштедело у новцу и евидентно је да ће економска ситуација утицати на број прикључених корисника. Иако ће постројење генерисати топлотну енергију по цени која је нижа од цене коју има топлотна енергија генерисана у индивидуалним стамбеним јединицама, трошкови прикључка (инсталација) могу утицати на број прикључених корисника. Изградња постројења (првенствено из сценарија S4) захтева велика инвестициона улагања, која не могу бити обезбеђења без постојања политичке воље, која је битна и код доношења пратећих прописа на локалном нивоу. Услови прикључења корисника на систем такође ће бити дефинисани од стране локалних власти и имаће велики утицај.



Слика 6.20. Одрживост решења у односу на кључне неизвесности

Слабљење политичке воље у случају када је економска ситуација повољна не би требало да има утицаја на одрживост сценарија али је неопходно постојање макар и мале политичке воље. Уколико не постоји политичка воља неће бити могуће реализовати нити одржати било који од предвиђених сценарија, јер се ниједна активност усмерена ка изградњи постројења за конверзију енергије биомасе не може обавити без подршке локалних власти. Према мишљењу заинтересованих страна, утицај политичке воље се може минимизирати када је економска ситуација стабилна, али је свакако потребно њено постојање у одређеном нивоу. Са друге стране, у случају лошије (не у потпуности лоше) економске ситуације, уз адекватну институционалну подршку предложени сценарио S4 (као и остали сценарији) би требало да буде одржив. Мишљење је да постојање политичке воље не може у потпуности да надомести недостатак финансија и због тога у случају лоше економске ситуације тешко да ће сценарио S4 бити одржив.

Због великих трошкова за енергенте у постојећим системима који користе мазут а чија је супституција у основи сценарија S1, S2 и S3 и обзиром да се ради превасходно о здравственим и образовним установама, ови сценарији ће бити одрживи и у економско неповољној ситуацији уз постојање минимално потребне политичке воље.

#### 6.6.2. Путања и неопходне промене

Изградња постројења и система које би омогућило максимизацију искоришћења потенцијала биомасе (шумских остатака) захтева велика инвестициона улагања, али и низ промена које је потребно извршити како би се остварило жељено стање. Током *backcasting* радионице, заинтересоване стране су дефинисале оквирне промене које би требало извршити. Дефинисање неопходних промена и путање, остварено је гледањем назад из жељеног стања и давањем одговора на питања:

- *Шта је потребно променити?*
- *Ко би требало да извршити неопходне промене?*
- *Како промене могу бити остварене?*

Током радионице дефинисан је оквир промена које је било потребно извршити како би жељено стање било постигнуто, као и ко би требао да буде носилац промена и на који начин.

#### Културолошке промене

Остваривање жељеног стања има веома изражен утицај на становништво, па су у том смислу културолошке промене веома значајне за само постизање жељеног стања. Како би се остварио жељени обим прикључења на топловодну мрежу, а дефинисани жељени систем био одржив, неопходно је пре свега информисати становништва о жељеном систему (K1). Информисање би требало да буде транспарентно и да траје константно од почетка активности које имају за циљ остваривање жељеног стања. Становништво би требало да се информише о свим параметрима функционисања система који су од јавног значаја. Само уколико је становништво (потенцијални корисници) транспарентно информисано о намерама и изгледу жељеног система могуће је очекивати већи обим прикључења. Локална самоуправа преко средстава јавног информисања и формирањем

центра за подршку корисницима, као и удружења цивилног друштва која би имала интересовања у овој области би требало да информише становништво.

Информисаност становништва је један од главних, али не и пресудних фактора који има утицај на постизање жељеног стања. Поред континуалне и транспарентне информисаности становништва, неопходно је спровести и већи број едукација које ће имати за циљ подизање свести становништва (K2). Ове едукације би требало извршити у почетним годинама активности на успостављању жељеног система, а по потреби понављати у каснијим годинама. Један део едукативних активности би требао да буде посвећен појашњењу бенефита, у економском и техничком смислу, које са собом носи прелазак на нови систем. Њих би требало да спроводи локална самоуправа или организације цивилног друштва, уз сарадњу са локалним експертима и научно-истраживачким организацијама. Паралелно са едукацијом која се односи на економске и техничке карактеристике, потребно је едуковати становништво о могућности унапређења стања животне средине (K3). Према мишљењу заинтересованих страна, овде би требало ставити нагласак на загађење ваздуха обзиром да општина Ивањица има статус ваздушне бање.

Након извршених неколико едукативних активности и када се за то стекну услови (извршене структурне промене) потребно спровести анкетирање становништва у циљу стицања увида у почетни обим прикључења на систем и на основу тога планирати даље активности (K4). Део анкетирања се може спровести током едукативних активности, али би главни део требало спровести „од врата до врата“ при чему би поред података о потенцијалним корисницима били прикупљени и подаци о постојању или потребним инсталацијама за прикључење на систем. Пошто се обави анкетирање и стекне увид о стању објекта и инсталација у објектима потребно је вршити континуирану едукацију о могућностима унапређења енергетске ефикасности у зградама (K5)

Успостављање, функционисање и одрживост жељеног система не зависи само од корисника већ и од доносиоца одлука и запослених у јавном сектору чије ће активности бити директно везане за жељени систем. Због тога је неопходно вршити константну едукацију доносиоца одлука (K7) како би се обезбедило постојање неопходног нивоа политичке воље. Са друге стране едукација запослених у припадајућем јавном сектору је неопходна као би се обезбедило несметано функционисање и унапређење рада жељеног система. Ове едукације би требало спроводити константно од почетка активности везаних за успостављање жељеног система. Едукација се може вршити кроз сарадњу са научно-истраживачким и високо-образовним институцијама, као и трансфером знања и примера добре праксе кроз студијска путовања.

### Структурне промене

Активности на успостављању жељеног система требало би да почну израдом студије изводљивости (C1), а интензивирају се доношењем одлуке о изградњи топлана/когенерационих постројења и оснивањем јавног предузећа у оквиру кога би пословале ове енергане (C2). Јавно предузеће би се основало само уколико би се финансирање изградње постројења спроводило из средстава које је обезбедила општина, било да је реч о сопственим средствима или кредиту. Уколико би се изградња финансирала кроз јавно-приватно партнерство, постројење би пословало у складу са Законом о јавно-приватном

партнерству и концесијама<sup>34</sup>. Управо је обезбеђивање инвестиционих средстава структурна промена (С6) коју је потребно извршити, након што се на основу студије изводљивости ураде извођачки пројекти, ураде анализе утицаја на животну средину и добију потребне дозволе (С4). Уколико је то потребно, требало би извршити ревизију урбанистичких планова.

Услове коришћења шумских остатака, који су у надлежности ЈП Србијашуме, потребно је дефинисати кроз споразуме и уговоре, чиме би се доступне количине ставиле на располагање за потребе постројења (С3). Након добијања права на коришћење шумских остатака, потребно је ангажовати неопходну механизацију и радну снагу (С8) која ће прикупљати, складиштити и по потреби, достављати шумске остатке до постројења. Ово може бити остварено на више начина, кроз новоосновано предузеће, путем јавних набавки или кроз јавно-приватно партнерство.

Поред поменутих едукација, подстицање становништва да своје стамбене објекте прикључе на систем врши се и обезбеђивањем повлашћених кредита код комерцијалних банака (С7), подстицаја кроз умањење цене прикључка или других промотивних видова (С5) (бесплатна израда пројеката унутрашњих инсталација, бесплатне енергетске ревизије објеката и сл). Такође, потребно је организовати и службу која би требало да омогући добијање свих неопходних информација о прикључењу на мрежу (С9).

Когенерациона постројења захтевају приступ електродистрибутивној мрежи па је неопходно испунити регулаторне услове за испоруку електричне енергије и добијање статуса повлашћеног произвођача (С10).

У каснијим годинама реализације предвиђених активности на успостављању жељеног система, а у циљу додатног подстицања прикључивања на мрежу и умањења утицаја на животну средину, потребно је променити локалне еколошке прописе (С11). Пре него што се успоставе нови еколошки прописи и ограничења која они носе, потребно је обавити већи број јавних расправа (К6).

### Технолошке промене

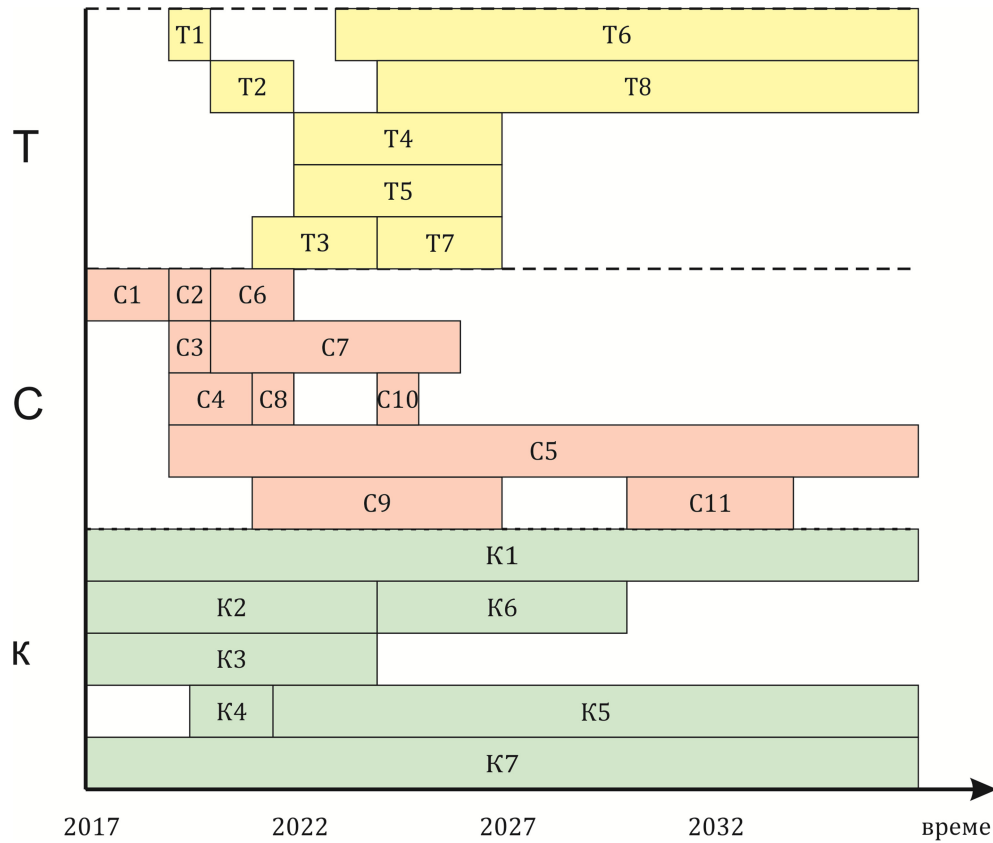
У технолошком смислу, највеће промене представљају изградња постројења и топоводне мреже. Изградња постројења може почети тек када се за то стекну услови у технолошком, али пре свега и у регулаторном смислу. То значи да изградња постројења топоводне мреже може започети пошто се израде извођачки пројекти и добију потребне дозволе. Пре него што се стекну услови у регулаторном смислу, потребно је утврдити и уредити локације примарних складишта (Т1), трасирати топоводне мреже и утврдити тачне локације постројења (Т2). Истовремено се могу реконструисати топоводни системи и унутрашње инсталације у јавним објектима (Т3) како би се обезбедило несметано прикључење на мрежу.

Након стицања неопходних услова, требало би започети са изградњом постројења и топоводне мреже (Т4 и Т5). Изградња постројења и топоводне мреже може трајати неколико година. Пре него што се прикључе први корисници (Т8), требало би кренути са прикупљањем и складиштењем шумских остатака (Т6) како би се обезбедило сигурно снабдевање и постојање залиха. Тиме би се остварио и позитиван утицај на

---

<sup>34</sup> Закон о јавно-приватном партнерству и концесијама - Службени гласник РС, бр. 88/2011, 15/2016 и 104/2016

карактеристике самог горива. Са прикључењем првих корисника на топловодну мрежу, требало би и да крене испорука електричне енергије у електродистрибутивну мрежу по повлашћеним ценама (Т7). Илустративни приказ културолошких, структурних и технолошких промена дат је на слици 6.21.



Слика 6.21. Илустративни приказ дефинисаних промена

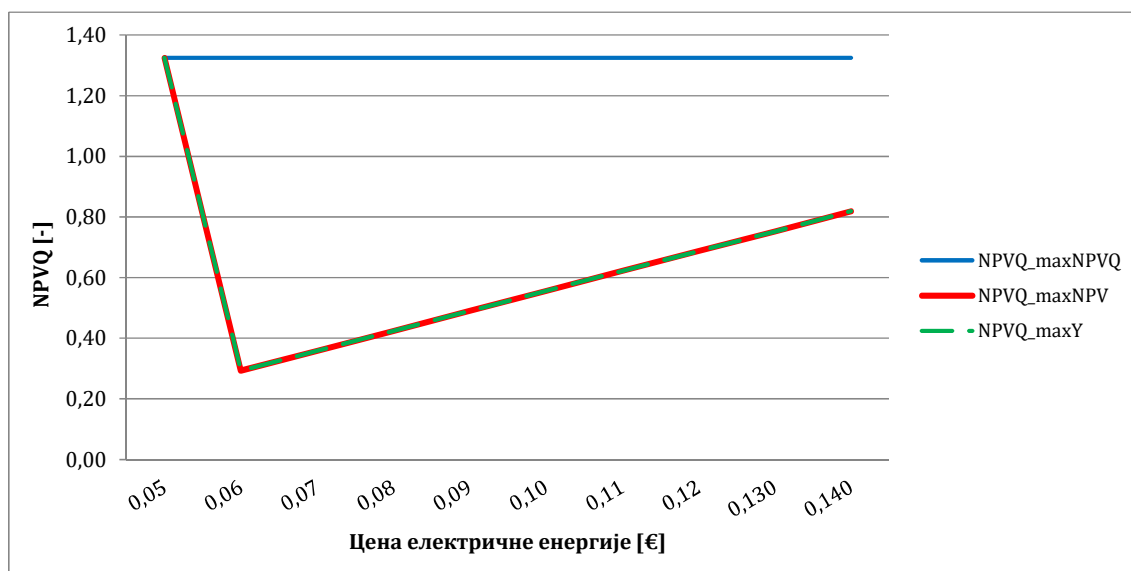
## 7. АНАЛИЗА ОСЕТЉИВОСТИ

Приказана сценарији су генерисани према вредностима утицајних параметара у садашњим условима Могуће је да ће током времена доћи до промене вредности одређених параметара који могу имати утицај на техно-економске карактеристике постројења. У делу који следи извршена је анализа осетљивости сценарија S4 на промену појединих параметара. За анализу су узети параметри код којих је промена вредности током времена могућа и очекивана. Параметри чије се вредности разматрају су:

- износ повлашћене цене електричне енергије,
- количина доступних ресурса,
- цена шумских остатака (на примарном складишту) и
- величина топлотног конзума.

### 7.1.1. Промене у повлашћеној цени електричне енергије

Промене у повлашћеној продајној цени електричне енергије могу имати утицај на техно-економске карактеристике пројеката и из тог разлога је извршена анализа осетљивости сценарија на промену цене електричне енергије. Повлашћена цена која се даје уредбом Владе Републике Србије [111] за постројење когенерационо постројење из сценарија S4 износи 0,1298 €/kWh. Промена у повлашћеној цени електричне енергије је значајна уколико до ње дође пре изградње постројења односно пре добијања статуса повлашћеног произвођача. Након добијања статуса повлашћеног произвођача, генерисана електрична енергија се наредних 12 година испоручује према уговореној гарантованој цени. На сликама 7.1 и 7.2 приказан је утицај промене цене електричне енергије (у распону од 0,05 до 0,14 €/kWh) на техно-економске карактеристике генерисаних решења.

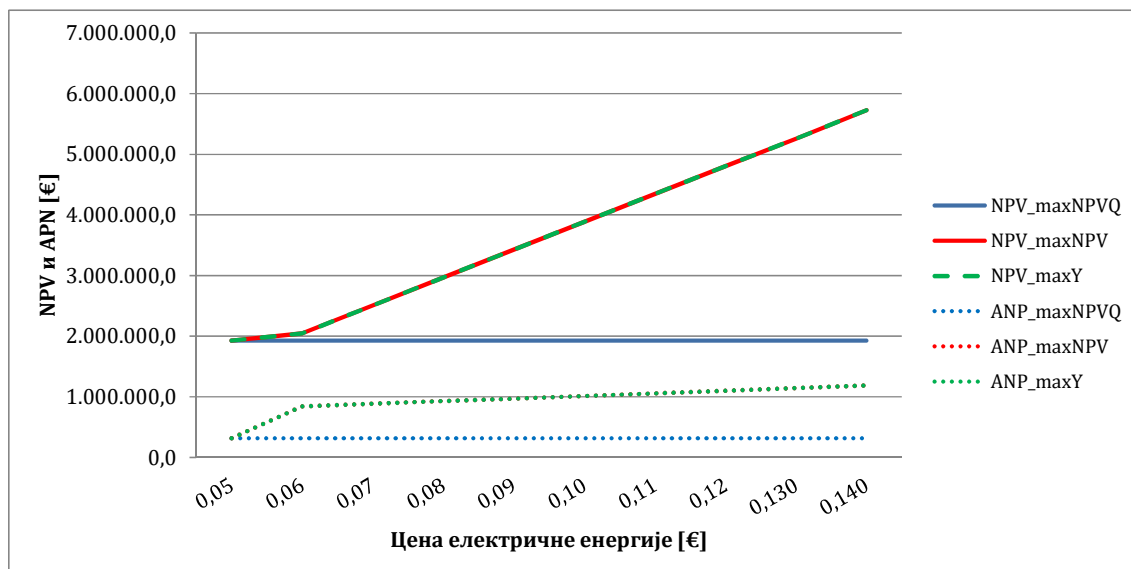


Слика 7.1. Утицај промене повлашћене цене електричне енергије на  $NPVQ$

Резултати анализе показују да промене повлашћене цене електричне енергије до вредности од 0,06 €/kWh немају утицај на ниво искоришћености доступних шумских остатака, а тиме и на техничке карактеристике постројења генерисаних решавањем



модела према свим функцијама циља. Међутим, када је износ повлашћене цене електричне енергије испод 0,06 €/kWh, долази до промене у техничким параметрима постројења, према функцијама циља максимизације  $NPV$  и  $Y$ , односно као оптимално решење генерише се изградња топлане на локацији *plant43* (истих техничких карактеристика као постројење генерисано према функцији циља максимизације  $NPVQ$ ).



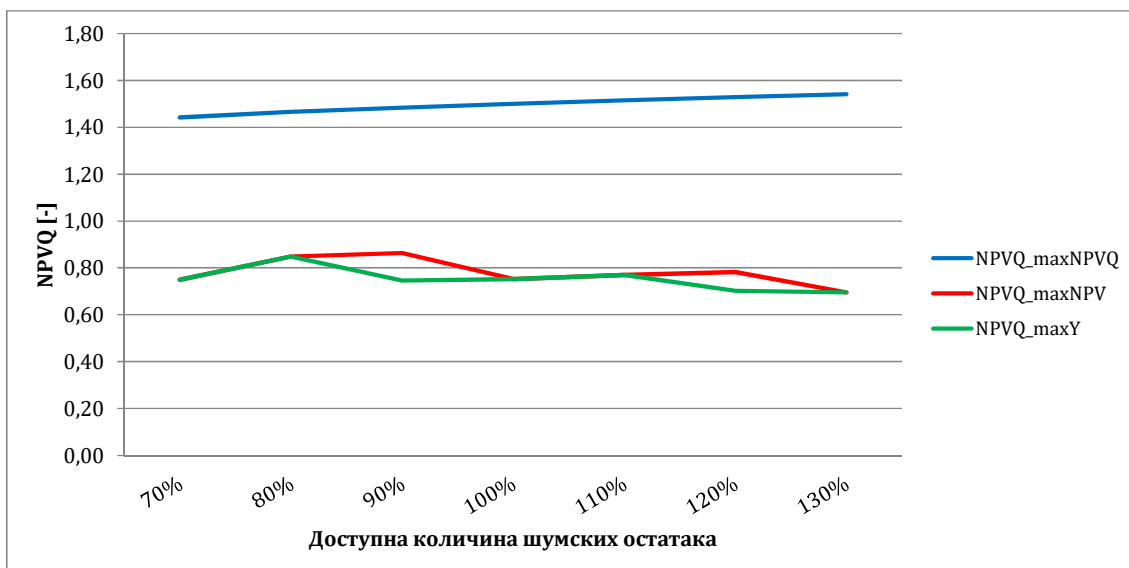
Слика 7.2. Утицај повлашћене цене електричне енергије на  $ANP$  и  $NPV$

Са слика се види да економски параметри ( $NPVQ$ ,  $NPV$ , и  $ANP$ ) линеарно зависе од повлашћене цене електричне енергије до вредности од 0,06 €/kWh.

