

Одрживост производње енергије из биомасе

Срђан Васковић, Петар Гверо

Сажетак. *Последњих година свједоци смо изузетног интересовања за производњу енергије из обновљивих извора енергије, као и низа мјера енергетске ефикасности које се проводе у циљу смањења коришћења фосилних горива. Свакако, то води директно или индиректно заштити животне средине и смањењу емисија штетних гасова. Међутим, уколико не постоје систематски и плански приступи коришћењу обновљивих извора енергије и мјера повећања енергетске ефикасности, може доћи до турбулентних појава, попут несташице биомасе као горива, кашњења у испорукама енергије, нарушавања нормалних формирања тржишних цијена енергије и енергената. Одрживост коришћења биомасе у енергетске сврхе произилази из опште дефиниције одрживости, а тиче се друштвене, еколошке, енергетско-ресурсне и економске одрживости. Из потребе за задовољењем већине сегмената одрживости настао је и процес вишекритеријумске оптимизације. У овом поглављу дат је преглед различитих ланаца снабдијевања дрвном биомасом, технологија и њихова оптимизација за услове који одговарају Републици Српској. Приступ моделирања ланаца снабдијевања биомасом, њихова оптимизација, логистика, статистички подаци у биоенергетском сектору, детектовање реалних потенцијала биомасе, процјене потреба за горивима од биомасе,*

Цитирање: Васковић С, Гверо П (2023) Одрживост производње енергије из биомасе. У: Тркуља В, Говедар З, Пржуљ Н (уредници) Управљање ресурсима у производњи и преради биомасе. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LII:559–579

Cite as: Vasković S, Gvero P (2023) Sustainability of energy production from biomass. In: Trkulja V, Govedar Z, Pržulj N (eds) Resource management in biomass production and processing. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LII:559–579

отварање нових радних мјеста у овом сектору и стратешко планирање, требали би бити пут одрживог коришћења овог ресурса. То је уједно и пут који треба да почне слиједити Република Српска када је у питању биомаса као енергент.

Кључне ријечи: *Одрживост, логистика, ланци снабдијевања биомасом, критеријуми, оптимизација, стратешко планирање*

12.1. Увод

Снабдијевање и управљање биомасом као ресурсом организовано је ланцима снабдијевања. *Ланац снабдијевања*, у принципу, садржи неколико процеса, као што су: припрема земљишта, засађивање, култивација, пошумљавање, сјеча, придобијање биомасе, складиштење, шумски и цестовни транспорт, прерада биомасе у одговарајуће гориво и евентуално поновни транспорт до крајњих корисника или енергетских постројења (Rentizelas 2013). У свим тим процесима улажу се одређена средства, било да се ради о раду људи, трошковима машина, горива, енергије итд. Треба напоменути да тачна структура ланца снабдијевања биомасом зависи од врсте и карактеристика биомасе, технологије која се користи за производњу енергије и самог дизајна снабдјевачког система. Успјешно управљање ланцима снабдијевања биомасом од кључног је значаја за успјешно коришћење биомасе у енергетске сврхе. Да би се то постигло, потребно је познавати одређене индикаторе који описују ланце снабдијевања биомасом. На Сл. 12.1. дата је проста шема конвенционалног снабдјевачког ланца са шумском биомасом, која почиње од шумског ресурса, преко сјече, процесуирања, транспорта, до испоруке готових производа и горива крајњим корисницима.



Сл. 12.1. Проста шема снабдјевачког ланца са шумском биомасом (Mahmoudi et al. 2009)

Fig. 12.1. A simple scheme of supply chain with forest biomass (Mahmoudi et al. 2009)

У зависности од опште подјеле биомасе, разликују се и различити ланци снабдијевања биомасом за производњу енергије и горива. Тако је на Сл. 12.2. шематски приказан ланац снабдијевања остацима биомасе из пољопривреде.



Сл. 12.2. Приказ различитих корака укључених у ланац снабдијевања пољопривредном биомасом (Singhvi and Gokhale 2019)

Fig.12.2. Chart of various steps involved in a agriculture biomass supply chain (Singhvi and Gokhale 2019)

На сличан начин могуће је организовати и ланац снабдијевања биомасом намјенски узгојеном за производњу горива од енергетских биљака. За разлику од појма *ланац снабдијевања* као једноставнијег термина, појам *енергетског ланца* уско је дефинисан као путања енергетских трансформација од извора горива (нпр. биомасе), па све до крајњих корисника (Hamamatsu et al. 2004). Начин на који се искоришћава енергија из одговарајућег енергента, полазећи од технологије за прикупљање енергента, па све до система за производњу енергије или енергената (системи за трансформацију енергије из једног облика у други), представља енергетски

ланац. На Сл. 12.3. приказани су различити ланци снабдијевања и то од мјеста настанка енергије (тзв. примарне енергије), па до крајњих корисника.