### 7.1.2. Промена у количини ресурса

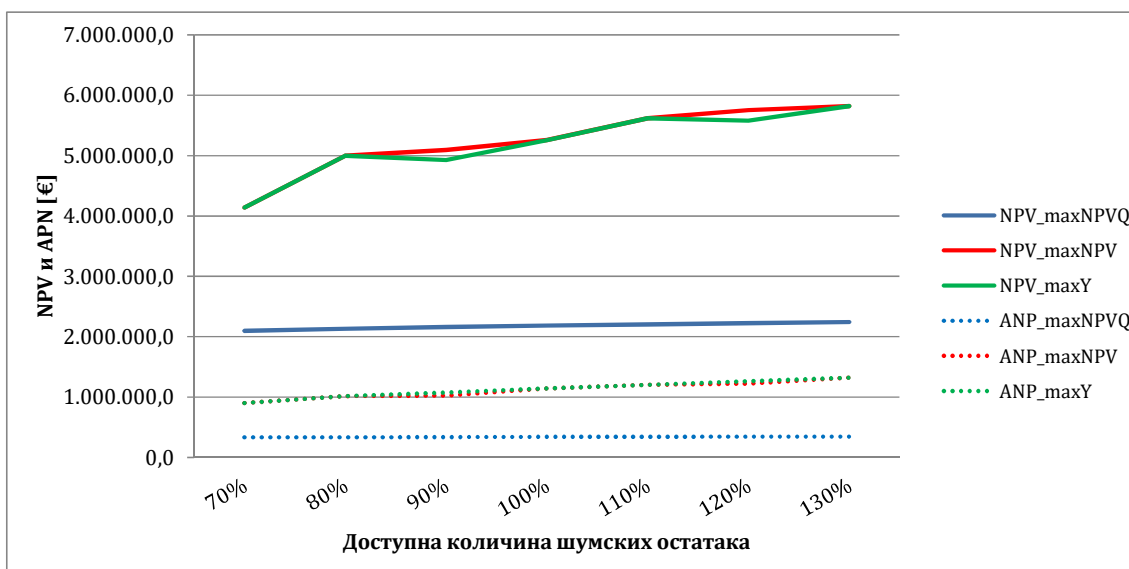
Услед промена у потражњи дрвних сортимената може доћи до промена у количинама доступних шумских остатака, који се могу користити за енергетске сврхе. Због значајног прираста шумске запремине на територији обухваћеној студијом случаја, не треба очекивати умањење (али ни значајније увећање) доступних количина шумских остатака, уколико се настави коришћење шумских ресурса на одржив начин. На слици 7.3 и 7.4 приказан је утицај промене у количини ресурса ( $\pm 30\%$ ) у односу на тренутно доступне количине, на техно-економске карактеристике решења сценарија S4.

Техничке карактеристике постројења генерисаних према функцији циља максимизације  $NPVQ$  се не мењају, обзиром да је генерисано решење у основном случају подразумева употребу 32% ресурса. Економски параметри постројења генерисаних према овој функцији циља незнатно опадају са смањењем количине доступних ресурса. На исти начин, са повећањем количине ресурса долази до благог повећања економских параметара. Разлог за овакве промене економских параметара у односу на промену доступне количине ресурса, лежи у чињеници да се са повећањем доступне количине, већа количина ресурса може допремити са ближих примарних складишта и обрнуто.



Слика 7.3. Утицај промене количине ресурса на вредности  $NPVQ$

Уколико се решење генерише према функцији циља максимизације  $NPV$ , утицај промене количине доступних ресурса значајно утиче на техно-економске карактеристике постројења. Са растом количине доступних ресурса, расту и вредности  $NPV$  и  $ANP$ , док вредности  $NPVQ$  варирају од зависности од техничких карактеристика (табела 7.1) које утичу на вредност инвестиционих трошкова.



Слика 7.4. Утицај промене количине ресурса на вредности  $NPV$  и  $ANP$

У случају генерисања решења према функцији циља максимизације  $Y$ , промена количине ресурса утиче на вредности  $NPVQ$  и  $NPV$  које варирају у зависности од промене техничких карактеристика дефинисаних решења (табела 7.2), док вредности  $ANP$  имају раст са порастом количине доступних ресурса.

Табела 7.1 Промена технички параметара решења, генерисаних према функцији циља максимизације NPV, са променом количине доступних ресурса

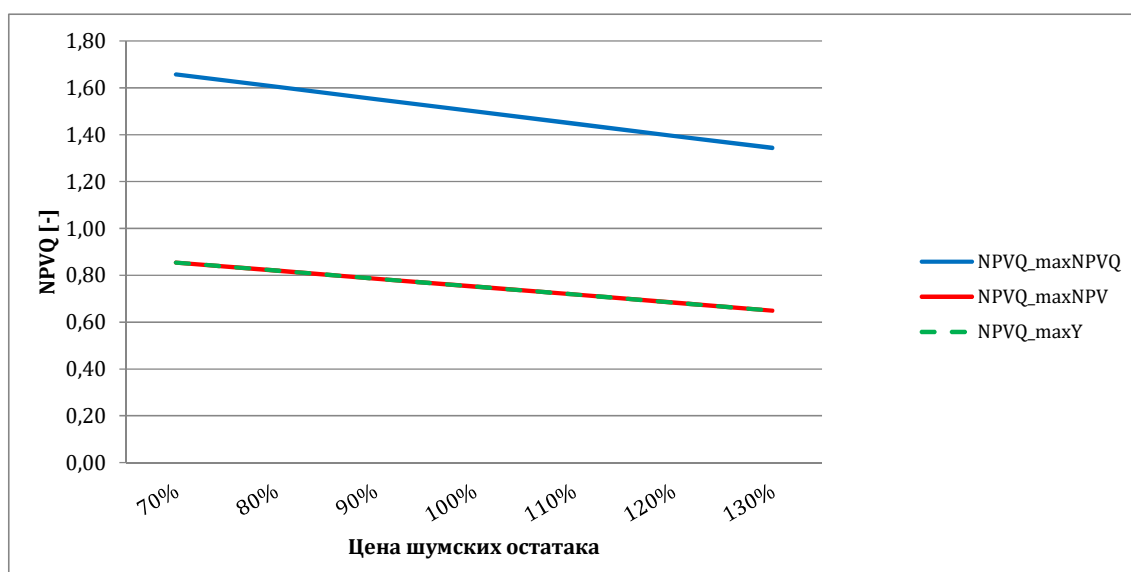
Количина доступних ресурса	Топлана				Когенерационо постројење			Y [%]
	Локација	Инсталисана снага [kW]	Локација	Инсталисана снага [kW]	Локација	Инсталисана снага <sub>г</sub> [kW]	Инсталисана снага <sub>е</sub> [kW]	
70%	-	-	-	-	plant44	6.185	1.390	100,00
80%	-	-	-	-	plant44	7.052	1.587	99,79
90%	-	-	-	-	plant44	7.052	1.587	88,66
100%	plant43	2.075	-	-	plant44	7.052	1.587	100,00
110%	plant43	3100	-	-	plant44	7.052	1.587	100,00
120%	plant43	3280	-	-	plant44	7.052	1.587	93,11
130%	plant43	3280	plant46	1.875	plant44	7.052	1.587	100,00

Табела 7.2 Промена технички параметара решења, генерисаних према функцији циља максимизације Y, са променом количине доступних ресурса

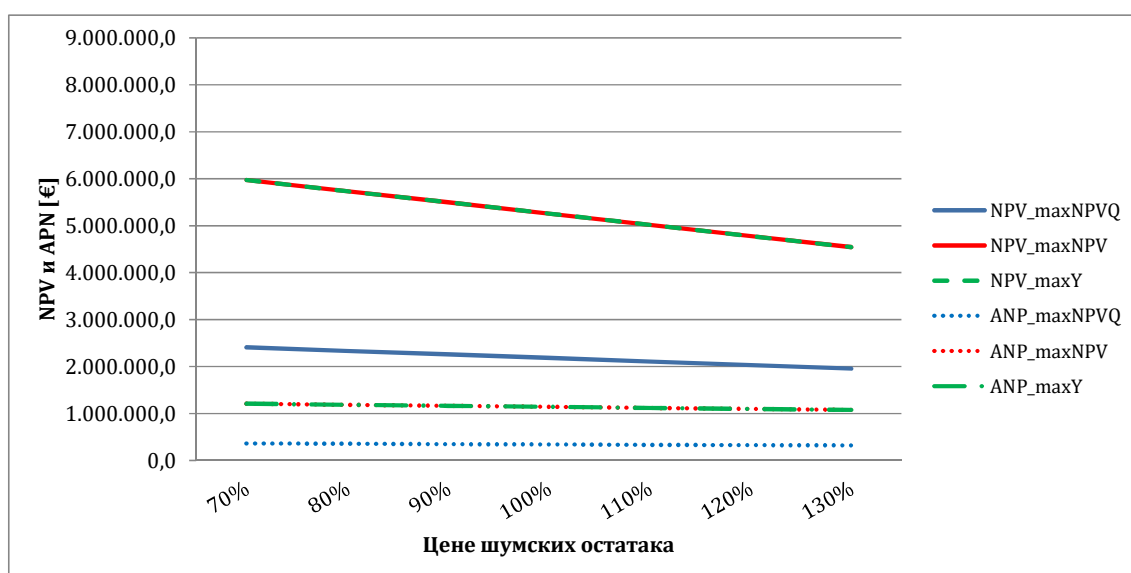
Количина доступних ресурса	Топлана				Когенерационо постројење			Y [%]
	Локација	Инсталисана снага [kW]	Локација	Инсталисана снага [kW]	Локација	Инсталисана снага <sub>г</sub> [kW]	Инсталисана снага <sub>е</sub> [kW]	
70%	-	-	-	-	plant44	6.185	1.390	100,00
80%	-	-	-	-	plant44	7.052	1.587	99,79
90%	plant43	1.045	-	-	plant44	7.052	1.587	100,00
100%	plant43	2.075	-	-	plant44	7.052	1.587	100,00
110%	plant43	3100	-	-	plant44	6.480	1.460	100,00
120%	plant43	3280	plant46	850	plant44	7.052	1.587	100,00
130%	plant43	3280	plant46	1.875	plant44	7.052	1.587	100,00

### 7.1.3. Промена цене шумских остатака

Шумски остаци и генерално биомаса могу имати вишеструку намену и стога се до постизања жељеног стања, неки други вид коришћења биомасе може појавити као конкуренција коришћења у жељеном систему, што може довести до промене у цени шумских остатака. Према мишљењу заинтересованих страна, ова могућност је врло мало могућа, али је размотрена током *backcasting* радионице и може бити спречена потписивањем дугорочних уговора са ЈП Србијашуме, као предузећем које управља ресурсима. На сликама 7.5 и 7.6 приказан је утицај промене цене шумских остатака ( $\pm 30\%$ ) на предложена решења.



Слика 7.5. Утицај промене цене шумских остатака на вредности *NPVQ*



Слика 7.6. Утицај промене цене ресурса на *NPV* и *ANP*

Промена цене шумских остатака има утицај на економске параметре генерисаних решења, према функцијама циља максимизације *NPVQ*, *NPV* и *Y*. Ове промене се

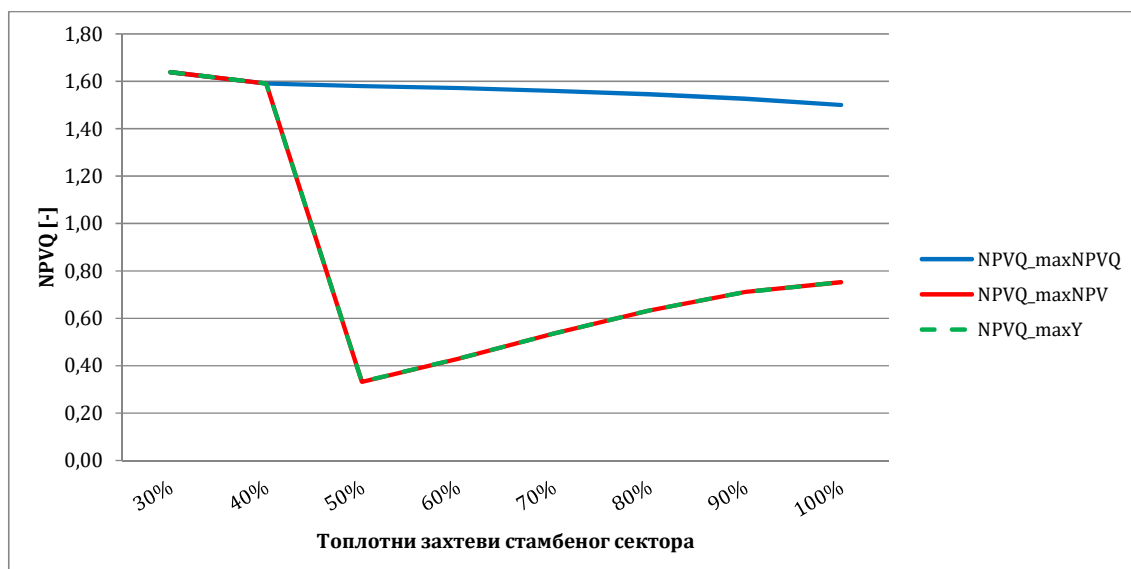
квантификују линеарним смањењем вредности економских параметара са повећањем цене шумских остатака. Промена у цени шумских остатака на примарном складишту неће имати утицаја на техничке карактеристике генерисаних решења.

#### 7.1.4. Промене у топлотним захтевима стамбеног сектора

Промене у топлотним захтевима стамбеног сектора у односу на жељено стање може наступити као последица:

- мањег броја корисника који би се прикључили на систем даљинског грејања или
- услед побољшања енергетске ефикасности зграда прикључених на топоводни систем.

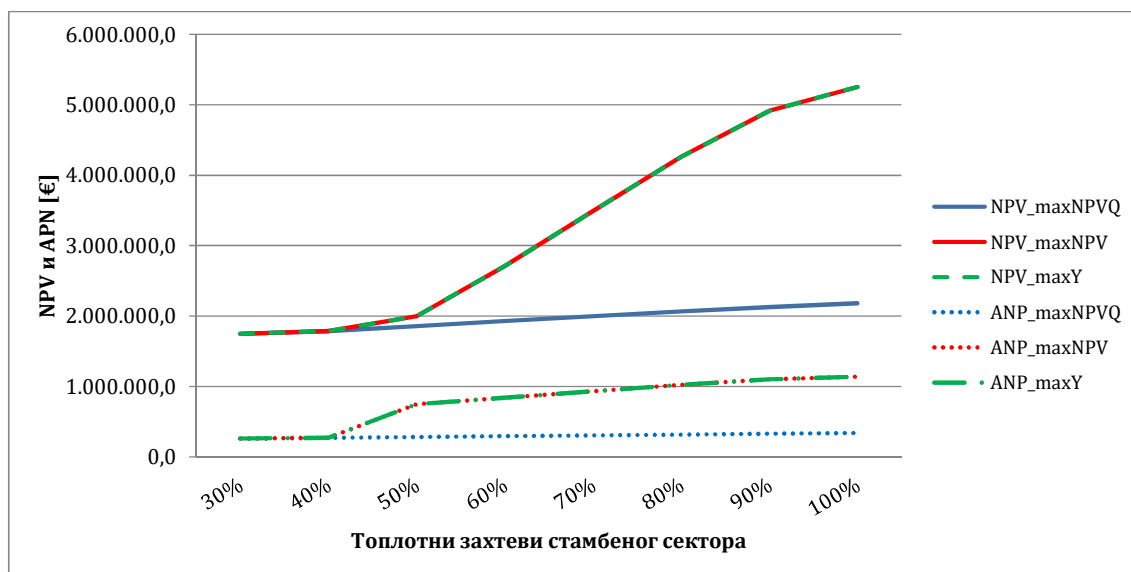
У оба случаја долази до смањења топлотног конзума, што може имати утицај на техно-економске карактеристике потенцијалних постројења, при чему се умањење топлотног конзума услед унапређења енергетске ефикасности објеката може сматрати позитивном променом која оставља могућност прикључења других корисника. Са друге стране, број прикључених корисника је један од главних фактора одрживости предложених решења, посебно када се ради о сценарију S4, јер уколико не постоји добар одзив потенцијалних корисника из стамбеног сектор остваривање жељеног стања је неизвесно. Код сценарија S1 и S2 овај фактор нема утицаја, јер није предвиђено прикључење стамбеног сектора.



Слика 7.7. Утицај промене топлотних захтева стамбеног сектора на вредности  $NPVQ$  и  $Y$

Стамбене зграде, посебно вишеспратне нису предвиђене за индивидуалне системе грејања на чврста горива, што због непостојања довољног простора да се складишти гориво, што због потешкоћа допремања горива до стамбених јединица. Из тог разлога код сценарија S3, не би требало да буде проблема код остваривања жељеног броја прикључења. Утицај промене топлотних захтева стамбеног сектора на економске

параметре постројења по сценарију S4, према све три функције циља, приказан је на сликама 7.7 и 7.8.



Слика 7.8. Утицај промене топлотних захтева стамбеног сектора на вредности *NPV* и *ANP*

Број прикључака који ће бити остварен, према мишљењу заинтересованих страна, зависиће, пре свега, од нивоа информисаности потенцијалних корисника, што је директно повезано са промотивним активностима, али и подстицајним мерама локалне самоуправе. Такође, реално је очекивати да дође до промена у погледу унапређења енергетске ефикасности на одређеном броју објеката, што би имало утицај на укупан топлотни конзум. Евентуално унапређење енергетске ефикасности стамбених објеката зависиће од економске ситуације и евентуалних подстицајних мера.

Табела 7.3 Промена технички параметара решења, генерисаних према функцији циља максимизације *NPVQ*, са променом захтева стамбеног сектора

Топлотни захтеви стамбеног сектора	Топлана		
	Локација	Инсталисана снага [kW]	Y [%]
30%	plant43	2.000	19,45
40%	plant43	2.180	21,25
50%	plant43	2.365	23,05
60%	plant43	2.550	24,80
70%	plant43	2.730	26,60
80%	plant43	2.915	28,40
90%	plant43	3.095	30,15
100%	plant43	3.280	32,00

Смањење топлотних захтева имаће утицај на економске параметре генерисаних решења према све три функције циља. Са смањењем топлотног конзума, смањиваће се вредности

NPV и Y, док ће карактер промена NPVQ зависити од промене техничких карактеристика постројења, које су приказане у табелама 7.3 и 7.4.

Код решења добијених максимизацијом NPVQ, смањењем топлотног конзума у односу на онај који је дефинисан жељеним стањем, смањује се инсталисана снага постројења на локацији *plant43*. Истовремено, вредности NPVQ расту са смањењем инсталисаних капацитета, док се вредности NPV и ANP смањују.

Сличан карактер промене техничких карактеристика је и код решења која се генеришу према функцијама циља максимизације NPV и Y. Са смањењем топлотног конзума смањују се инсталисани капацитети постројења. Када вредност топлотних захтева падне испод 50%, као оптимално решење генерише се само топлана на локацији *plant43*. Вредности NPVQ, NPV и ANP се смањују све док топлотни захтеви не падну испод 50%, од када вредности NPVQ, почињу да расту.

Табела 7.4 Промена технички параметара решења, генерисаних према функцији циља максимизације NPV и Y, са променом захтева стамбеног сектора

Топлотни захтеви стамбеног сектора	Топлана		Когенерационо постројење [kW]			Y [%]
	Локација	Инсталисана снага [kW]	Локација	Инсталисана снага_т [kW]	Инсталисана снага_е [kW]	
30%	plant43	2.000	plant44	-	-	19,45
40%	plant43	2.181	plant44	-	-	21,25
50%	plant43	2.365	plant44	3.610	810	63,85
60%	plant43	2.550	plant44	4.295	965	73,45
70%	plant43	2.730	plant44	4.985	1.120	83,00
80%	plant43	1.960	plant44	5.675	1.275	92,60
90%	plant43	2.875	plant44	6.365	1.430	100,0
100%	plant43	2.075	plant44	7.050	1.590	100,0

## 8. ЗАКЉУЧАК

Основни научни циљ предложене докторске дисертације је формирање методологије за развој дугорочних сценарија за максимално и одрживо коришћење потенцијала биомасе. У оквиру дисертације развијена је методологија за дугорочно планирање унапређења и максимизације коришћења дрвне биомасе. Развијена методологија је базирана на интегралном коришћењу математичке оптимизације и *backcasting* приступа. Интегрално коришћење математичке оптимизације и *backcasting* приступа подразумева, да се резултати и подаци добијени применом једног, од ова два, концепта користе као улаз у други и обратно. Применом математичке оптимизације за дефинисање оптималне количине биомасе која се може користити у тренутним условима, генеришу се подаци који се користе као улаз у *backcasting* процес. На основу ових резултата и извршене анализе потенцијала и коришћења биомасе дефинишу се, применом *backcasting*-а, препреке за максимално искоришћење потенцијала у тренутним условима. Даље се, применом *backcasting*-а, идентификују критеријуми, покретачи и препреке за дугорочну максимизацију искоришћења потенцијала и дефинише изглед жељеног система. На основу дефинисаних критеријума и изгледа жељеног система, у математички модел се додају нова ограничења и параметри и потом се дефинишу решења која могу допринети унапређењу коришћења или дугорочној максимизацији искоришћења потенцијала. Решења генерисана применом математичке оптимизације се даље анализирају применом *backcasting* приступа и дефинишу се путање и неопходне промене.

Математичка оптимизација представља експертски начин генерисања решења, док се применом *backcasting* приступа омогућава генерисање решења укључивањем заинтересованих страна, што доприноси одрживости добијених решења. Дакле, применом математичке оптимизације се разматрају техно-економски параметри, док се применом *backcasting* приступа укључују еколошка и социјална компонента.

Развијена методологија обухвата следеће кораке:

- дефинисања циља,
- анализу потенцијала и коришћења биомасе,
- дефинисање оптималне количине биомасе која се може користити у тренутним условима,
- дефинисање препрека за максимално искоришћење потенцијала у тренутним условима,
- дефинисање критеријума, покретача и препрека за дугорочну максимизацију искоришћења потенцијала и дефинисање жељеног система,
- анализу решења која могу допринети дугорочној максимизацији искоришћења потенцијала и
- развој дугорочних сценарија.

Анализа потенцијала и коришћења биомасе, подразумева прикупљање, анализу и систематизацију података о потенцијалу дрвне биомасе, као и мапирање локација и одређивање доступних количина дрвне биомасе. Одређивање локације на којима се налази дрвна биомаса, у зависности од њене врсте, одређује се на више начина: добијањем података од ЈП Србијашуме, коришћењем статистичких података, добијањем података из дрвнопрерађивачке индустрије итд. Дрвна биомаса се може налазити на



великом броју локација па је у оквиру развијене методологије предвиђено мапирање ових локација применом ГИС технологија. Такође, због могуће великог броја постројења за валоризацију биомасе, као и њихових локација, предвиђено је, на исти начин, мапирање и ових локација. Мапирање локација дрвне биомасе и локација постројења за њену валоризацију омогућило је одређивање оптималних транспортних рута. Сви поменути подаци су систематизовани у базу података која се примењује као улаз у математички модел.

За потребе предложене методологије развијен је оригинални математички *MINLP* модел (описан у поглављу 4.0) којим се описују и разматрају четири групе постројења за валоризацију биомасе. Примена свеобухватног математичког модела омогућава добијање техно-економских параметара рада ових постројења. Ови параметри су: локације постројења, врсте и инсталисани капацитете постројења, потребне количине дрвне биомасе и локације са којих се она прикупља, процењени трошкови транспорта потребне дрвне биомасе, процењена потребна инвестициона улагања и трошкови рада постројења. Дакле, овај математички модел се, користи како би се одредиле оптималне количине биомасе која се може користити у тренутним условима, као и за генерисање оптималних решења према сценаријима дугорочног планирања, када се модел допуњава критеријумима и параметрима који су дефинисани применом *backcasting*-а.

Иако је развијен као интегрални део предложене методологије, математички модел представља користан алат, који се може користити и независно од ње (самостално или у комбинацији са неким другим инжењерским алатима). Поменути математички модел се може користити као за помоћ при доношењу одлука у циљу одређивања и одабира најисплатљивијих пројеката у које би се потенцијално инвестирало, за одређивање економског потенцијала одређених врста биомасе на дефинисаном региону, затим за локацијску расподелу постројења за валоризацију биомасе, итд.

Методолошки оквир *backcasting*-а који је коришћен у докторској дисертацији, предвиђа рад са заинтересованим странама и као и самосталан рад појединаца или тима који управљају спровођењем дефинисаних активности. Примењени методолошки оквир, заснован је на директном раду са заинтересованим странама кроз интервјуе и једну радионицу. Поред интервјуа и радионице, предвиђено је да се заинтересоване стране, по потреби, могу укључити у било које активности предвиђене методологијом. *Backcasting* приступ се у предложеној методологији користи за дефинисање препрека за максимално искоришћење потенцијала у тренутним условима, али и за дефинисање критеријума и покретача и препрека за дугорочно унапређење коришћења и максимизацију искоришћења доступног потенцијала дрвне биомасе. Поред тога, *backcasting* приступ се користи за развој дугорочних сценарија, односно одабир одговарајућег решења, његову анализу према кључним неизвесностима и дефинисање путање и неопходних промена.

Препреке за максимално искоришћење потенцијала у тренутним условима дефинишу се током интервјуа са заинтересованим странама. Током истих интервјуа, дефинише се изглед жељеног стања као и предлог листе евентуалних покретача и препрека остваривању жељеног стања. Дефинисани критеријуми и параметри који описују жељено стање се инкорпорирају у математички модел, након чега се добијају потенцијална решења према више понуђених сценарија и дефинисаних кључних променљивих. Добијена решења се анализирају на радионици са заинтересованим странама и врши се дефинисање путања и неопходних промена ка њиховом постизању.

Развијена методологија је тестирана и примењена на територију општине Ивањица. Општина Ивањица се карактерише великом територијом која се налази под шумским покривачем (50,74% укупне територије), великом количином неискоришћених шумских остатака и неефикасним системима грејања који се заснивају на индивидуалним решењима која доминантно користе огревно дрво као енергент (уз неколико јавних објеката који користе мазут).

Анализирањем потенцијала и коришћења биомасе на овом региону закључено је следеће:

- значајна количина шумских остатака (8.770,00 t), која има енергетски потенцијал од око 34.000 MWh, остаје у шумама након сечења и може се искористити у енергетске сврхе;
- према територијалној расподели шумских ресурса, на 30 потенцијалних локација могу бити смештена примарна складишта за складиштење прикупљених шумских остатака;
- у складу са доступним потенцијалом и коришћењем биомасе и тржишним условима, потенцијална постројења које се могу инсталирати у циљу унапређења и максимизације коришћења шумских остатака су: термоелектране са парним турбинама, постројења за производњу пелета, топлане и когенерациона постројења;
- на 42 потенцијалне локације термоелектране и постројења за производњу пелета могу бити инсталирана док топлане и когенерационих постројења могу бити инсталирана на 17 локација;
- становништво се одриче комфора како би смањило финансијске издатке за набавку енергената.

Количина шумских остатака која се може користити у тренутним условима, односно у постојећим постројењима без значајних улагања и К-Т-С промена, износи 60 t, што је занемарљива количина у односу на доступни потенцијал.

Као препреке за значајније коришћење шумских остатака у тренутним условима, поред непостојања техничких услова (непостојања изграђених система) за коришћење шумских остатака, идентификовани су:

- недовољна информисаност,
- економска ситуација, енергетски неефикасне зграде и системи грејања,
- (не)заинтересованост (навике) становништва,
- цена технологија за конверзију енергије и
- обимна законска процедура када се ради о већим постројењима и јавним установама.

Недовољна информисаност на свим нивоима о могућностима коришћења шумских остатака, али и осталих врста биомасе, представља једну од најзначајнијих препрека. Наиме, након спроведених интервјуа закључено је да ниво упознатости са могућностима коришћења других врста биомасе, поред огревног дрвета, зависи од тога коју су групу заинтересованих страна интервјуисане особе представљале. Такође, закључено је и да је недовољна информисаност, једним делом и последица незаинтересованости становништва, односно инертног поступања по стеченим навикама.

Жељено стање у коме би било унапређено и максимизовано искоришћење доступног потенцијала, али и унапређено задовољење топлотног конзума, заснива се на топланам

или когенерационим постројењима која би снабдевала јавне објекте у ширем центру општине, као и стамбени сектор у близини ових објеката. Жељено стање, односно систем би требало да задовољи следеће критеријуме: еколошку прихватљивост, економску прихватљивост и поузданост. На основу дефинисаних критеријума, поново је закључено, да је комфор у другом плану, када је у питању задовољење потреба за топлотном енергијом.

Остваривање жељеног стања праћено је деловањем низа покретача и препрека. Предлог евентуалних покретача и препрека постизању жељеног стања, дефинисан је такође током интервјуа.

Критеријуми и параметри жељеног стања су инкорпорирани у математички модел и у складу са предложеном методологијом, генерисана су оптимална решења према три функције циља (максимизација  $NPVQ$ ,  $NPV$  и  $Y$ ). Решења су генерисана у оквиру четири могућа сценарија (групе сценарија), која су развијена на основу дефинисаног жељеног стања. При генерисању решења, морао је да буде задовољен услов исплативости.

Првом групом сценарија ( $S1$ ) разматрана је само супституција мазута који се користи у три јавна објекта. За ове објекте су предвиђена засебна постројења. Поједини јавни објекти се међусобно налазе у близини, па је другом групом сценарија ( $S2$ ) разматрано снабдевање ових објеката из заједничких постројења, уз услов да најмање један од груписаних јавних објеката користи мазут као енергент. У овом случају дефинисане су две потенцијалне локације постројења.

Вишепородични стамбени објекти нису погодни за индивидуалне системе грејања у којим се користи огревно дрво или неко друго чврсто гориво, пре свега због недостатка простора за припрему и складиштење. Трећа група сценарија ( $S3$ ), обухватала је снабдевање вишепородичних стамбених објеката који се налазе у близини јавних објеката и који се налазе у оквиру зоне која је дефинисана жељеним стањем. Поред стамбених зграда које се налазе уз два потенцијална постројења из сценарија ( $S2$ ), у оквиру сценарија ( $S3$ ) разматран је још један објекат са „припадајућим“ зградама. Дакле, укупно три потенцијалне локације су разматране у оквиру ове групе сценарија. Последња група сценарија ( $S4$ ), поред вишепородичних стамбених зграда, обухватала је и снабдевање индивидуалних породичних кућа које се налазе у близини јавних објеката.

Решења су, по дефинисаним сценаријима, генерисана према све три функције циља и добијени су следећи резултати:

- Максимизација  $NPVQ$  - За сва четири сценарија, решења према овој функцији циља подразумевају, изградњу постројења које би у основи снабдевало Дом Здравља, као тренутно највећег потрошача топлотне енергије. Искоришћеност потенцијала шумских остатака би се кретала од 7,5% за сценарио  $S1$  до 32% за сценарио  $S4$ .
- Максимизација  $NPV$  - За сва четири сценарија, решења која су генерисана према овој функцији циља предвиђају постројења која би, у основи, снабдевала јавне објекте или групу јавних објеката који тренутно користе мазут као енергент. Искоришћеност шумских остатака према овој функцији циља се креће од 9,2% до 100%. Потпуно искоришћење потенцијала шумских остатака, предвиђено је сценаријом  $S4$ .
- Максимизација  $Y$  - генерисана решења према овој функцији циља су иста као и код решења према функцији циља максимизације  $NPV$  осим у случају

сценарија S3, где је предвиђена изградња једног додатног постројења, чиме би се искористило око 35,7% доступних шумских остатака.

Сва генерисана решења доприносе унапређењу искоришћења потенцијала шумских остатака уз мање или веће економске бенефите. Уколико би се руководило жељом да се оствари што већа добит по јединици уложеног новца, онда би требало инсталирати постројење које ће заменити постојећи систем у јавном објекту са највећом специфичном потрошњом топлотне енергије. У оквиру студије случаја то је Дом Здравља. Како сви други објекти и јавни и стамбени имају мање специфичне потрошње топлоте, то ће и увећање капацитета постројења, односно увећање топлотног конзума, утицати на смањење добити по јединици уложеног новца. Ово смањење ће се дешавати све до тренутка када топлотни конзум постане довољно велики да би дошло до значајног смањења специфичних инвестиционих трошкова, што ће утицати на поновни раст вредности *NPVQ*.

Са друге стране, уколико је императив што већа вредност доступног новца по завршетку пројекта, онда је потребно изградити постројења која ће заменити све јавне објекте који користе мазут и омогућити снабдевање припадајућег стамбеног сектора. Изградња већег броја постројења, значи и већа инвестициона улагања, али и веће вредности *NPV*. Функција циља максимизације искоришћења доступне количине шумских остатака, предвиђа максимално могуће задовољење топлотног конзума по свим сценаријима.

Решења која су генерисана по сценарију S4 према функцијама циља максимизације *NPV* и максимизације *Y*, уз задовољење постављених критеријума и адекватне економске параметре, су идентификована као она која омогућавају максимизацију искоришћења доступних шумских остатака. Како би се испитала одрживост ових решења, извршена је њихова анализа према кључним неизвесностима.

Током радионице са заинтересованим странама, анализирана је листа предложених покретача и препрека и дефинисане су кључне неизвесности: Покретачи и препреке који су идентификовани као кључне неизвесности су политичка воља (односно њено постојање да се постигну одређени циљеви) и економска ситуација. На основу анализе сценарија према кључним неизвесностима закључено је следеће:

- политичка воља мора постојати уколико се жели извршити било која промена или реализовати било који пројекат везан за унапређење искоришћења потенцијала биомасе или унапређење система задовољења топлотних потреба;
- утицај политичке воље се може минимизирати у случају економски повољне ситуације, али се не може потпуно елиминисати;
- ефекти економски неповољне ситуације се могу делимично надоместити уколико постоји политичка воља, односно снажна институционална подршка;
- у случају јавних објеката, пре свега образовних и здравствених установа, када се врши супституција мазута или неког другог фосилног горива чија је употреба праћена високим трошковима, може се минимизирати утицај економске ситуације уколико постоји адекватна политичке воље.

Да би се постигло жељено стање, неопходно је извршити већи број промена: културолошких (информисање и едукација становништва, анкетирање, едукација доносиоца одлука и запослених у припадајућем јавном сектору и сл.), структурних

(доношење потребних одлука, израда студија и добијање потребних дозвола, обезбеђивање финансирања, израда пројеката, дефинисање оквира за коришћење шумских остатака, промена еколошких прописа, итд.) и технолошких (уређивање локација примарних складишта, трасирање цевовода, прилагођавање инсталација у јавним објектима и сл.)

На крају је неопходно напоменути да се развијена методологија, која је тестирана на примеру планирања искоришћења шумских остатака, може, без већих модификација применити на било коју другу врсту чврсте биомасе.

Развијена методологија омогућава дефинисање дугорочних сценарија и решења која могу допринети унапређењу и максимизацији искоришћења дрвне биомасе. Као једно од основних ограничења предложене методологије, може бити недостатак адекватних података потребних за одређивање потенцијала биомасе која се разматра и њеног мапирања. Развијена методологија примењена је и тестирана на студији случаја у оквиру које су разматрани шумски остаци из државних шума. Међутим, уколико се разматрају ресурси који су доступни у приватним шумама, једна од главних препрека је то, што је, практично, експлоатација шума у приватном власништву тренутно ван контроле и не постоје прецизне евиденције о доступним ресурсима. Такође, уколико се планира коришћење пољопривредне биомасе у енергетске сврхе, одређивање доступних количина и мапирање потенцијала може бити веома тешко. То је посебно истакнуто у регионима где се пољопривредна производња обавља на мањим парцелама.

Поред тога, методологијом је предвиђено, да се одабрана област посматра тако да се занемарује утицај суседних области. Међутим у појединим случајевима утицај, односно интеракција, суседних области може бити веома велики. Управо, анализа утицаја суседних области кроз дефинисање параметара и ограничења и њихова интеграција у предложени модел би требала да буде један од праваца даљих истраживања.

Даља истраживања би требало да буду усмерена и ка што ефективнијем одређивању и мапирању доступног потенцијала биомасе, што је један од главних предуслова за планирање и унапређење њеног коришћења. Поред тога, даља истраживања би требала да буду усмерена на прилагођавању предложене методологије, пре свега развијеног математичког модела, за примену у дугорочном планирању искоришћења биомасе уз друге видова ОИЕ (пре свега соларне и геотермалне енергије), али и за планирање и унапређење коришћења биомасе заједно са фосилним горивима.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Flores, J., Montagna, J., Vecchiotti, A.: An optimization approach for long term investments planning in energy. *Applied Energy* 122, 162-178 (2014)
2. Mihajlov, A.: Oportunities and challenges for a sustainable energy policy in SE Evropa: SE Evropaan Energy Community Treaty. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 872-875 (2010)
3. Hendricks, A., Wagner, J., Volk, T., Newman, D., Brown, T.: A cost-effective evaluation of biomass district heating in rural communities. *Applied Energy* 162, 561-569 (2016)
4. Thrän, D., Seidenberger, T., Zeddies, J., Offermann, R.: Global biomass potentials - Resources, drivers and scenario results. *Energy for Sustainable Development* 14, 200-205 (2010)
5. Parikka, M.: Golobal biomass fuel rsources. *Biomass and Bioenergy* 27(6), 613-20 (2004)
6. Steubing, M., Zah, R., Waeger, P., Ludwig, C.: Bioenergy to climb: Assessing the domestic sustainable biomass potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14(8), 2256-65 (2010)
7. Kraxner, F., Aoki, K., Kindermann, G., Leduc, S., Albrecht, F., Liu, J., Yamagata, Y.: Bioenergy and the city – What can urban forests contribute? *Applied Energy* 165, 990-1003 (2016)
8. Sartor, K., Quoilin, S., Dewallef, P.: Simulation and optimization of a CHP biomass plant and district heating network. *Applied Energy* 130, 474-483 (2014)
9. Shabani, N., Sowlati, T., Ouhimmou, M., Ronnqvist, M.: Tactical supply chain planning for a forest biomass power plant under supply uncertainty. *Energy* 78, 346-355 (2014)
10. Gavrilesu, M.: Biomass power for energy and sustainable development. *Environmental Engineering and Management Journal* 7(5), 27-42 (2008)
11. Đerčan, B., Lukić, T., Bubalo-Živković, M., Đurđev, B., Stojsavljević, R., Pantelić, M.: Possibility of efficient utilization of wood waste as a renewable energy resource in Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 1516-1527 (2012)
12. Demirbas, A.: Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. *Energy Conversion and Management* 42, 1357-1378 (2001)
13. Thakur, A., Canter, C., Kumar, A.: Life-cycle energy and emission analysis of power generation from forest biomass. *Applied Energy* 128, 246-253 (2014)
14. Ba, B., Prins, C., Prodhon, C.: Models for optimization and performance evaluation of biomass supply chains: An Operations Research perspective. *Renewable Energy* 87, 977-989 (2016)
15. Vasiljević, A.: Potentials for forest woody biomass production in Serbia. *Thermal Science* 19(2), 397-410 (2015)
16. Вукашиновић, В., Гордић, Д., Деспотовић, М., Бабић, М.: Стање и потенцијал биомасе као обновљивог извора енергије у земљама Западног Балкана. *Енергија, економија, екологија* 14(5), 46-55 (2012)