Сл. 12.3. Различити енергетски ланци снабдијевања (Subramanian et al. 2018)
Fig. 12.3. Different energy supply chains (Subramanian et al. 2018)

Уочљиво је да снабдијевање енергијом из биомасе представља један од ланаца снабдијевања енергијом у посматраном енергетском систему. Производња чврстих енергената из дрвне биомасе дефинисана је одговарајућим енергетским ланцем. У различитим условима у којима се производе енергенти од дрвне биомасе, појављују се и различити производни трошкови ових енергената. Међутим, није само довољно говорити о производном трошку појединих енергената из дрвне биомасе, већ је потребно сагледати и неке друге аспекте процеса производње енергената, као што су: енергетска ефикасност процеса, утрошак фосилних горива, емисија CO₂ и инвестициони трошак у енергетски ланац производње.

Истраживања структура енергетских ланаца за производњу енергената и енергије из биомасе релативно су новијег датума. Углавном повећани интерес за ова истраживања појавио се са глобалним изазовима, као што су: процес глобалног загријавања, поскупљење цијена горива због смањења резерви фосилних горива, тежња за смањењем зависности од снабдијевања фосилним горивима уз коришћење домаћег ресурса биомасе, загађивање животне средине, итд. Из тих разлога логистика и планирање снабдјевачких ланаца са биомасом има велики значај у успјеху коришћења биомасе у енергетске сврхе. Када се у процес организовања логистике снабдијевања биомасом укључе у обзир операциона истраживања, процес оптимизације и стратешко планирање, увелико се доприноси одрживом процесу искоришћавања биомасе као енергента.

12.2. Појам одрживог развоја

Одрживи развој дефинисан је као економски развој базиран на уравнотеженом искоришћавању ресурса из животне средине и интергенерацијској једнакости у смислу појединца. Према Roosa (2008), кључне елементе одрживог развоја чине:

- економски развој уз поштовање принципа заштите животне средине,
- ефикасно коришћење природних ресурса,
- оквирни програм који дозвољава побољшање услова живота људи уз подједнаке шансе за садашње и будуће генерације,
- контролисан развој руралних и урбаних подручја.

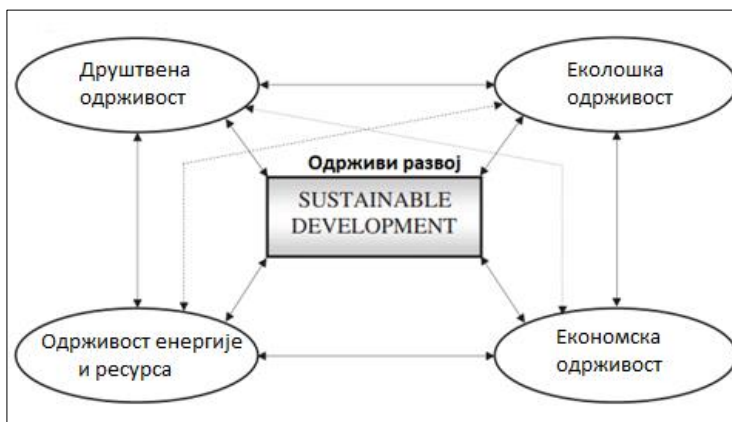
Начин коришћења ресурса којима се задовољавају данашње потребе људи без угрожавања потреба будућих генерација представља дефиницију одрживог развоја коју је 1987. године дала Gro Harlem Brundtland (WCED 1987). Из тог разлога појам одрживости зависиће искључиво од одговорности појединца, а сам резултат тога биће глобалног карактера. Зато би сваки појединац требало да буде припремљен и подучен да постане дио тог одрживог система управљања ресурсима.

Енергија је кључни фактор у свим расправама о економским, социјалним и еколошким димензијама одрживог развоја (Dincer 1999). Она је кључна компонента развоја друштва. Када је у питању одрживост у вези са употребом енергије, она се односи на:

- способност обезбјеђивања енергије са минимизирањем негативних утицаја на животну средину,

- разумну и рационалну потрошњу енергије,
- обезбјеђење употребе обновљивих извора енергије,
- редуковање потребе за енергијом из необновљивих извора,
- праведну расподелу енергетских ресурса (Roosa 2008).