17. Бркић, М., Јањић, Т.: Потенцијалне количине биомасе за производњу енергије у Србији. Савремена пољопривредна техника 37(3), 225-333 (2011)
18. Golusin, M., Tesic, Z., Ostojic, A.: The analysis of the renewable energy production sector in Serbia. Renewable and Sustainable Energy Review 14, 1477-1483 (2010)
19. Ghaffariyan, M., Acuna, M., Brown, M.: Analysing the effect of five operational factors on forest residue supply chain costs: A case study in Western Australia. Biomass and Bioenergy 59, 486-493 (2013)
20. Karjalainen, T., Asikainen, A., Ilavsky, J., Zamboni, R., Hotari, K.-E., Röser, D.: Estimation of Energy Wood Potential in Europe. Working Papers, Finnish Forest Research Institute, Helsinki (2004)
21. Vukašinović, V., Gordić, D., Babić, M., Jelić, D., Končalović, D.: Technical potential for using biomass as a fuel in cogeneration plants in Serbia. Environmental Engineering and Management Journal 15(11), 2413-2420 (2016)
22. Glavonić, D. B.: Consumption of wood fuels in households in Serbia - Present state and possible contribution to the climate change mitigation. Thermal Science 15(3), 571-585 (2011)
23. Shabani, N., Sowlati, T.: A mixed integer non-linear programming model for tactical value chain optimization of a wood biomass power plant. Applied Energy 104, 353-361 (2013)
24. De Wit, M., Faaij, A.: European biomass resource potential and costs. Biomass and Bioenergy 34, 188-202 (2010)
25. Kim, J., Realff, M., Lee, J., Whittaker, C., Furtner, L.: Design of biomass processing network for biofuel production using an MILP model., 853-871 (2011)
26. Bojić, S., Đatkov, Đ., Georgijević, M., Martinov, M.: Location allocation of solid biomass power plants: Case study of Vojvodina. Renewable and Sustainable Energy Reviews 26, 769-775 (2013)
27. Alfonso, D., Perpina, C., Perez-Navarro, A., Penalvo, E., Vargas, C., Cardenas, R.: Methodology for optimization of distributed biomass resources evaluation, management and final energy use., 1070-1079 (2009)
28. Viana, H., Cohen, W., Lopes, D., Aranha, J.: Assessment of forest biomass for use as energy. GIS-based analysis of geographical availability and locations of wood-fired power plants in Portugal. Applied Energy 87, 2551-2560 (2010)
29. Calvert, K.: Geomatics and bioenergy feasibility assessments: Taking stock and looking forward., 1117-1124 (2011)
30. Perpiña, C., Martínez-Llario, J., Pérez-Navar, A.: Milticriteria assessment in GIS environments for siting biomass plants. Land Use Policy 31, 326-335 (2013)
31. Sultana, A., Kumar, A.: Optimal siting and size of bioenergy facilities using geographic information system. Applied Energy 94, 192-201 (2012)
32. Höhn, J., Lehtonen, E., Rasi, S., Rintala, J.: A Geographical Information System (GIS) based methodology for determination of potential biomasses and sites for biogas plants in

- southern Finland. *Applied Energy* 113, 1-10 (2014)
33. Gunnarsson, H., Ronnqvist, M., Lundgren, J.: Supply chain modelling of forest fuel. *European Journal of Operational Research* 158, 103-123 (2004)
  34. Samsatli, S., Samsatli, N., Shah, N.: BVCM: A comprehensive and flexible toolkit for whole system biomass value chain analysis and optimisation - Mathematical formulation. *Applied Energy* 147, 131-160 (2015)
  35. Freppaz, D., Minciardi, R., Robba, M., Rovatti, M., Sacile, R., Taramasso, A.: Optimizing forest biomass exploitation for energy supply at a regional level. *Biomass and Bioenergy* 26, 15-25 (2004)
  36. Frombo, F., Minciardi, R., Robba, M., Rosso, F., Sacile, R.: Planning woody biomass logistics for energy production: A strategic decision model. *Biomass and Bioenergy* 33, 372-383 (2009)
  37. Van Dael, M., Van Passel, S., Pelkmans, L., Guisson, R., Swinnen, G., Schreurs, E.: Determining potential locations for biomass valorization using a macro screening approach. *Biomass and Bioenergy* 45, 175-186 (2012)
  38. Bazmi, A. A., Zahedi, G., Hashim, H.: Design of decentralized biopower generation and distribution system for developing countries. *Journal of Cleaner Production* 86, 209-220 (2015)
  39. Vergragt, P., Quist, J.: Backcasting for sustainability: Introduction to the special issue. *Technological Forecasting & Social Change* 78, 747-755 (2011)
  40. Börjeson, L., Höjer, M., Dreborg, K.-H., Ekvall, T., Finnveden, G.: Scenario types and techniques: Towards a user's guide. *Futures* 38(7), 723-739 (2006)
  41. Carlsson-Kanyama, A., Dreborg, K., Moll, H., Padovan, D.: Participative backcasting: A tool for involving stakeholders in local sustainability planning. *Futures* 40, 34-46 (2008)
  42. Quist, J.: Backcasting for a sustainable future - the impact after 10 years. Eburon academic publishers, Delft, The Netherlands (2007)
  43. Robinson, J.: Energy backcasting. A proposed method of policy analysis. *Energy policy* 10(4), 337-334 (1982)
  44. Wangel, J.: Exploring social structures and agency in backcasting studies for sustainable development. *Technological Forecasting & Social Change* 78(-), 872-882 (2011)
  45. Robinson, J. B.: Futures under glass: A recipe for people who hate to predict. *Futures* 22(8), 820-842 (1990)
  46. Anderson, K. L.: Reconciling the electricity industry with sustainable development: backcasting — a strategic alternative. *Futures* 33(7), 607-623 (2001)
  47. Hojer, K., Mattson, L. G.: Determinism and backcasting in future studies. *Futures* 32 32, 613-634 (2000)
  48. Robinson, J.: Future subjunctive: backcasting as social learning. *Futures* 35, 839-856 (2003)
  49. Dwivedi, P., Alavalapati, J.: Stakeholders' perceptions on forest biomass-based bioenergy



- development in the southern US. Energy Policy 37, 1999-2007 (2009)
50. Bale, C., Foxon, T., Hannon, M., Gale, W.: Strategic energy planning within local authorities in the UK: A study of the city of Leeds. Energy Policy 48, 242-251 (2012)
  51. Quist, J., Vergragt, P.: Past and future of backcasting: The shift to stakeholder participation and a proposal for a methodological framework. Futures 38, 1027-1045 (2006)
  52. Mander, S., Bows, A., Anderson, K., Shackley, S., Agnolucci, P., Ekins, P.: Uncertainty and the Tyndall decarbonisation scenarios. Global Environmental Change 17, 25-36 (2007)
  53. Mander, S., Bows, A., Anderson, K., Shackley, S., Agnolucci, P., Ekins, P.: The Tyndall decarbonisation scenarios - Part I: Development of a backcasting methodology with stakeholder participation. Energy Policy 36, 3754-3763 (2008)
  54. Anderson, K. L., Mander, S. L., Bows, A., Shackley, S., Agnolucci, P., Ekins, P.: The Tyndall decarbonisation scenarios—Part II: Scenarios for a 60% CO<sub>2</sub> reduction in the UK. Energy policy 36, 3764-3773 (2008)
  55. Weddfelt, E., Vaccari, M., Tudor, T.: The development of environmental visions and strategies at the municipal level: Case studies from the county of Ostergotland in Sweden. Journal of Environmental Management 179, 76-82 (2016)
  56. Svenfelt, Å., Engström, R., Svane, Ö.: Decreasing energy use in buildings by 50% by 2050 — A backcasting study using stakeholder groups. Technological Forecasting & Social Change 78, 785-796 (2011)
  57. Höjer, M., Gullberg, A., Pettersson, R.: Backcasting images of the future city - Time and space for sustainable development in Stockholm. Technological Forecasting & Social Change 87, 819-834 (2011)
  58. Zivkovic, M., Pereverza, K., Pasichnyi, O., Madzarevic, A., Ivezic, D., Kordas, O.: Exploring scenarios for more sustainable heating: The case of Niš, Serbia. Energy <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.06.034> (2016)
  59. Ng, A.: Backcasting performance of the emerging renewable energy sector in China - a strategic optimization approach for policy making. Journal of Technology Management in China 4(1), 53-66 (2009)
  60. Carlsson-Kanyama, A., Dreborg, K., Eenkhorn, B. R., Engström, R., Falkena, H. J., Gatersleben, B., Henriksson, G., Kok, R., Moll, H. C., Padovan, D., Rigoni, F., Stø, E., Throne-Holst, H., Tite, L., Vittersø, G.: Images of everyday life in the future sustainable city: Experiences of back-casting with stakeholders in five European cities., Environmental Strategies Research Group/FOI, Sweden; Centre for Energy and Environment, University of Groningen, Netherlands; Department of Psychology, University of Surrey, UK; Department of Sociology, University of Padova, Italy; National Institute of C (2013)
  61. Sisto, R., van Vliet, M., Prosperi, M.: Puzzling stakeholder views for long-term planning in the bio-economy: A back-casting application. Futures 76(-), 42-54 (2016)
  62. Mulder, K.: Sustainable development for engineers - a handbook and resource guide. Greenleaf Publishing Limited, Sheffield, Great Britain (2006)
  63. FERC: Energy Primer - A Handbook of Energy Market Basics., Washington D.C. (2015)

64. Бабић, М., Гордић, Д., Живковић, Д., Кончаловић, Д., Бошковић, Г., Вукашиновић, В., Ракић, Н., Јосијевић, М.: Анализа потрошње енергије и могућности за употребу локалних извора енергије у општинама. Факултет инжењерских наука, Крагујевац (2015)
65. IEA: Key World Energy Statistics. (2016)
66. OECD/IEA: Renewables information., Paris, France
67. РЗС: Укупан енергетски биланс., Београд, Србија (2015)
68. Деспотовић, М., Бабић, М.: Енергија биомасе. Машински факултет Крагујевац, Крагујевац, Србија (2007)
69. McKendry, P.: Energy production from biomass (part 1): Overview of biomass. Bioresource Technology 83(1), 37-46 (2002)
70. Strezov, V.: Properties of Biomass Fuels. In : Biomass Processing Technologies. CRC Press - Taylor and Francis Group (2014) 419
71. Ilić, M., Grubor, B., Tešić, M.: The state of biomass energy in Serbia. Thermal Science 8(2), 5-19 (2004)
72. Мартинов, М., Тешић, М., Константиновић, М., Степанов, Б.: Перспективе у коришћењу биомасе за грејање домаћинстава у сеоским подручјима. Савремена пољопривредна техника 31(4), 155 - 264 (2005)
73. Franceato, V., Antonini, E., Zuccolio Bergomi, L.: Wood fuels handbook - production, quality requirements, trading. AIEL - Italian Agriforestry Energy Association, Padova, Italy (2009)
74. Hartman, H.: Производња, припрема и својства биогених чврстих горива. In : Приручник о чврстим горивима. Стручна агенција за обновљиве ресурсе, регистровано удружење FNR), Гилцов-Прицен, Немачка (2014)
75. Roser, D., Mola-Yudego, B., Sikanen, L., Prinz, R., Gritten, D., Emer, B., Vaatainen, K., Erkkila, A.: Natural drying treatments during seasonal storage of wood for bioenergy in different European locations. Biomass and Bioenergy 35, 4238-4247 (2011)
76. Главоњић, Б.: Дрвна горива: врсте карактеристике и погодности за грејање. СНВ Монтенегро, Подгорица, Црна Гора (2011)
77. Србијашуме, Ј.: (2016)
78. Gronalt, M., Rauch, P.: Designing a regional forest fuel supply network. Biomass and Bioenergy 31, 393-402 (2007)
79. Kan, T., Strezov, V.: Combustion of Biomass. In : Biomass Processing Technologies. CRC Press, Taylor & Francis group (2014)
80. Kan, , Strezov, V.: Gasification of Biomass. In : Biomass processing technologies. CRC Press Taylor & Francis Group (2014)
81. Бањац, М., Ђукановић, Д., Матејић, М., Галић, Р., Брдаревић, Љ., Лазаревић, Б., Тица, С.: Приручник за енергетске менаџере за област општинске енергетике. Програм Уједињених нација за развој (UNDP), Београд (2016)

82. Onovwiona, H. I., Ugursal, V. I.: Residential cogeneration systems: review of the current technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 10, 389-431 (2006)
83. Thilak, N. R., Iniyan, S., Goic, R.: A review of renewable energy based cogeneration technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 3640-3648 (2011)
84. Вукашиновић, В., Бабић, М., Гордић, Д., Јелић, Д., Кончаловић, Д.: Коришћење биомасе у малим когенерационим постројењима - потенцијал и технологије. *Енергија, економија, екологија* 14(5), 170-175 (20126)
85. Pirraglia, A., Gonzalez, R., Saloni, D.: Wood pellets feasibility. *BioResources* 5(4), 2374-2390 (2010)
86. Erlich, : Comparative study of residue pellets from cane sugar and palm-oil industries with commercial wood pellets, applied in downdraft gasification. *School of Industrial Technology and Management, KTH, Stockholm, Sweden* (2009)
87. Крчевинац, С., Чангаловић, М., Ковачевић-Вујачић, В., Мартић, М., Вујошевић, М.: Операциона истражоивања 1. Факултет организационих наука Београд, Београд (2009)
88. Akhtari, S., Sowlati, T., Day, K.: Optimal flow of regional forest biomass to a district. *International journal of energy research* 38, 954-964 (2014)
89. Paulo, H., Azcue, X., Barbosa-Povoa, A., Relvas, S.: Supply chain optimization of residual forestry biomass for bioenergy production: The case study of Portugal. *Biomass and Bioenergy* 83, 245-256 (2015)
90. Wilson, C., Tansey, J., LeRoy, S.: Integrating backcasting & decision analytic approaches to policy formulation: a conceptual framework. *Integrated Assessment* 6(4), 143-164 (2006)
91. Robinson, J., Burch, S., Talwar, S., O'Shea, M., Walsh, M.: Envisioning sustainability: Recent progress in the use of participatory backcasting approaches for sustainability research. *Technological Forecasting & Social Change* 78, 756-768 (2011)
92. Vukasinovic, V., Gordic, D.: Optimization and GIS-based combined approach for the determination of the most cost-effective investments in biomass sector. *Applied energy* 178(15), 250-259 (2016)
93. Vukašinović, V., Gordić, D., Babić, M., Jelić, D., Končalović, D.: Review of efficiencies of cogeneration units using internal combustion engines. *International Journal of Green Energy* 13(5), 372-383 (2016)
94. Вукашиновић, В., Гордић, Д., Бабић, М., Јелић, Д., Кончаловић, Д.: Преглед доступних модела гасних турбина и мотора са унутрашњим сагоревањем који се могу користити у когенерационим системима. *Енергија, економија, екологија* 15(3-4), 265-278 (2013)
95. Кончаловић, Д., Бабић, М., Гордић, Д., Јелић, Д., Бошковић, Г., Вукашиновић, В.: Парнотурбинске технологије у когенерационим поступцима. *Енергија, економија, екологија* 14(1-2), 142-147 (2012)
96. Clauß, J.: Feasibility study for upgrading the current heat distribution network of an existing building complex to a Smart Thermal Grid., *Master of Science Thesis* (2015)

97. Gvozdenc, D., Morvaj, Z.: Ekonomska i finansijska analiza projekata energijske efikasnosti. USAID/3E, UNDP BiH, GIZ, Bosna i Hercegovina (2011)
98. Natural Resources Canada: Community Energy Planning - A Guide for Communities. Energy technology centre, Ottawa (2011)
99. Републички геодетски завод: Национална инфраструктура геопросторних података (2016)
100. Републички завод за статистику: Шумарство. (2016)
101. Јовановић Поповић, М., Игњатовић, , Радивојевић, А., Рајчић, А., Ђукановић, Љ., Ђуковић Игњатовић, Н., Недић, М.: Национална типологија стамбених зграда Србије. Архитектонски факултет Универзитета у Београду, GIZ, Београд (2013)
102. Републички завод за статистику: Попис становништва, домаћинства и станова 2011. у Републици Србији: Књига 24 „Инсталације и помоћне просторије у становима“, Београд (2013б)
103. Републички Геодетски Завод In: GeoSrbija. Available at: <http://geosrbija.rs/>
104. Влада Републике Србије: "Службени гласник РС" бр.45/2201 и 47/2009 Уредба о заштити Парка природе Голија, Београд (2001 и 2009)
105. Републички завод за статистику: Попис становништва, домаћинства и станова 2011. у Републици Србији: Књига 10 „Домаћинства према броју чланова“, Београд (2013а)
106. Главоњић, Б., Вукадиновић, М.: Ефикасно коришћење огревног дрвета у домаћинствима у одабраним пилот регионима у Србији., Београд (2014)
107. Републички завод за статистику: Настањени станови према врсти грејања и енергената који се користе за грејање. (2013ц)
108. Zhu, J., Pan, X.: Woody biomass pretreatment for cellulosic ethanol production: Technology and energy consumption evaluation. Bioresource Technology 101(13), 4992-5002 (2010)
109. Живковић, М., Ивезић, Д., Маџаревић, А., Манић, Д., Кордас, О., Переверза, К., Пашини, А., Вукашиновић, В., Бошковић, Г., Ракић, Н.: Студија - Ка одрживом систему грејања града Ниша., SDTrain (2015)
110. Giovanni, M., Shu-Chun, Y., Luis-Felipe, Z.: Debt sustainability, public investment, and natural resources in developing countries: The DIGNAR model. Economic Modelling 52, 630-649 (2016)
111. Влада Републике Србије: Уредба о подстицајним мерама за производњу електричне енергије из обновљивих извора и из високоефикасне комбиноване производње електричне и топлотне енергије. (2016)
112. Mani, S.: Economics of producing fuel pellets from biomass. Applied engineering in agriculture 22(3), 1-6 (2006)
113. Nolan, A., Mc Donnell, , Devlin, G., Carroll, J., Finnan, J.: Economic Analysis of Manufacturing Costs of Pellet Production in the Republic of Ireland Using Non-Woody Biomass. The Open Renewable Energy Journal 3, 1-11 (2010)

114. Rowshanzadeh, R.: Performance and cost evaluation of Organic Rankine Cycle at different technologies Master thesis. KTH, Sweden (2011)
115. Arvay, P., Muller, M., Ramdeen, V., Cunningham, G.: Economic Implementation of the Organic Rankine Cycle in Industry. ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry, 1-12 (2011)
116. Peretti, I.: Application of ORC units in sawmills. Technical-economic considerations., Turboden srl (2008)
117. Vamvuka, D., Mavrou, E., Bandelis, G., Papamicheal, I.: Biomass Cogeneration in Europe: economical, technical and environmental evaluation. In : European Combustion Meeting-ECM 2007, Crete, Greece (2007)
118. Duvia, A., Guercio, A., di Schio, C. R.: Technical and economic aspects of Biomass fuelled CHP plants based on ORC turbogenerators feeding existing district heating networks., Turboden Srl
119. Obernberger, I., Thek, G.: Cost assesment of selected decentralised CHP applications based on biomass combustion and biomass gasification. In : Proceedings of the 16th European Biomass Conference & Exhibition, Valencia, p.11 (2008)
120. Otepka, P.: Investment Costs and Profitability of Biomass Heating Plants. In : Guidebook on Local Bioenergy Supply Based on Woody Biomass. Sceintific & Academic Publishing, USA (2013)

## ПРИЛОГ 1

\$Ontext

*Doktorska disertacija: Metodologija dugorocnog planiranja koriscenja potencijala biomase*

*Autor: Vladimir Vukasinovic*

*MODEL doktorat\_20\_3*

\$Offtext

**Scalar** struja cena struje € po kWh /0.1298/;

**Scalar** peleti cena peleta € /150/;

**Sets**

i lokacije biomase /lok1\*lok30/

j potencijalne lokacije postrojenja /plant1\*plant55/

k tehnologije konverzije biomase /pp, pt, bb, orc/;

\$Ontext

*pp - postrojenje za proizvodnju peleta*

*pt - postrojenje za proizvodnju elektricne energije (parna turbina)*

*orc - Organski Rankinov ciklus*

*bb - kotao na biomasu*

\$Offtext

**Sets**

pelet(j) potencijalne lokacije postrojenja za proizvodnju peleta  
/plant1\*plant42/

elektrana(j) potencijalne lokacije elektrana /plant1\*plant42/

chp(j) potencijalne lokacije kogeneracionih postrojenja  
/plant43\*plant45/

toplana(j) potencijalne lokacije toplana gde se sada koristi mazut

/plant43\*plant45/

p(k) tehnologije za proizvodnju peleta /pp/

e(k) tehnologije proizvodnje elektricne energije /pt/

c(k) ORC /orc/

t(k) kotao na biomasu /bb/;

**Parameter** kolicina(i) ;

*\*Dostupna kolicina biomase dostupne na lokaciji i u tonama*

\$call GDXXRW kolicine11.xlsx trace=3 par=kolicina rng=Sheet1!a1 rdim=1  
cdim=0

\$GDXIN kolicine11.gdx

\$LOAD kolicina

\$GDXIN

**Display** kolicina;

**Parameter** heatdemand\_1(j);

*\*Godisnje potrebe javnih objekata za toplotom na lokaciji j*

\$call GDXXRW doktorat\_zeljeno2.xlsx trace=3 par=heatdemand\_1 rng=Sheet2!a1  
rdim=0 cdim=1

\$GDXIN doktorat\_zeljeno2.gdx

\$LOAD heatdemand\_1

\$GDXIN

**Display** heatdemand\_1;

**Parameter** heatdemand\_2(j);  
*\*Godisnje potrebe stambenog sektora za toplotom na lokaciji j*  
\$call GDXXRW doktorat\_zeljeno2.xlsx trace=3 par=heatdemand\_2 rng=Sheet9!a1  
rdim=0 cdim=1  
\$GDXIN doktorat\_zeljeno2.gdx  
\$LOAD heatdemand\_2  
\$GDXIN  
**Display** heatdemand\_2;

**Parameter** heatdemand(j) ukupni toplotni zahtevi na lokaciji j;  
heatdemand(j)=heatdemand\_1(j)+heatdemand\_2(j);

**Parameter** radni\_h(j);  
*\*Broj radnih sati toplotnog konzuma na lokaciji j*  
  
\$call GDXXRW doktorat\_zeljeno2.xlsx trace=3 par=radni\_h rng=Sheet3!a1  
rdim=0 cdim=1  
\$GDXIN doktorat\_zeljeno2.gdx  
\$LOAD radni\_h  
\$GDXIN  
**Display** radni\_h;

**Parameter** troskovi(j);  
*\*Ukupni godisnji troskovi za toplotnu energiju na lokaciji j u €*  
  
\$call GDXXRW doktorat\_zeljeno2.xlsx trace=3 par=troskovi rng=Sheet4!a1  
rdim=0 cdim=1  
\$GDXIN doktorat\_zeljeno2.gdx  
\$LOAD troskovi  
\$GDXIN  
**Display** troskovi;

**Parameter** troskovi\_1(j);  
*\*Godisni troskovi energenata za toplotnu energiju u javnim objektima na lokaciji j u €*  
  
\$call GDXXRW doktorat\_zeljeno2.xlsx trace=3 par=troskovi\_1 rng=Sheet4!a1  
rdim=0 cdim=1  
\$GDXIN doktorat\_zeljeno2.gdx  
\$LOAD troskovi\_1  
\$GDXIN  
**Display** troskovi\_1;

**Parameter** troskovi\_2(j);  
*\*Godisni troskovi energenata za toplotnu energiju stambenog sektora na lokaciji j u €*  
  
\$call GDXXRW doktorat\_zeljeno2.xlsx trace=3 par=troskovi\_2 rng=Sheet7!a1  
rdim=0 cdim=1  
\$GDXIN doktorat\_zeljeno2.gdx  
\$LOAD troskovi\_2  
\$GDXIN  
**Display** troskovi\_2;

**Parameter** spec\_tros\_1(j) specifični troškovi grejanja;  
*\*Specifični troškovi toplotne energiju za javne objekte na lokaciji j €/kWh*

spec\_tros\_1(j)\$(heatdemand\_1(j) gt 0)=troskovi\_1(j)/heatdemand\_1(j);  
**Display** spec\_tros\_1;

**Parameter** spec\_tros\_2(j) specifični troškovi grejanja;  
*\*Specifični troškovi toplotne energiju za stambeni sektor na lokaciji j €/kWh*

spec\_tros\_2(j)\$(heatdemand\_2(j) gt 0)=troskovi\_2(j)/(heatdemand\_2(j)/1.1);  
**Display** spec\_tros\_2;

**Parameter** odnos(j) procenat koji zauzimaju stambene zgrade;  
*\*Procenat u ukupnom snabdevawu toplotom*

odnos(j)\$(heatdemand(j) gt 0)=heatdemand\_2(j)/heatdemand(j);  
**Display** odnos;

**Parameter** LHV(i);  
*\*Prosečne toplotne moci biomase na lokacijama primarnih skladista*

\$call GDXXRW doktorat\_zeljeno2.xlsx trace=3 par=LHV rng=Sheet8!a1 rdim=1  
cdim=0  
\$GDXIN doktorat\_zeljeno2.gdx  
\$LOAD LHV  
\$GDXIN  
**Display** LHV;

**Parameter** dist(i,j);  
*\*Rastojanje između lokacija primarnih skladista i lokacija potencijalnih postrojenja*

\$call GDXXRW doktorat\_zeljeno2.xlsx trace=3 par=dist rng=Sheet5!a1 rdim=1  
cdim=1  
\$GDXIN doktorat\_zeljeno2.gdx  
\$LOAD dist  
\$GDXIN  
**Display** dist;

**Parameter** lease(i) ;  
*\*Cena zakupa zemljišta za primarna skladista €/m2 (različita od mesta do mesta)*

\$call GDXXRW doktorat\_zeljeno2.xlsx trace=3 par=lease rng=Sheet6!a1 rdim=1  
cdim=0  
\$GDXIN doktorat\_zeljeno2.gdx  
\$LOAD lease  
\$GDXIN  
**Display** lease;

*\*Skalarne velicine*

**Scalar** harv cena prikupljanja i usitnjavanja ostataka € po t /25/;

**Scalar** povrs površina m2 koju zauzima 1t ostataka /0/;



**Scalar** folija cena zaštitne folije € po m<sup>2</sup> /2/;  
**Scalar** plata plata radnika na skladistu € po danu /20/;  
**Scalar** fire \_ prot faktor uvećanja troškova skladistenja /0.014/;  
*\*Troškovi zaštite od požara iznose oko 1.4% ukupne godišnje vrednosti uskladistene biomase*

**Scalar** prevoz troškovi transporta € po t i km /0.7/;  
*\*Cena za transport kamionima nosivosti 11t*

**Scalar** operat \_ pp specifični operativni troškovi postrojenja za pelet € po t /80/;  
*\*Operativni troškovi postrojenja za pelet odnose se na kapacite postrojenja u t po h*

**Scalar** operat \_ pt specifični operativni troškovi elektrane € po kWh /0.0055/;  
**Scalar** operat \_ orc specifični operativni troškovi ORC € po kWh /0.0074/;  
**Scalar** operat \_ bb specifični operativni troškovi toplane € po kWh /0.004/;  
**Scalar** eta \_ e \_ pt efikasnost generisanja el energije za pt /0.35/;  
**Scalar** eta \_ e \_ orc efikasnost generisanja el energije za ORC /0.18/;  
**Scalar** eta \_ t \_ orc efikasnost generisanja toplote za ORC /0.72/;  
**Scalar** eta \_ t \_ bb efikasnost generisanja toplote za toplanu /0.93/;  
**Scalar** radno \_ h za postrojenje za proizvodnju peleta i elektrane /8000/;

#### Parameters

cevi(j) /plant43 72.764,  
plant44 80.398,  
plant45 68.377/;

**Scalar** d diskontna stopa /0.045/;

#### Variables

*\*Promenljive koje figurisu u funkciji cilja*

C\_prim troškovi biomase na primarnom skladistu [€ po god]  
C\_trans troškovi transporta biomase [€ po god]  
C\_plant troškovi postrojenja [€ po god]  
G\_prod dobit prodaje [€ po god]

*\*Ukupni biomase na primarnim skladistima sa kojih se transportuje do odredene grupe postrojenja*

prim1 troškovi biomase na primarnom skladistu koja se transportuje do postrojenja za proizvodnju peleta [€ po god]  
prim2 troškovi biomase na primarnom skladistu koja se transportuje do elektrane [€ po god]  
prim4 troškovi biomase na primarnom skladistu koja se transportuje do kogeneracionog postrojenja [€ po god]  
prim5 troškovi biomase na primarnom skladistu koja se transportuje do toplane [€ po god]

*\*Ukupni troškovi transporta do odredene grupe postrojenja*

trans1 troškovi transporta biomase od primarnih skladista do postrojenja za proizvodnju peleta [€ po god]  
trans2 troškovi transporta biomase od primarnih skladista do elektrane [€ po god]  
trans4 troškovi transporta biomase od primarnih skladista do kogeneracionog postrojenja [€ po god]

trans5      troskovi transporta biomase od primarnih skladista do  
            toplane [€ po god]

*\*Transportovana kolicina*

y(i,j,k)    kolicina biomase koja je transportovana do postrojenja [t  
            po god]

*\*Binarna promenljiva*

beta(j,k)

*\*Promenljive koje opisuju postrojenje*

posatu\_pp(pelet,p)      kapacitet postrojenja za proizvodnju peleta [t  
                            po h]  
kapacitet\_pp(pelet,p)   godisnji kapacitet postrojenja za proizvodnju  
                            peleta [t]  
snaga\_e2(elektrana,e)   snaga generisanja elektricne energije u  
                            elektrani na lokaciji j [kW]  
snaga\_e4(chp,c)         snaga generisanja elektricne energije u  
                            kogeneracionom postrojenju na lokaciji j [kW]  
kapacitet\_e2(elektrana,e)   godisnja kolicina elektricne energije  
                            generisane u elektrani na lokaciji j [kWh]  
kapacitet\_e4(chp,c)      godisnja kolicina elektricne energije  
                            generisane u kogeneracionom postrojenju na lokaciji  
                            j [kWh]  
snaga\_t4(chp,c)         snaga generisanja toplote u kogeneracionom  
                            postrojenju na lokaciji j [kW]  
snaga\_t5(toplana,t)      snaga generisanja toplote u toplani na  
                            lokaciji j [kW]  
kolicina\_t4(chp,c)       godisnja kolicina toplote generisane u  
                            kogeneracionom postrojenju na lokaciji j [kWh]  
kolicina\_t5(toplana,t)   godisnja kolicina toplote generisane u  
                            toplani na lokaciji j [kWh]

*\*Promenljive koje iskazuju troskove*

capital(j,k)            kapitalni troskovi postrojenja na lokaciji j tipa k  
toplovod(j,k)           kapitalni troskovi toplovoda na lokaciji j  
odrzavanje(j,k)         troskovi odrzavanja postrojenja na lokaciji j tipa k  
ngd                     neto godisnja dobit ANP  
oem                     o&m troskovi  
Inv                     investicioni troškovi  
NPV                     net present value  
npvq                    net present value quotient  
y\_u                     ukupna iskoriscena kolicina ostataka Y;

**Positive variables** C\_prim, C\_trans, C\_plant, G\_prod, y;

**Integer variables** posatu\_pp;

**Positive variables** kapacitet\_pp, snaga\_e2, snaga\_e4;

**Positive variables** kapacitet\_e2, kapacitet\_e4, snaga\_t4, snaga\_t5,  
                            kolicina\_t4, kolicina\_t5;

**Positive variables** capital, odrzavanje;

**binary variables** beta;

```
y.lo(i,j,k) =0;  
beta.l(j,k)=uniformint(0,1) ;  
beta.lo(j,k)=uniformint(0,0) ;  
beta.up(j,k)=uniformint(1,1) ;
```

### Equations

```
primarno  
transport  
prihod  
primE1  
primE2  
primE4  
primE5  
transE1  
transE2  
transE4  
transE5
```

#### *\*Izrazi koji opisuju postrojenja*

```
posatuEpelet (pelet,p)  
snagaElektrana (elektrana,e)  
snagaEchp2 (chp,c)  
kapacitetEpelet (pelet,p)  
kapacitetElektrana (elektrana,e)  
kapacitetEchp2 (chp,c)  
snagaTchp2 (chp,c)  
snagaToplana (toplana,t)  
kolicinaTchp2 (chp,c)  
kolicinaToplana (toplana,t)
```

#### *\*Izrazi koji iskazuju troskove*

```
capitalPelet (pelet,p)  
capitalElektrana (elektrana,e)  
capitalEchp2 (chp,c)  
capitalToplana (toplana,t)  
toplovodEchp (chp,c)  
toplovodEtoplana (toplana,t)  
odrzPelet (pelet,p)  
odrzElektrana (elektrana,e)  
odrzEchp2 (chp,c)  
odrzToplana (toplana,t)  
odrzU
```

```
dobit  
invest  
nsv  
nsvq
```

#### *\*Uslovi*

```
uslov_2(i)  
uslov_5(j)  
uslov_7  
uslov_9  
uslov_11  
uslov_8  
uslov_13
```

```

uslov_14
uslov_16
uslov_17
uslov_18
uslov_19(toplana)
uslov_20
uslov_21(j)
uslov_22(j)
uslov_23(j)
ukupno
* uslov_31(toplana);

* Ganične vrednosti
beta.lo(j,k)$(elektrana(j) and e(k)) = 1;
beta.lo(j,k)$(pelet(j) and p(k)) = 1;
beta.lo(j,k)$(chp(j) and c(k)) = 1;
beta.lo(j,k)$(toplana(j) and t(k)) = 1;

dobit .. ngd == G_prod-(oem+C_prim+C_trans);

invest .. Inv == sum((pelet,p),
10*capital(pelet,p)*posatu_pp(pelet,p)*radno_h)+
sum((elektrana,e),2.7*capital(elektrana,e)*snaga_e2(elektrana,e)) +
sum((chp,c), capital(chp,c)*snaga_e4(chp,c)+toplovod(chp,c))+ sum((toplana,
t), 3.7*capital(toplana,t)*snaga_t5(toplana,t)+toplovod(toplana,t));

Inv.l=3e6;

nsv .. npv == (ngd)*((1-(1+d)**(-15))/d)-Inv;

npv.l=2e6;
*npv.lo=1000;

nsvq .. npvq == npv/Inv ;

npvq.l=0;

primarno .. C_prim == prim1+prim2+prim4+prim5+2*plata*300;

primE1 ..
prim1==sum((i,pelet,p),(y(i,pelet,p)*harv+y(i,pelet,p)*povrs*lease(i)+y(i,
pelet,p)*povrs*folija+ y(i,pelet,p)*harv*fire_prot)*beta(pelet,p));

primE2 .. prim2 ==
sum((i,elektrana,e),(y(i,elektrana,e)*harv+y(i,elektrana,e)*povrs*lease(i)+
y(i,elektrana,e)*
povrs*folija+y(i,elektrana,e)*harv*fire_prot)*beta(elektrana,e));

primE4 .. prim4 == sum((i,chp,c),
(y(i,chp,c)*harv+y(i,chp,c)*povrs*lease(i)+y(i,chp,c)*povrs*folija+
y(i,chp,c)*harv*fire_prot)*beta(chp,c));

```

```

primE5 .. prim5 =e= sum((i,toplana,t),
(y(i,toplana,t)*harv+y(i,toplana,t)*povrs*lease(i)+y(i,toplana,t)*
povrs*folija+y(i,toplana,t)*harv*fire_prot)*beta(toplana,t));

prim1.lo=0;
prim1.l=1;
prim1.up=6e6;

prim2.lo=0;
prim2.l=1;
prim2.up=6e6;

prim4.lo=0;
prim4.l=50000;
prim4.up=6e6;

prim5.lo=0;
prim5.l=10000;
prim5.up=6e6;

transport .. C_trans =e= trans1+trans2+trans4+trans5;

transE1 .. trans1 =e= sum((i,pelet,p),
y(i,pelet,p)*dist(i,pelet)*prevoz*beta(pelet,p));

transE2 .. trans2 =e= sum((i,elektrana,e),
y(i,elektrana,e)*dist(i,elektrana)*prevoz*beta(elektrana,e));

transE4 .. trans4 =e= sum((i,chp,c),
y(i,chp,c)*dist(i,chp)*prevoz*beta(chp,c));

transE5 .. trans5 =e= sum((i,toplana,t),
y(i,toplana,t)*dist(i,toplana)*prevoz*beta(toplana,t));

trans1.lo=0;
trans1.l=1;
trans1.m=1;
trans1.up=1e6;

trans2.lo=0;
trans2.l=1;
trans2.m=1;
trans2.up=1e6;

trans4.lo=0;
trans4.l=10000;
trans4.m=1;
trans4.up=1e6;

trans5.lo=0;
trans5.l=10000;
trans5.m=1;
trans5.up=1e6;

posatuEpelet(pelet,p) .. posatu_pp(pelet,p) =e= sum(i,
(y(i,pelet,p)/radno_h)*beta(pelet,p));

posatu_pp.l(pelet,p)=1;
posatu_pp.l(pelet,p)=uniformint(0,1);

```

```

posatu_pp.up(pelet,p)=3;

beta.up(pelet,p)=1;
beta.l(pelet,p)=1;
beta.lo(pelet,p)=0;

snagaElektrana(elektrana,e) .. snaga_e2(elektrana,e) =e= sum(i,
(y(i,elektrana,e)*LHV(i)*eta_e_pt* 1000/radno_h)*beta(elektrana,e));

snaga_e2.l(elektrana,e)=2000;
snaga_e2.up(elektrana,e)=6500;

beta.up(elektrana,e)=1;
beta.l(elektrana,e)=1;
beta.lo(elektrana,e)=0;

snagaEchp2(chp,c) .. snaga_e4(chp,c) =e= sum(i,
(y(i,chp,c)*LHV(i)*eta_e_orc*1000/radni_h(chp))*beta(chp,c));

snaga_e4.l(chp,c)=100;
snaga_e4.lo(chp,c)=0;
snaga_e4.up(chp,c)=3000;

beta.up(chp,c)=1;
beta.l(chp,c)=1;
beta.lo(chp,c)=0;

uslov_13 .. sum((pelet,p), beta(pelet,p)) =l= 1;
uslov_14 .. sum((elektrana, e), beta(elektrana, e)) =l= 1;
uslov_16 .. sum((chp, c), beta(chp, c)) =g= 0;
uslov_17 .. sum((toplana,t), beta(toplana,t)) =g= 0;

beta.lo('plant43','bb')=1;
beta.l('plant43','orc')=1;
beta.l(chp,'orc')=1;
beta.l(elektrana,'pt')=0;
beta.l(pelet,'pp')=0;
beta.l(toplana,'bb')=1;

kapacitetEpelet(pelet,p) .. kapacitet_pp(pelet,p) =e=
posatu_pp(pelet,p)*radno_h;

kapacitet_pp.l(pelet,p)=1000;
kapacitet_pp.lo(pelet,p)=0;

kapacitetElektrana(elektrana,e) .. kapacitet_e2(elektrana,e) =e=
snaga_e2(elektrana,e)*radno_h;

kapacitet_e2.l(elektrana,e)=1;
kapacitet_e2.lo(elektrana,e)=0;

kapacitetEchp2(chp,c) .. kapacitet_e4(chp,c) =e=
snaga_e4(chp,c)*radni_h(chp);

kapacitet_e4.l(chp,c)=1000;