Одрживи развој не представља само енергетско и питање заштите животне средине, већ и равнотежу између развојних економских фактора, животне средине и друштвене једнакости као кључа одрживог развоја (Сл. 12.4).



Сл. 12.4. Фактори који утичу на одрживи развој и њихова међузависност (Dincer and Rosen 2005)

Fig. 12.4. Factors affecting to sustainable development and their interdependencies (Dincer and Rosen 2005)

Одрживи глобални потенцијал биомасе широко је препознатљив. Да би се уопште говорило о одрживом коришћењу биомасе као енергента потребно је имати развијено тржиште биомасе. Кључну улогу у развоју овог тржишта играју подршка државе и локалних власти у региону у коме се оно жели успоставити.

12.3. Одрживи развој и вишекритеријумска оптимизација

Концепт оптимизације донедавно се у пракси заснивао најчешће на економској основи, често занемарујући при томе све друге посљедице таквог рјешења. Сматрало се да повећање финансијске добити води напретку и општем благостању у друштву, али и задовољењу свих човјекских потреба. Пропратни ефекти таквог концепта, као што су погоршање квалитета ваздуха и воде, те загађење животне средине

уопште, лоши социјални утицаји и слично, неспорно показују на погрешну утемељеност таквог модела. Стога је створен нови и данас владајући концепт тзв. *одрживог развоја*, тј. таквог развоја који је у складу са животном средином, одговарајући савременим техничким стандардима, економски и друштвено прихватљив са стајалишта социјалних поремећаја које може произвести. Дакле, такав приступ омогућава испуњење потреба данашње генерације, без нарушавања могућности сљедећим генерацијама да и оне задовоље своје потребе. Стога је створена потреба за тражењем оптималног рјешења по више критеријума, иницирајући на тај начин појаву једне нове гране у области оптимизације односно оптималног одлучивања – *вишекритеријумске оптимизације* (ВКО), као алата за помоћ у процесу вишекритеријумског одлучивања. У САД вишекритеријумска анализа често се назива и вишекритеријумско одлучивање (*Multicriteria Decision Making, MCDM*), а у Европи *Multicriteria Decision Aid (MCDA)* (Vučićak 2007, 2009).

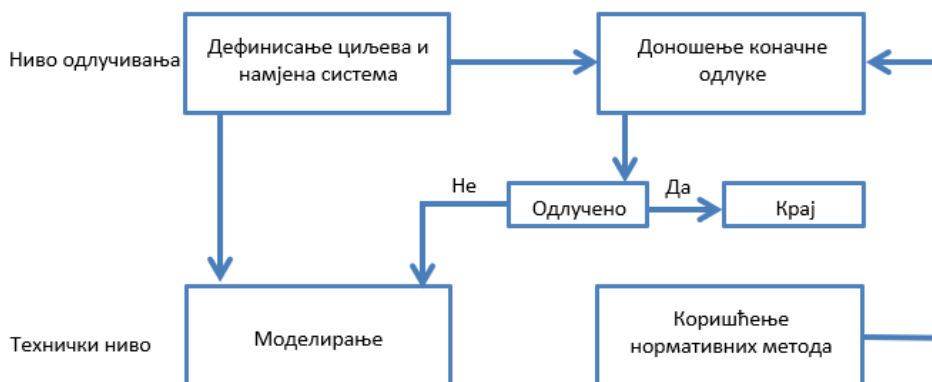
Вишекритеријумска оптимизација је сложен процес долажења до рјешења и одвија се у више фаза и на више нивоа одлучивања. Вишекритеријумска оптимизација само је један дио процеса који се зове вишекритеријумско одлучивање и који у себи обједињује и социолошке, психолошке или физичке елементе. На Сл. 12.5. шематски је приказан општи процес оптимизације са основним корацима или фазама у оптимизацији (Opricović 1998; Vučićak 2007):

- дефинисање/избор циљева и намјена система и идентификација начина постизања жељених циљева – примјери таквих циљева су привредни развој, употреба природних ресурса, изградња или очување животне средине,
- формални (математички) опис система и дефинисање начина вредновања критеријумских функција – овај корак подразумијева избор мјерљивих вриједности успјешности постизања претходно одабраних циљева, као што су број радних мјеста, постотак земљишта у подручју које је пошумљено и сл.,
- коришћење постојећих нормативних метода – избор и употреба одговарајуће методе оптимизације у ужем смислу,
- усвајање коначног рјешења или доношење коначне одлуке,
- уколико коначно рјешење није усвојено, потребно је средити нове информације и поновити поступак од другог (некад чак и првог) корака поновним дефинисањем задатка.