```

```

kapacitet_e4.lo(chp,c)=0;

snagaToplana(toplana,t) .. snaga_t5(toplana,t) =e= sum(i,
((y(i,toplana,t)*LHV(i)*eta_t_bb*1000)/
radni_h(toplana))*beta(toplana,t));

kolicinaToplana(toplana,t) .. kolicina_t5(toplana,t) =e=
snaga_t5(toplana,t)*radni_h(toplana)*beta(toplana,t);

snaga_t5.lo('plant43','bb')=100;
snaga_t4.lo('plant43','orc')=0;
snaga_t4.lo('plant44','orc')=1000;
snaga_t4.lo('plant45','orc')=0;

kolicinaToplana.l(toplana,t)=10000;
kolicinaToplana.lo(toplana,t)=0;

capitalPelet(pelet,p) .. capital(pelet,p) =e=
(0.1293*(posatu_pp(pelet,p)/1000)**2-2.7154*
(posatu_pp(pelet,p)/1000)+17.134)*beta(pelet,p);

capitalElektrana(elektrana,e) .. capital(elektrana,e) =e=
1000*(0.0057*(snaga_e2(elektrana,e)/1000)**2-
0.2341*(snaga_e2(elektrana,e)/1000)+3.861)*beta(elektrana,e);

capitalEchp2(chp,c) .. capital(chp,c) =e= (0.0012*snaga_e4(chp,c)**2-
6.6237*snaga_e4(chp,c)+10874)*beta(chp,c);

capitaltoplana(toplana,t) .. capital(toplana,t) =e=
(0.000009*snaga_t5(toplana,t)**2-
0.0667*snaga_t5(toplana,t)+222.16)*beta(toplana,t);

capital.l(pelet,p)=10;
capital.l(elektrana,e)=1;
capital.l(chp,c)=13000;
capital.l(toplana,t)=1300;

snagaTchp2(chp,c) .. snaga_t4(chp,c) =e= sum(i,
((y(i,chp,c)*LHV(i)*eta_t_orc*1000) /radni_h(chp))*beta(chp,c));

snaga_t4.l(chp,c)=500;

kolicinaTchp2(chp,c) .. kolicina_t4(chp,c) =e=
snaga_t4(chp,c)*radni_h(chp);

kolicina_t4.l(chp,c)=50000;

toplovodEchp(chp,c) .. toplovod(chp,c) =e=
cevi(chp)*beta(chp,c)*snaga_t4(chp,c);

toplovodEtoplana(toplana,t) .. toplovod(toplana,t) =e=
cevi(toplana)*beta(toplana,t)*snaga_t5(toplana,t);

odrzPelet(pelet,p) .. odrzavanje(pelet,p) =e=
kapacitet_pp(pelet,p)*operat_pp*beta(pelet,p);

```

```

odrzElektrana(elektrana,e) .. odzavanje(elektrana,e) =e=
kapacitet_e2(elektrana,e)*operat_pt*beta(elektrana,e);

odrzEchp2(chp,c) .. odzavanje(chp,c) =e=
kapacitet_e4(chp,c)*operat_orc*beta(chp,c);

odrzToplana(toplana,t) .. odzavanje(toplana,t) =e=
kolicina_t5(toplana,t)*operat_bb*beta(toplana,t);

odrzavanje.l(pelet,p)=1;
odrzavanje.l(elektrana,e)=1;
odrzavanje.l(chp,c)=50000;
odrzavanje.l(toplana,t)=50000;

odrzU .. oem =e= sum((pelet,p), odzavanje(pelet,p)) + sum((elektrana,e),
odrzavanje(elektrana,e))+ sum((chp,c), odzavanje(chp,c))+ sum((toplana,t),
odrzavanje(toplana,t))+2*plata*300;

prihod .. G_prod =e= sum((pelet,p),
kapacitet_pp(pelet,p)*peleti)+sum((elektrana,e),
kapacitet_e2(elektrana,e)*struja)+sum((chp,c),
kapacitet_e4(chp,c)*struja+kolicina_t4(chp,c)*(1-odnos(chp))
*spec_tros_1(chp)+(kolicina_t4(chp,c)*odnos(chp)/1.1)*spec_tros_2(chp))+sum
((toplana,t),
heatdemand_1(toplana)*beta(toplana,t)*spec_tros_1(toplana)+(kolicina_t5(toplana,t)-heatdemand_1(toplana)*beta(toplana,t))*spec_tros_2(toplana));

G_prod.l = 1e6;
G_prod.lo = 1;

uslov_2(i) .. sum((pelet,p), y(i,pelet,p))+sum((elektrana,e),
y(i,elektrana,e))+ sum((chp,c), y(i,chp,c))+ sum((toplana,t),
y(i,toplana,t)) =1= kolicina(i);

uslov_5(chp) .. sum(c, kolicina_t4(chp,c)) =1= heatdemand(chp);

uslov_19(toplana) .. sum(t, kolicina_t5(toplana,t)) =1=
heatdemand(toplana);

uslov_21('plant43') .. sum(t, beta('plant43',t))+sum(c, beta('plant43',c))
=1= 1;

uslov_22('plant44') .. sum(t, beta('plant44',t))+ sum(c, beta('plant44',c))
=1= 1;

uslov_23('plant45') .. sum(t, beta('plant45',t))+ sum(c, beta('plant45',c))
=1= 1;

uslov_7 .. sum((pelet,p), beta(pelet,p))+sum((elektrana,e),
beta(elektrana,e))+sum((chp,c), beta(chp,c))+ sum((toplana,t),
beta(toplana,t)) =g= 0;

uslov_9 .. sum((i,pelet,p), y(i,pelet,p)*beta(pelet,p)) =e=
sum((i,pelet,p), y(i,pelet,p));

uslov_8 .. sum((i,elektrana,e), y(i,elektrana,e)*beta(elektrana,e)) =e=
sum((i,elektrana,e), y(i,elektrana,e));

```



```

uslov_11 .. sum((i, chp, c), y(i, chp, c)*beta(chp, c)) =e= sum((i, chp, c),
y(i, chp, c));

uslov_18 .. sum((i, toplana, t), y(i, toplana, t)*beta(toplana, t)) =e=
sum((i, toplana, t), y(i, toplana, t));

ukupno .. y_u =e= sum((i, pelet, p),
y(i, pelet, p)*beta(pelet, p))+sum((i, elektrana, e), y(i, elektrana, e)*
beta(elektrana, e))+sum((i, chp, c),
y(i, chp, c)*beta(chp, c))+sum((i, toplana, t), y(i, toplana, t)*beta(toplana, t));

y_u.l=3000;

uslov_20 .. y_u =l= sum(i, kolicina(i));

Model ivanjica /all/;

OPTION RMINLP = CONOPT;

option reslim = 1000000;

Solve ivanjica using rminlp maximizing npv;

display y.l, prim4.l, prim5.l, trans4.l, trans5.l, INV.l, ngd.l, NPV.l,
kapacitet_e4.l, kolicina_t4.l, kolicina_t5.l;

execute_unload 'rezultati_final9.gdx'

execute 'gdxxrw.exe rezultati_final9.gdx var=y rng=Kolicina_y!a1'
execute 'gdxxrw.exe rezultati_final9.gdx var=y_u rng=Ukupno!a1'
execute 'gdxxrw.exe rezultati_final9.gdx var=npvq rng=NPVQ!a1'
execute 'gdxxrw.exe rezultati_final9.gdx var=npv rng=NPV!a1'

```

ПРИЛОГ 2

Rb.	NazivOJ	NazivGJ	Odele	Odsek	VrstaDrveta	Etat	DoznakaBruto	DoznakaNeto	Otpad	gustina [kg/masa	katastar	ostataka	period	
1	ŠU Golijska reka	Golija	20	A	Bukva	1.210,00	1.071,00	910,00	161,00	0,798	128,478			
2	ŠU Golijska reka	Golija	20	A	Jela	234,00	256,00	212,00	44,00	0,541	23,804	Dajčići	387,26	sep-okt
3	ŠU Golijska reka	Golija	20	A	Smrča	858,00	915,00	760,00	155,00		83,855			
4	ŠU Golijska reka	Golija	41	A	Bukva	1.004,00	1.057,00	898,00	159,00		126,882			
5	ŠU Golijska reka	Golija	41	A	Jela	924,00	957,00	813,00	144,00		77,904	Dajčići	369,56	jan-feb
6	ŠU Golijska reka	Golija	41	A	Smrča	321,00	247,00	209,00	38,00		20,558			
7	ŠU Golijska reka	Golija	42	A	Bukva	1.576,00	1.505,00	1.279,00	226,00		180,348			
8	ŠU Golijska reka	Golija	42	A	Jela	1.051,00	1.022,00	869,00	153,00		82,773	Dajčići	452,81	jan-feb
9	ŠU Golijska reka	Golija	42	A	Smrča	157,00	160,00	136,00	24,00		12,984			
10	ŠU Golijska reka	Golija	67	A	Bukva	1.232,00	1.063,00	903,00	160,00		127,68			
11	ŠU Golijska reka	Golija	67	A	Smrča	308,00	221,00	187,00	34,00		18,394			
12	ŠU Golijska reka	Golija	67	B	Smrča	48,00	38,00	32,00	6,00		3,246	Vučak	251,10	okt-nov
13	ŠU Golijska reka	Golija	67	C	Smrča	41,00	43,00	36,00	7,00		3,787			
14	ŠU Golijska reka	Golija	74	A	Bukva	679,00	707,00	601,00	106,00		84,588			
15	ŠU Golijska reka	Golija	74	B	Bukva	169,00	171,00	145,00	26,00		20,748			
16	ŠU Golijska reka	Golija	74	B	Jela	96,00	78,00	66,00	12,00		6,492	Vučak	249,77	mart-apr
17	ŠU Golijska reka	Golija	74	C	Bukva	312,00	321,00	273,00	48,00		38,304			
18	ŠU Golijska reka	Golija	74	F	Smrča	43,00	16,00	12,00	4,00		2,164			
19	ŠU Golijska reka	Golija	75	A	Bukva	546,00	498,00	423,00	75,00		59,85			
20	ŠU Golijska reka	Golija	75	B	Bukva	62,00	59,00	50,00	9,00		7,182	Vučak	109,93	mart-apr
21	ŠU Golijska reka	Golija	75	C	Smrča	1,00	1,00	1,00			0			
22	ŠU Golijska reka	Dajicke planine	28	A	Bukva	2.070,00	1.735,00	1.735,00			0			
23	ŠU Golijska reka	Dajicke planine	28	A	Smrča	104,00	124,00	105,00	19,00		10,279	Dajčići	16,86	jan-mart
24	ŠU Golijska reka	Dajicke planine	4	A	Bukva	1.176,00	1.267,00	1.014,00	253,00		201,894	Dajčići	387,89	mart-maj
25	ŠU Golijska reka	Dajicke planine	4	A	Smrča	455,00	428,00	364,00	64,00		34,624			
26	ŠU Golijska reka	Dajicke planine	51	A	Bukva	174,00	185,00	148,00	37,00		29,526			
27	ŠU Golijska reka	Dajicke planine	51	A	Jela	309,00	286,00	243,00	43,00		23,263			
28	ŠU Golijska reka	Dajicke planine	51	A	Smrča	425,00	413,00	351,00	62,00		33,542			
29	ŠU Golijska reka	Dajicke planine	51	B	Bukva	170,00	176,00	140,00	36,00		28,728	Dajčići	343,96	avg-nov
30	ŠU Golijska reka	Dajicke planine	51	B	Jela	85,00	51,00	43,00	8,00		4,328			
31	ŠU Golijska reka	Dajicke planine	51	B	Smrča	1.361,00	1.117,00	950,00	167,00		90,347			
32	ŠU Golijska reka	Kolješnica	36	B	Bukva	450,00	483,00	411,00	72,00		57,456			
33	ŠU Golijska reka	Kolješnica	36	B	Jela	138,00	146,00	121,00	25,00		13,525	Brusnik	129,72	jun
34	ŠU Golijska reka	Kolješnica	36	B	Smrča	121,00	85,00	70,00	15,00		8,115			
35	ŠU Golijska reka	Kolješnica	37	A	Bukva	603,00	657,00	559,00	98,00		78,204			
36	ŠU Golijska reka	Kolješnica	37	A	Jela	38,00	26,00	22,00	4,00		2,164	Brusnik	193,02	maj
37	ŠU Golijska reka	Kolješnica	37	A	Smrča	980,00	409,00	340,00	69,00		37,329			
38	ŠU Golijska reka	Kolješnica	43	A	Smrča	404,00	395,00	327,00	68,00		36,788	Brusnik	60,33	avg
39	ŠU Golijska reka	Brusnicke šume	58	A	Smrča	1.183,00	765,00	635,00	130,00		70,33	Brusnik	115,34	jul
40	ŠU Golijska reka	Brusnicke šume	59	A	Smrča	660,00	479,00	397,00	82,00		44,362	Brusnik	72,75	avg
41	ŠU Deviči	Biser voda-Crni vrh-Radulovac	20	A	Bukva	1.158,00	1.157,00	925,00	232,00		185,136			
42	ŠU Deviči	Biser voda-Crni vrh-Radulovac	20	B	Bukva	295,00	295,00	236,00	59,00		47,082	Koritnik	316,96	jan
43	ŠU Deviči	Biser voda-Crni vrh-Radulovac	20	B	Jela	147,00	111,00	111,00			0			
44	ŠU Deviči	Biser voda-Crni vrh-Radulovac	20	B	Smrča	88,00	88,00	70,00	18,00		9,738			
45	ŠU Deviči	Biser voda-Crni vrh-Radulovac	24	A	Bukva	1.130,00	1.130,00	904,00	226,00		180,348			
46	ŠU Deviči	Biser voda-Crni vrh-Radulovac	24	A	Jela	89,00	80,00	64,00	16,00		8,656	Koritnik	278,07	mart
47	ŠU Deviči	Biser voda-Crni vrh-Radulovac	24	A	Smrča	238,00	218,00	175,00	43,00		23,263			

48	ŠU Deviči	Biser voda-Crni vrh-Radulovac	30	A	Bukva	820,00	805,00	644,00	161,00	128,478				
49	ŠU Deviči	Biser voda-Crni vrh-Radulovac	30	A	Jela	522,00	367,00	294,00	73,00	39,493	Koritnik	242,72		apr
50	ŠU Deviči	Biser voda-Crni vrh-Radulovac	30	A	Smrča	223,00	159,00	127,00	32,00	17,312				
51	ŠU Deviči	Biser voda-Crni vrh-Radulovac	33	A	Bukva	473,00	473,00	378,00	95,00	75,81				
52	ŠU Deviči	Biser voda-Crni vrh-Radulovac	33	A	Jela	325,00	311,00	249,00	62,00	33,542	Koritnik	162,39		feb
53	ŠU Deviči	Biser voda-Crni vrh-Radulovac	33	A	Smrča	237,00	137,00	110,00	27,00	14,607				
54	ŠU Deviči	Biser voda-Crni vrh-Radulovac	47	A	Bukva	881,00	880,00	700,00	180,00	143,64				
55	ŠU Deviči	Biser voda-Crni vrh-Radulovac	47	A	Jela	246,00	246,00	200,00	46,00	24,886	Koritnik	306,52		maj
56	ŠU Deviči	Biser voda-Crni vrh-Radulovac	47	A	Smrča	634,00	611,00	490,00	121,00	65,461				
57	ŠU Deviči	Biser voda-Crni vrh-Radulovac	48	A	Bukva	479,00	473,00	370,00	103,00	82,194				
58	ŠU Deviči	Biser voda-Crni vrh-Radulovac	48	A	Smrča	1.278,00	1.237,00	928,00	309,00	167,169	Koritnik	326,67		jun
59	ŠU Deviči	Brusnicke šume	30	A	Smrča	1.635,00	1.587,00	1.270,00	317,00	171,497	Koritnik	224,66		jun
60	ŠU Deviči	Brusnicke šume	56	A	Smrča	309,00	284,00	230,00	54,00	29,214				
61	ŠU Deviči	Brusnicke šume	56	C	Smrča	33,00	32,00	25,00	7,00	3,787				
62	ŠU Deviči	Brusnicke šume	56	D	Smrča	43,00	40,00	30,00	10,00	5,41	Brusnik	121,90		apr
63	ŠU Deviči	Brusnicke šume	56	E	Smrča	447,00	359,00	260,00	99,00	53,559				
64	ŠU Deviči	Brusnicke šume	56	F	Smrča	10,00	9,00	7,00	2,00	1,082				
65	ŠU Deviči	Brusnicke šume	57	A	Smrča	716,00	706,00	569,00	137,00	74,117				
66	ŠU Deviči	Brusnicke šume	57	B	Smrča	392,00	382,00	274,00	108,00	58,428	Brusnik	194,90		jul
67	ŠU Deviči	Brusnicke šume	57	C	Smrča	143,00	115,00	85,00	30,00	16,23				
68	ŠU Deviči	Brusnicke šume	61	A	Bukva	32,00	32,00	24,00	8,00	6,384				
69	ŠU Deviči	Brusnicke šume	61	A	Smrča	455,00	445,00	356,00	89,00	48,149				
70	ŠU Deviči	Brusnicke šume	61	B	Smrča	21,00	20,00	16,00	4,00	2,164	Brusnik	79,23		apr
71	ŠU Deviči	Brusnicke šume	61	C	Smrča	35,00	34,00	27,00	7,00	3,787				
72	ŠU Deviči	Brusnicke šume	62	A	Bukva	62,00	45,00	33,00	12,00	9,576				
73	ŠU Deviči	Brusnicke šume	62	A	Smrča	650,00	640,00	493,00	147,00	79,527	Brusnik	144,92		jul
74	ŠU Deviči	Brusnicke šume	62	A	Crni bor	125,00	110,00	75,00	35,00	21,525	0,615			
75	ŠU Deviči	Crepuljnik	14	A	Bukva	972,00	725,00	652,00	73,00	58,254				
76	ŠU Deviči	Crepuljnik	14	A	Jela	85,00	64,00	54,00	10,00	5,41				
77	ŠU Deviči	Crepuljnik	14	A	Smrča	422,00	406,00	345,00	61,00	33,001	Čečina	128,95		sep
78	ŠU Deviči	Crepuljnik	14	B	Smrča	18,00	5,00	4,00	1,00	0,541				
79	ŠU Deviči	Crepuljnik	14	B	Crni bor	19,00	15,00	13,00	2,00	1,23				
80	ŠU Deviči	Crepuljnik	3	B	Bukva	263,00	262,00	236,00	26,00	20,748				
81	ŠU Deviči	Crepuljnik	3	B	Jela	473,00	311,00	264,00	47,00	25,427	Vrmbaje	60,49		okt
82	ŠU Deviči	Crepuljnik	4	A	Bukva	214,00	209,00	188,00	21,00	16,758				
83	ŠU Deviči	Crepuljnik	4	A	Jela	453,00	379,00	322,00	57,00	30,837	Vrmbaje	68,02		nov
84	ŠU Deviči	Crepuljnik	4	A	Smrča	53,00	50,00	42,00	8,00	4,328				
85	ŠU Deviči	Crepuljnik	66	A	Smrča	186,00	185,00	157,00	28,00	15,148				
86	ŠU Deviči	Crepuljnik	66	A	Crni bor	373,00	319,00	271,00	48,00	29,52				
87	ŠU Deviči	Crepuljnik	66	A	Beli bor	266,00	163,00	138,00	25,00	15,375				
88	ŠU Deviči	Crepuljnik	66	B	Smrča	139,00	103,00	87,00	16,00	8,656				
89	ŠU Deviči	Crepuljnik	66	B	Crni bor	9,00	7,00	6,00	1,00	0,615				
90	ŠU Deviči	Crepuljnik	66	B	Beli bor	18,00	5,00	4,00	1,00	0,615				
91	ŠU Deviči	Crepuljnik	66	C	Crni bor	19,00	8,00	7,00	1,00	0,615	Vrmbaje	99,98		dec
92	ŠU Deviči	Crepuljnik	66	D	Smrča	24,00	23,00	19,00	4,00	2,164				
93	ŠU Deviči	Crepuljnik	66	D	Crni bor	2,00	2,00	1,00	1,00	0,615				
94	ŠU Deviči	Crepuljnik	66	F	Crni bor	34,00	16,00	14,00	2,00	1,23				
95	ŠU Deviči	Crepuljnik	66	H	Smrča	2,00	2,00	1,00	1,00	0,541				
96	ŠU Deviči	Crepuljnik	66	H	Crni bor	5,00	2,00	1,00	1,00	0,615				
97	ŠU Deviči	Crepuljnik	66	H	Beli bor	3,00	2,00	1,00	1,00	0,615				

98	ŠU Deviči	Crepuljnik	8	A	Bukva	1.046,00	1.040,00	936,00	104,00		82,992			
99	ŠU Deviči	Crepuljnik	8	A	Jela	366,00	363,00	308,00	55,00		29,755	Vrmbaje	159,04	avg
100	ŠU Deviči	Crepuljnik	8	A	Smrča	105,00	103,00	87,00	16,00		8,656			
101	ŠU Deviči	Crepuljnik	9	A	Bukva	470,00	463,00	417,00	46,00		36,708			
102	ŠU Deviči	Crepuljnik	9	A	Jela	558,00	275,00	234,00	41,00		22,181	Vrmbaje	82,81	maj
103	ŠU Deviči	Crepuljnik	9	A	Smrča	59,00	56,00	48,00	8,00		4,328			
104	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	21	A	Bukva	649,00	603,00	543,00	60,00		47,88			
105	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	21	B	Bukva	408,00	399,00	359,00	40,00		31,92	Sveštica	108,53	nov
106	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	22	A	Bukva	580,00	627,00	564,00	63,00		50,274			
107	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	22	A	Jasika	0,01	3,00	3,00						
108	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	22	B	Bukva	748,00	593,00	534,00	59,00		47,082			
109	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	22	C	Bukva	100,00	82,00	74,00	8,00		6,384			
110	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	22	C	Javor	0,01	1,00	1,00				Sveštica	146,16	nov
111	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	22	C	Jasika	0,01	8,00	7,00	1,00					
112	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	22	D	Bukva	36,00	35,00	31,00	4,00		3,192			
113	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	22	E	Jasika	0,01	3,00	3,00						
114	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	22	E	Smrča	22,00	11,00	10,00	1,00		0,541			
115	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	23	A	Bukva	933,00	965,00	859,00	106,00		84,588			
116	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	23	B	Bukva	344,00	357,00	318,00	39,00		31,122			
117	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	23	C	Smrča	14,00	10,00	8,00	2,00		1,082			
118	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	23	D	Smrča	19,00	15,00	13,00	2,00		1,082			
119	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	23	E	Bukva	125,00	125,00	111,00	14,00		11,172			
120	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	23	F	Bukva	74,00	74,00	66,00	8,00		6,384	Sveštica	185,66	okt
121	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	23	F	Javor	10,00	6,00	5,00	1,00					
122	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	23	G	Smrča	7,00	9,00	7,00	2,00		1,082			
123	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	23	I	Ostali tvrđi liščari	6,00	5,00	4,00	1,00					
124	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	23	I	Bela jova	20,00	5,00	4,00	1,00					
125	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	23	I	Ostali meki liščari	2,00	2,00	1,00	1,00					
126	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	24	A	Bukva	96,00	73,00	61,00	12,00		9,576			
127	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	24	B	Smrča	62,00	30,00	24,00	6,00		3,246			
128	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	24	C	Bukva	53,00	38,00	32,00	6,00		4,788			
129	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	24	D	Bukva	587,00	546,00	459,00	87,00		69,426	Sveštica	160,03	sep
130	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	24	E	Smrča	44,00	26,00	21,00	5,00		2,705			
131	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	24	E	Crni bor	0,01	1,00	1,00			0			
132	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	24	F	Bukva	243,00	220,00	185,00	35,00		27,93			
133	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	25	A	Bukva	524,00	521,00	438,00	83,00		66,234			
134	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	25	B	Smrča	11,00	4,00	3,00	1,00		0,541	Sveštica	102,55	avg
135	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	25	D	Bukva	25,00	13,00	11,00	2,00		1,596			
136	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	25	E	Smrča	77,00	51,00	38,00	13,00		7,033			
137	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	26	A	Bukva	985,00	893,00	741,00	152,00		121,296			
138	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	26	B	Cer	52,00	39,00	34,00	5,00	0,828	4,14			
139	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	26	D	Smrča	36,00	10,00	8,00	2,00		1,082	Sveštica	172,06	avg
140	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	26	E	Poljski brest	11,00	3,00	2,00	1,00					
141	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	26	E	Grab	4,00	2,00	2,00			0			
142	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	26	E	Javor	2,00	6,00	5,00	1,00					
143	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	74	A	Bukva	485,00	397,00	333,00	64,00		51,072			
144	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	74	B	Bukva	411,00	381,00	320,00	61,00		48,678	Kumanica	138,60	sep
145	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	74	C	Smrča	56,00	22,00	18,00	4,00		2,164			
146	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	75	A	Bukva	717,00	699,00	587,00	112,00		89,376			
147	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	75	B	Bukva	378,00	367,00	308,00	59,00		47,082	Kumanica	190,73	okt
148	ŠU Ivanjica-Kušići	Klekovica	75	C	Smrča	68,00	35,00	28,00	7,00		3,787			

150	SU Ivanjica-Kušići	Klekovica	87	A	Bukva	274,00	275,00	239,00	36,00	28,728			
151	SU Ivanjica-Kušići	Klekovica	87	B	Bukva	211,00	191,00	166,00	25,00	19,95			
152	SU Ivanjica-Kušići	Klekovica	87	C	Bukva	217,00	200,00	174,00	26,00	20,748	Budoželja	126,98	jan
153	SU Ivanjica-Kušići	Klekovica	87	D	Bukva	217,00	206,00	179,00	27,00	21,546			
154	SU Ivanjica-Kušići	Klekovica	87	E	Bukva	30,00	26,00	23,00	3,00	2,394			
155	SU Ivanjica-Kušići	Klekovica	88	A	Bukva	1.364,00	1.282,00	1.115,00	167,00	133,266			
156	SU Ivanjica-Kušići	Klekovica	88	B	Bukva	72,00	92,00	80,00	12,00	9,576	Budoželja	202,95	feb
157	SU Ivanjica-Kušići	Klekovica	88	C	Bukva	55,00	60,00	52,00	8,00	6,384			
158	SU Ivanjica-Kušići	Kovilje rabrovica	58	A	Bukva	484,00	475,00	427,00	48,00	38,304	Rovine	81,40	sep-okt
159	SU Ivanjica-Kušići	Kovilje rabrovica	58	B	Bukva	316,00	266,00	239,00	27,00	21,546			
160	SU Ivanjica-Kušići	Kovilje rabrovica	59	A	Bukva	97,00	97,00	87,00	10,00	7,98			
161	SU Ivanjica-Kušići	Kovilje rabrovica	59	B	Bukva	526,00	428,00	385,00	43,00	34,314	Rovine	57,52	okt-nov
162	SU Ivanjica-Kušići	Kovilje rabrovica	61	A	Bukva	355,00	388,00	349,00	39,00	31,122			
163	SU Ivanjica-Kušići	Kovilje rabrovica	61	B	Bukva	104,00	131,00	118,00	13,00	10,374			
164	SU Ivanjica-Kušići	Kovilje rabrovica	61	B	Jela	10,00	7,00	6,00	1,00	0,541	Smiljevac	106,47	jan
165	SU Ivanjica-Kušići	Kovilje rabrovica	61	C	Bukva	475,00	397,00	357,00	40,00	31,92			
166	SU Ivanjica-Kušići	Kovilje rabrovica	61	D	Smrča	63,00	60,00	52,00	8,00	4,328			
167	SU Ivanjica-Kušići	Kovilje rabrovica	62	A	Bukva	1.799,00	1.875,00	1.687,00	188,00	150,024	Smiljevac	205,12	feb-mart
168	SU Ivanjica-Kušići	Kovilje rabrovica	62	B	Bukva	16,00	8,00	7,00	1,00	0,798			
169	SU Ivanjica-Kušići	Kovilje rabrovica	63	A	Bukva	1.307,00	1.257,00	1.131,00	126,00	100,548	Smiljevac	136,75	apr
170	SU Ivanjica-Kušići	Javor Koravcina	18	A	Bukva	1.142,00	1.085,00	965,00	120,00	95,76			
171	SU Ivanjica-Kušići	Javor Koravcina	18	B	Bukva	516,00	519,00	462,00	57,00	45,486	Ravna Gora	266,98	mart-apr
172	SU Ivanjica-Kušići	Javor Koravcina	18	C	Bukva	628,00	627,00	558,00	69,00	55,062			
173	SU Ivanjica-Kušići	Javor Koravcina	2	A	Bukva	970,00	969,00	862,00	107,00	85,386			
174	SU Ivanjica-Kušići	Javor Koravcina	2	A	Jasika	26,00	19,00	17,00	2,00	2,00			
175	SU Ivanjica-Kušići	Javor Koravcina	2	B	Bukva	582,00	591,00	526,00	65,00	51,87			
176	SU Ivanjica-Kušići	Javor Koravcina	2	C	Bukva	407,00	404,00	360,00	44,00	35,112	Kušići	446,56	maj-sep
177	SU Ivanjica-Kušići	Javor Koravcina	2	D	Bukva	58,00	55,00	49,00	6,00	4,788			
178	SU Ivanjica-Kušići	Javor Koravcina	2	D	Smrča	271,00	255,00	217,00	38,00	20,558			
179	SU Ivanjica-Kušići	Javor Koravcina	2	E	Bukva	2,00	2,00	2,00		128,478			
180	SU Ivanjica-Kušići	Javor Koravcina	2	E	Smrča	31,00	28,00	24,00	4,00	2,164			
181	SU Ivanjica-Kušići	Javor Koravcina	21	A	Bukva	888,00	943,00	839,00	104,00	82,992			
182	SU Ivanjica-Kušići	Javor Koravcina	21	B	Bukva	767,00	627,00	558,00	69,00	55,062			
183	SU Ivanjica-Kušići	Javor Koravcina	21	C	Smrča	65,00	57,00	51,00	6,00	3,246	Ravna Gora	195,85	jan-mart
184	SU Ivanjica-Kušići	Javor Koravcina	21	D	Ariš	11,00	13,00	11,00	2,00	1,082			
185	SU Ivanjica-Kušići	Javor Koravcina	21	E	Smrča	28,00	14,00	12,00	2,00	1,082			
186	SU Ivanjica-Kušići	Javor Koravcina	21	F	Smrča	8,00	5,00	4,00	1,00	0,541			
187	SU Ivanjica-Kušići	Javor Koravcina	22	A	Bukva	1.249,00	1.237,00	1.101,00	136,00	108,528			
188	SU Ivanjica-Kušići	Javor Koravcina	22	B	Bukva	241,00	220,00	196,00	24,00	19,152			
189	SU Ivanjica-Kušići	Javor Koravcina	22	C	Bukva	28,00	27,00	24,00	3,00	2,394	Ravna Gora	177,99	apr-maj
190	SU Ivanjica-Kušići	Javor Koravcina	22	D	Bukva	3,00	4,00	3,00	1,00	0,798			
191	SU Ivanjica-Kušići	Javor Koravcina	22	E	Smrča	6,00	2,00	2,00		0			
192	SU Ivanjica-Kušići	Javor Koravcina	77	A	Bukva	809,00	800,00	712,00	88,00	70,224			
193	SU Ivanjica-Kušići	Javor Koravcina	77	A	Jela	129,00	129,00	110,00	19,00	10,279	Smiljevac	162,46	okt-dec
194	SU Ivanjica-Kušići	Javor Koravcina	77	A	Smrča	486,00	481,00	409,00	72,00	38,952			
195	SU Ivanjica-Kušići	Javor Koravcina	78	A	Bukva	497,00	496,00	441,00	55,00	43,89			
196	SU Ivanjica-Kušići	Javor Koravcina	78	A	Jela	1.242,00	982,00	835,00	147,00	79,527	Smiljevac	167,85	avg-sep
197	SU Ivanjica-Kušići	Mucanj	19	A	Bukva	68,00	30,00	27,00	3,00	2,394			
198	SU Ivanjica-Kušići	Mucanj	19	B	Beli bor	176,00	59,00	47,00	12,00	7,38	Preseka	46,03	jun
199	SU Ivanjica-Kušići	Mucanj	19	C	Smrča	90,00	77,00	62,00	15,00	8,115			
200	SU Ivanjica-Kušići	Mucanj	19	D	Bukva	174,00	181,00	161,00	20,00	15,96			

201	ŠU Ivanjica-Kušići	Mucanj	20	A	Bukva	246,00	257,00	229,00	28,00	22,344			
202	ŠU Ivanjica-Kušići	Mucanj	20	C	Bukva	9,00	9,00	8,00	1,00	0,798			
203	ŠU Ivanjica-Kušići	Mucanj	20	C	Smrča	292,00	202,00	162,00	40,00	21,64	Preseka	84,32	jul
204	ŠU Ivanjica-Kušići	Mucanj	20	C	Crni bor	0,01	33,00	5,00	28,00	17,22			
206	ŠU Ivanjica-Kušići	Mucanj	28	A	Crni bor	126,00	51,00	41,00	10,00	6,15			
207	ŠU Ivanjica-Kušići	Mucanj	28	B	Crni bor	0,01	10,00	8,00	2,00	1,23			
208	ŠU Ivanjica-Kušići	Mucanj	28	B	Beli bor	62,00	8,00	6,00	2,00	1,23			
209	ŠU Ivanjica-Kušići	Mucanj	28	C	Bukva	190,00	118,00	103,00	15,00	11,97	Preseka	50,36	avg
210	ŠU Ivanjica-Kušići	Mucanj	28	D	Beli bor	45,00	44,00	35,00	9,00	5,535			
211	ŠU Ivanjica-Kušići	Mucanj	28	F	Smrča	2,00	2,00	1,00	1,00	0,541			
212	ŠU Ivanjica-Kušići	Mucanj	28	G	Bukva	150,00	102,00	89,00	13,00	10,374			
213	ŠU Ivanjica-Kušići	Mucanj	44	A	Crni bor	113,00	115,00	98,00	17,00	10,455			
214	ŠU Ivanjica-Kušići	Mucanj	44	B	Bukva	717,00	431,00	384,00	47,00	37,506			
215	ŠU Ivanjica-Kušići	Mucanj	44	D	Crni bor	53,00	53,00	45,00	8,00	4,92			
216	ŠU Ivanjica-Kušići	Mucanj	44	G	Crni bor	52,00	52,00	44,00	8,00	4,92			
217	ŠU Ivanjica-Kušići	Mucanj	44	H	Smrča	51,00	33,00	28,00	5,00	2,705			
218	ŠU Ivanjica-Kušići	Mucanj	44	I	Smrča	78,00	75,00	64,00	11,00	5,951	Šarenik	94,26	feb-mart
219	ŠU Ivanjica-Kušići	Mucanj	44	I	Ariš	7,00	7,00	6,00	1,00	0,541			
220	ŠU Ivanjica-Kušići	Mucanj	44	J	Bukva	2,00	2,00	2,00		0			
221	ŠU Ivanjica-Kušići	Mucanj	44	J	Smrča	11,00	11,00	9,00	2,00	1,082			
222	ŠU Ivanjica-Kušići	Mucanj	44	J	Crni bor	10,00	10,00	8,00	2,00	1,23			
223	ŠU Ivanjica-Kušići	Mucanj	45	A	Crni bor	284,00	427,00	363,00	64,00	39,36			
224	ŠU Ivanjica-Kušići	Mucanj	45	A	Beli bor	185,00	58,00	49,00	9,00	5,535			
225	ŠU Ivanjica-Kušići	Mucanj	45	B	Bukva	70,00	55,00	47,00	8,00	6,384			
226	ŠU Ivanjica-Kušići	Mucanj	45	E	Crni bor	19,00	20,00	17,00	3,00	1,845	Šarenik	76,43	apr-maj
227	ŠU Ivanjica-Kušići	Mucanj	45	F	Beli bor	17,00	17,00	14,00	3,00	1,845			
228	ŠU Ivanjica-Kušići	Mucanj	45	G	Crni bor	10,00	11,00	9,00	2,00	1,23			
229	ŠU Ivanjica-Kušići	Mucanj	50	C	Bukva	357,00	320,00	272,00	48,00	38,304	Prilike	52,09	jun
230	ŠU Ivanjica-Kušići	Jadarevo-Crvena gora	27	A	Smrča	468,00	144,00	112,00	32,00	17,312			
231	ŠU Ivanjica-Kušići	Jadarevo-Crvena gora	27	B	Crni bor	13,00	12,00	10,00	2,00	1,23			
232	ŠU Ivanjica-Kušići	Jadarevo-Crvena gora	27	C	Grab	13,00	2,00	1,00	1,00	0,828			
233	ŠU Ivanjica-Kušići	Jadarevo-Crvena gora	27	C	Breza	13,00	8,00	7,00	1,00	0,828	Kušići	123,01	avg-okt
234	ŠU Ivanjica-Kušići	Jadarevo-Crvena gora	27	C	Smrča	137,00	40,00	34,00	6,00	3,246			
235	ŠU Ivanjica-Kušići	Jadarevo-Crvena gora	27	D	Bukva	848,00	780,00	695,00	85,00	67,83			
236	ŠU Ivanjica-Kušići	Jadarevo-Crvena gora	32	A	Bukva	278,00	212,00	189,00	23,00	18,354			
237	ŠU Ivanjica-Kušići	Jadarevo-Crvena gora	32	B	Bukva	11,00	6,00	5,00	1,00	0,798			
238	ŠU Ivanjica-Kušići	Jadarevo-Crvena gora	32	B	Crni bor	94,00	66,00	56,00	10,00	6,15	Maskova	37,76	apr-maj
239	ŠU Ivanjica-Kušići	Jadarevo-Crvena gora	32	B	Beli bor	6,00	6,00	5,00	1,00	0,615			
240	ŠU Ivanjica-Kušići	Jadarevo-Crvena gora	32	C	Bukva	1,00	1,00	1,00		0			
241	ŠU Ivanjica-Kušići	Jadarevo-Crvena gora	32	C	Beli bor	34,00	35,00	32,00	3,00	1,845			
242	ŠU Ivanjica-Kušići	Jadarevo-Crvena gora	42	A	Smrča	70,00	80,00	68,00	12,00	6,492	Kušići	8,83	maj

### ПРИЛОГ 3

Процена топлотног конзума стамбеног сектора, у студији случаја, извршена је применом Националне типологије стамбених зграда Србије и података Републичког геодетског завода који су доступни на порталима „Гео-Србија<sup>35</sup>“ и „еКатастар непокретности<sup>36</sup>“.

На основу доступних статистичких података стамбеном сектору, а који се односе на поделу стамбеног сектора према години изградње и броју станова у објектима, затим визуелне анализе стамбеног сектора, као и раније спроведених истраживања у [106] о стању стамбеног сектора, закључено је да објекти припадају типовима зграда које приказане у табели ПЗ.1.

Табела ПЗ.1 Типови стамбених зграда у специфичне потрошње

тип	период изградње	kWh/m <sup>2</sup> /year	класа
A1	pre 1919	263	G
B1	1919-45	242	G
C1	1946-60	251	G
C2	1946-60	244	G
C3	1946-60	227	G
C4	1946-60	182	G
D1	1961-70	252	G
D2	1961-70	359	G
D3	1961-70	172	F
D4	1961-70	159	F
D6	1961-70	118	E
E1	1971-80	327	G
E2	1971-80	132	E
F1	1981-90	339	G
F2	1981-90	218	G
F4	1981-90	127	E
G1	1991-12	240	G
G2	1991-12	159	F

Према броју зграда које су изграђене у одређеном периоду као просечна специфична потрошња усвојена је 190 kWh/m<sup>2</sup>/year

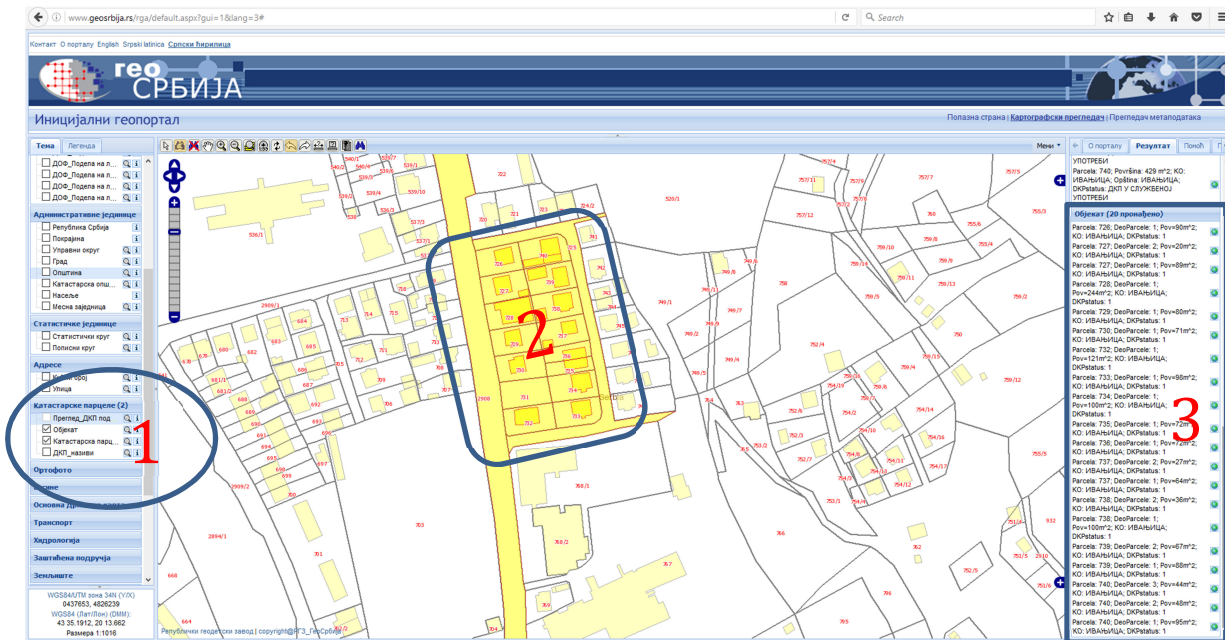
Како би се одредио топлотни конзум, неопходно је и одредити површине грејне површине стамбених објеката на одређеној локацији. Процена грејаних површина стамбених објеката извршена ја коришћењем портала „Гео-Србија“ (слика ПЗ.1). Да би се коришћењем овог портала одредиле површине објеката потребно је урадити следеће:

<sup>35</sup> <http://www.geosrbija.rs/>

<sup>36</sup> <http://katastar.rgz.gov.rs/KnWebPublic/PublicAccess.aspx>

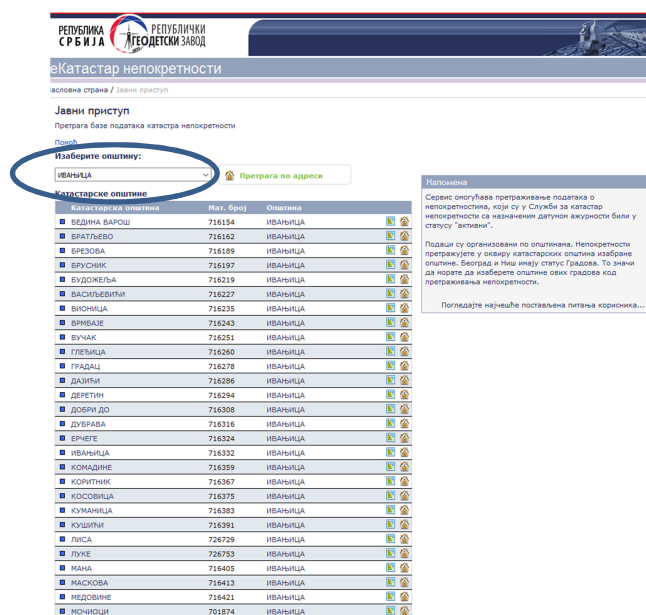


- у менију у оквиру поља „Катастарске парцеле“ означити „Објекат“ и „Катастарска парцела (1);
- селектовати зону у оквиру које се налазе објекти чија се површина тражи (2);
- на десној страни портала у оквиру поља „Резултати“ биће приказани сви објекти који се налазе у датој зони са површинама основе (3)



Слика ПЗ.1 Одређивање грејних површина стамбених објеката

Након генерисања листе објеката, неопходно је исту анализирати. Наиме, нису сви објекти који се налазе на листи стамбени, па је потребно извршити проверу њихове намене. То се врши коришћењем портала „еКатастар непокретности“ (слика ПЗ.2).



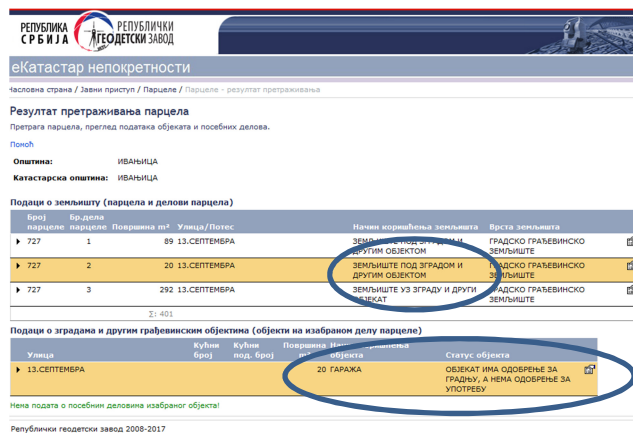
Слика ПЗ.2 Страна портала „еКатастар непокретности“ за одабир општине



На насловној страни портала, потребно је одабрати општину и катастарску општину у оквиру које се налази објекат који се анализира, а затим се у одговарајуће поље уноси број парцеле. Бројеви парцела се могу видети на слици ПЗ.1. Након уноса броја парцеле, добијају се резултати претраживања парцела где се могу пронаћи потребни подаци о објектима (слика ПЗ.3 и ПЗ.4)



Слика ПЗ.3 Страна портала „eКатастар непокретности“ за одабир општине



Слика ПЗ.4 Страна портала „eКатастар непокретности“ за одабир општин

## ПРИЛОГ 4

### S1 NPVQ

```
**** REPORT SUMMARY :           0      NONOPT
                                0 INFEASIBLE
                                0  UNBOUNDED
                                0      ERRORS
```

```
GAMS 24.1.3 r41464 Released Jul 26, 2013 WEX-WEI x86_64/MS Page 8
General Algebraic Modeling System
Execution
```

```
----      678 VARIABLE y.L      kolicina biomase koja je transportovana do
postrojenja
```

[t po god]

bb

lok4 .plant43 325.961

lok11.plant43 29.032

lok27.plant43 305.314

```
----      678 VARIABLE prim4.L      =      0.000
          VARIABLE prim5.L      =     16738.789
          VARIABLE trans4.L      =      0.000
          VARIABLE trans5.L      =      3468.474
          VARIABLE Inv.L         =     503463.173  investicioni troškovi
          VARIABLE ngd.L         =     127441.172  neto godisnja dobit
          VARIABLE NPV.L         =     865197.117  net present value
```

```
----      678 VARIABLE kapacitet_e4.L
          ( ALL      0.000 )
```

```
----      678 VARIABLE kolicina_t4.L
          ( ALL      0.000 )
```

```
----      678 VARIABLE kolicina_t5.L
```

bb

plant43 2087891.509

## S2 NPVQ

```
**** REPORT SUMMARY :           0      NONOPT
                               0      INFEASIBLE
                               0      UNBOUNDED
                               0      ERRORS
```

```
GAMS Rev 235  WEX-VS8 23.5.1 x86/MS Windows
General Algebraic Modeling System
Execution
```

```
----      687 VARIABLE y.L  kolicina biomase koja je transportovana do
postrojenja
```

[t po god]

bb

```
lok4 .plant43      465.927
lok11.plant43      29.032
lok12.plant43      19.141
lok17.plant43      249.166
lok21.plant43      152.272
lok23.plant43      16.495
lok27.plant43      305.314
```

```
----      687 VARIABLE prim4.L      =      0.000
          VARIABLE prim5.L      =      31366.782
          VARIABLE trans4.L      =      0.000
          VARIABLE trans5.L      =      8382.674
          VARIABLE Inv.L      =      939991.380  investicioni troškovi
          VARIABLE ngd.L      =      191100.562  neto godisnja dobit
          VARIABLE NPV.L      =      1112341.847  net present value
```

```
----      687 VARIABLE kapacitet_e4.L
          ( ALL      0.000 )
```

```
----      687 VARIABLE kolicina_t4.L
          ( ALL      0.000 )
```

```
----      687 VARIABLE kolicina_t5.L
          bb
```

```
plant43 3912495.610
```

### S3 NPVQ

```
**** REPORT SUMMARY :           0      NONOPT
                                0 INFEASIBLE
                                0 UNBOUNDED
                                0      ERRORS
```

```
GAMS Rev 235 WEX-VS8 23.5.1 x86/MS Windows
General Algebraic Modeling System
Execution
```

```
---- 738 VARIABLE y.L kolicina biomase koja je transportovana do
postrojenja
```

[t po god]

bb

```
lok4 .plant43      465.927
lok11.plant43      29.032
lok12.plant43      45.635
lok14.plant43      13.734
lok15.plant43      50.012
lok17.plant43      249.166
lok21.plant43      152.272
lok23.plant43      16.495
lok26.plant43      32.477
lok27.plant43      305.314
```

```
---- 738 VARIABLE prim4.L      =      0.000
      VARIABLE prim5.L      =    34477.652
      VARIABLE trans4.L      =      0.000
      VARIABLE trans5.L      =     9873.484
      VARIABLE Inv.L         =  1014358.595  investicioni troškovi
      VARIABLE ngd.L         =   200684.691  neto godisnja dobit
      VARIABLE NPV.L         =  1140903.816  net present value
```

```
---- 738 VARIABLE kapacitet_e4.L
      ( ALL      0.000 )
```

```
---- 738 VARIABLE kolicina_t4.L
      ( ALL      0.000 )
```

```
---- 738 VARIABLE kolicina_t5.L
      bb
```

```
plant43 4300526.110
```

S4 NPVQ

```
**** REPORT SUMMARY :           0      NONOPT
                                0      INFEASIBLE
                                0      UNBOUNDED
                                0      ERRORS
```

GAMS Rev 235 WEX-VS8 23.5.1 x86/MS Windows  
General Algebraic Modeling System  
Execution

---- 749 VARIABLE y.L kolicina biomase koja je transportovana do  
postrojenja

[t po god]

bb

lok1 .plant43	43.855
lok2 .plant43	28.912
lok4 .plant43	465.927
lok6 .plant43	322.563
lok8 .plant43	426.290
lok10.plant43	51.037
lok11.plant43	29.032
lok12.plant43	45.635
lok14.plant43	13.734
lok15.plant43	168.264
lok17.plant43	249.166
lok20.plant43	72.210
lok21.plant43	152.272
lok23.plant43	16.495
lok24.plant43	226.119
lok25.plant43	43.991
lok26.plant43	32.477
lok27.plant43	305.314
lok30.plant43	105.757

```
---- 749 VARIABLE prim4.L      =      0.000
      VARIABLE prim5.L      =    70955.949
      VARIABLE trans4.L     =      0.000
      VARIABLE trans5.L     =    34442.543
      VARIABLE Inv.L        =  1454108.793  investicioni troškovi
      VARIABLE ngd.L        =    314831.768  neto godisnja dobit
      VARIABLE NPV.L        =    1927041.375  net present value
```

```
---- 749 VARIABLE kapacitet_e4.L
      ( ALL      0.000 )
```

---- 749 VARIABLE kolicina\_t4.L  
                  ( ALL          0.000 )

---- 749 VARIABLE kolicina\_t5.L  
                  bb  
plant43 8850600.000

S1 NPV u S1 Y

\*\*\*\* REPORT SUMMARY :           0       NONOPT  
                                  0       INFEASIBLE  
                                  0       UNBOUNDED  
                                  0       ERRORS

GAMS Rev 235 WEX-VS8 23.5.1 x86/MS Windows  
General Algebraic Modeling System  
Execution

----       681 VARIABLE y.L   kolicina biomase koja je transportovana do  
postrojenja

[t po god]

bb

lok4 .plant43       325.961  
lok4 .plant44        64.289  
lok4 .plant57        75.003  
lok11.plant43        29.032  
lok27.plant43       305.314

----       681 VARIABLE prim4.L           =       0.000  
          VARIABLE prim5.L           =    20269.837  
          VARIABLE trans4.L          =       0.000  
          VARIABLE trans5.L          =    4373.013  
          VARIABLE Inv.L            =  724551.537   investicioni troškovi  
          VARIABLE ngd.L            =  171643.821   neto godisnja dobit  
          VARIABLE NPV.L            = 1118825.123   net present value

----       681 VARIABLE kapacitet\_e4.L  
                          ( ALL       0.000 )

----       681 VARIABLE kolicina\_t4.L  
                          ( ALL       0.000 )

----       681 VARIABLE kolicina\_t5.L

bb

plant43 2087891.509  
plant44 203280.792  
plant57 237160.000

S2 NPV u S2 Y

```
**** REPORT SUMMARY :          0      NONOPT
                               0 INFEASIBLE
                               0  UNBOUNDED
                               0      ERRORS
```

GAMS Rev 235 WEX-VS8 23.5.1 x86/MS Windows  
General Algebraic Modeling System  
Execution

---- 687 VARIABLE y.L kolicina biomase koja je transportovana do  
postrojenja

[t po god]

bb

lok4 .plant43	326.636
lok4 .plant44	139.292
lok11.plant43	29.032
lok12.plant43	45.635
lok14.plant43	13.734
lok15.plant43	66.587
lok17.plant43	249.166
lok21.plant43	152.272
lok23.plant43	16.495
lok26.plant43	32.477
lok27.plant43	305.314

----	687 VARIABLE prim4.L	=	0.000	
	VARIABLE prim5.L	=	34897.830	
	VARIABLE trans4.L	=	0.000	
	VARIABLE trans5.L	=	10015.364	
	VARIABLE Inv.L	=	1171109.347	investicioni troškovi
	VARIABLE ngd.L	=	234575.061	neto godisnja dobit
	VARIABLE NPV.L	=	1348120.243	net present value

---- 687 VARIABLE kapacitet\_e4.L  
( ALL 0.000 )

---- 687 VARIABLE kolicina\_t4.L  
( ALL 0.000 )

---- 687 VARIABLE kolicina\_t5.L  
bb

plant43	3912495.610
plant44	440440.790



### S3 NPV

```
**** REPORT SUMMARY :           0      NONOPT
                                0 INFEASIBLE
                                0  UNBOUNDED
                                0      ERRORS
```

```
GAMS Rev 235  WEX-VS8 23.5.1 x86/MS Windows
General Algebraic Modeling System
Execution
```

```
----      739 VARIABLE y.L  kolicina biomase koja je transportovana do
postrojenja
```

[t po god]

bb

lok1 .plant44	43.855
lok2 .plant43	28.912
lok4 .plant44	465.927
lok6 .plant44	322.563
lok8 .plant43	385.347
lok8 .plant44	40.943
lok10.plant44	51.037
lok11.plant43	29.032
lok12.plant44	45.635
lok14.plant44	13.734
lok15.plant44	168.264
lok17.plant43	249.166
lok20.plant43	38.498
lok20.plant44	33.711
lok21.plant43	152.272
lok23.plant43	16.495
lok24.plant43	49.271
lok25.plant44	43.991
lok26.plant44	32.477
lok27.plant43	305.314
lok30.plant43	105.757

```
----      739 VARIABLE prim4.L      =      0.000
            VARIABLE prim5.L      =     66472.870
            VARIABLE trans4.L     =      0.000
            VARIABLE trans5.L     =     30137.297
            VARIABLE Inv.L        =    2244964.354  investicioni troškovi
            VARIABLE ngd.L        =     320632.427  neto godisnja dobit
            VARIABLE NPV.L        =    1198482.255  net present value
```

---- 739 VARIABLE kapacitet\_e4.L  
                  ( ALL           0.000 )

---- 739 VARIABLE kolicina\_t4.L  
                  ( ALL           0.000 )

---- 739 VARIABLE kolicina\_t5.L  
                  bb

plant43 4300526.110

plant44 3990882.740

S4 NPV u S4 Y

\*\*\*\* REPORT SUMMARY :           0       NONOPT  
                                  0       INFEASIBLE  
                                  0       UNBOUNDED  
                                  0       ERRORS

GAMS Rev 235 WEX-VS8 23.5.1 x86/MS Windows  
G e n e r a l   A l g e b r a i c   M o d e l i n g   S y s t e m  
E x e c u t i o n

----       749 VARIABLE y.L   kolicina biomase koja je transportovana do  
postrojenja

		[t po god]
	bb	orc
lok1 .plant44		43.855
lok2 .plant43	28.912	
lok3 .plant44		1075.745
lok4 .plant44		465.927
lok5 .plant44		254.736
lok6 .plant44		322.563
lok7 .plant44		524.327
lok8 .plant44		426.290
lok9 .plant43	94.477	
lok9 .plant44		847.489
lok10.plant44		51.037
lok11.plant43	29.032	
lok12.plant44		45.635
lok13.plant44		1639.653
lok14.plant44		13.734
lok15.plant44		168.264
lok16.plant44		350.841
lok17.plant43	249.166	
lok18.plant43	16.641	
lok18.plant44		8.778
lok19.plant44		326.857
lok20.plant44		72.210
lok21.plant43	152.272	
lok22.plant43	162.653	
lok23.plant43	16.495	
lok24.plant43	519.935	
lok25.plant44		43.991
lok26.plant44		32.477
lok27.plant43	305.314	
lok28.plant43	89.841	
lok28.plant44		245.265

```

lok29.plant44          40.834
lok30.plant43      105.757

----  749 VARIABLE prim4.L      = 177462.931
      VARIABLE prim5.L      = 44882.042
      VARIABLE trans4.L     = 170088.029
      VARIABLE trans5.L     = 25771.873
      VARIABLE Inv.L        = 6991429.946  investicioni troškovi
      VARIABLE ngd.L        = 1140515.992  neto godisnja dobit
      VARIABLE NPV.L        = 5257193.700  net present value

----  749 VARIABLE kapacitet_e4.L
      orc
plant44 4284312.174

----  749 VARIABLE kolicina_t4.L
      orc
plant44 1.904139E+7

----  749 VARIABLE kolicina_t5.L
      bb
plant43 5598304.384

```

### S3Y

```
**** REPORT SUMMARY :           0      NONOPT
                                0 INFEASIBLE
                                0  UNBOUNDED
                                0       ERRORS
```

```
GAMS Rev 235  WEX-VS8 23.5.1 x86/MS Windows
General Algebraic Modeling System
Execution
```

```
----      739 VARIABLE y.L  kolicina biomase koja je transportovana do
postrojenja
```

[t po god]

bb

lok1 .plant44	43.855
lok2 .plant43	28.912
lok4 .plant44	465.927
lok6 .plant44	322.563
lok8 .plant43	334.219
lok8 .plant44	92.071
lok10.plant44	51.037
lok11.plant43	29.032
lok12.plant43	45.635
lok14.plant44	13.734
lok15.plant44	168.264
lok17.plant43	48.471
lok17.plant45	200.695
lok20.plant44	72.209
lok21.plant43	152.272
lok22.plant43	35.345
lok23.plant43	16.495
lok24.plant43	519.935
lok25.plant43	43.991
lok26.plant44	32.477
lok27.plant45	305.314
lok30.plant43	105.757

```
----      739 VARIABLE prim4.L      =          0.000
              VARIABLE prim5.L      =       79300.194
              VARIABLE trans4.L      =          0.000
              VARIABLE trans5.L      =       39963.822
              VARIABLE Inv.L          =  2816363.554  investicioni troškovi
              VARIABLE ngd.L          =  338953.515  neto godisnja dobit
              VARIABLE NPV.L          =   823843.221  net present value
```

---- 739 VARIABLE kapacitet\_e4.L  
                  ( ALL          0.000 )

---- 739 VARIABLE kolicina\_t4.L  
                  ( ALL          0.000 )

---- 739 VARIABLE kolicina\_t5.L  
                  bb

plant43 4300526.110

plant44 3990882.740

plant45 1600000.000