На нивоу одлучивању кључну улогу има *доносилац одлуке (Decision maker, DM)*. У сложеним системима доносилац одлуке често није једна особа, већ

је то скуп особа, са специфичним структурама скупа. У таквим случајевима технички ниво треба да предложи доносиоцу одлуке скуп добрих одлука (алтернативних рјешења), водећи рачуна о томе да олакша доношење коначне одлуке, што значи да предложена рјешења треба да су јасно, кратко и прецизно образложена и да њихов број буде релативно мали (Opricović 1998).

Свакако, општи закључак је да одржива примјена биомасе као енергетског ресурса захтијева мултидисциплинарни приступ у рјешавању овог питања. У наставку тексту биће елаборирана веза између биомасе и општих критеријума којима се описује процес производње енергије из овог ресурса.



Сл. 12.5. Шематски приказ процеса оптимизације (Opricović 1998)

Fig. 12.5. Schematics of the optimization process (Opricović 1998)

12.4. Критеријуми оптимизације ланца снабдијевања енергијом из биомасе

Коришћење биомасе за производњу горива и енергије зависи од много фактора. Првенствено, биомаса је расута и мора се прикупљати и прерађивати у гориво. На примјер, за сјечење, сакупљање и транспорт биомасе из шуме, као и њен транспорт до фабрике за прераду, потребно је ангажовати различиту механизацију (моторне тестере, тракторе, транспортере, камионе, технологије за мљевање и дробљење, сушење, пресовање, итд.). То се манифестује одговарајућим утрошком енергије. Свака операција у прикупљању, обради и транспорту биомасе захтијева

одређену потрошњу енергије и трошкове. Потрошња горива у процесу снабдијевања биомасом обично је фосилног поријекла. То стога носи са собом штетне емисије CO₂ које се појављују при прикупљању и преради биомасе. Мора се имати на уму да CO₂ по свом квантитету има најзначајнији ефекат на повећање глобалног загријавања на Земљи.

Једна од главних употреба шумске биомасе је у *системима даљинског грјања (District Heating System, DHS)* за производњу топлоте. У овом систему централно постројење производи топлотну енергију и дистрибуира у облику топле воде или паре према групи потрошача у заједници (Glimour and Warren 2007). Значајан фактор трошкова у производњи енергије из шумске биомасе је трошак за опрему технологије за конверзију енергије из једног облика у други. Трошкови куповине опреме, инсталације, предтретмана биомасе, руковања и одржавања, као и рада људи се разликују за различите врсте коришћених техничких рјешења.

Технологије конверзије биомасе у енергију разликују се у смислу ефикасности чиме се диктира количина потребне биомасе, а самим тиме утиче и на повећање или смањење трошкова превоза. Избор технологије конверзије енергије једна је од стратешких одлука које могу да се ураде током дефинисања ланца снабдијевања енергијом. На примјер, одлуке када је у питању коришћење биомасе, могу бити доношене да ли користити ко-генерацијске системе или појединачну производњу топлоте или електричне енергије (Löfstedt 1996), или се одлуке могу заснивати на избору технологије различитих технологија сагоријевања, као што су сагоријевање на решетки (*Grate Firing Combustion, GFC*), сагоријевање у флуидизованом слоју (*Fluidised Bed Combustion, FBC*), гасификација у флуидизованом слоју (*Fluidised Bed Gasification, FBG*) и брза пиролиза (*Fast Pyrolysis, FP*) (Frombo et al. 2009).

Свака машина за сјечење, ситњење и превоз, као и постројења за производњу биогорива и енергије, захтијевају одређене инвестиционе трошкове. Из тог разлога, да би се могла изабрати оптимална варијанта производње горива и енергије из биомасе, неопходно је примијенити вишекритеријумски метод оптимизације. Прије избора оптималне варијанте производње енергије из биомасе, неопходно је развити приступ рјешавању овог проблема и математички модел који дефинише и израчунава критеријуме оптимизације. Дефинисаним критеријумима описује се цјелокупни енергетски ланац на бази биомасе. Из тог разлога, неопходно је правилно одабрати довољан скуп критеријума помоћу којих би се дала што боља процјена вриједности енергетског ланца. На основу резултата досадашњих истраживања у овој области Vasković et al. (2015) и Vasković

(2016) предлажу следећу групу критеријума помоћу којих се дефинише опис и оцена квалитета енергетских ланаца базираних на биомаси:

- енергетска ефикасност посматраног ланца,
- ексергетска ефикасност ланца,
- коефицијент ексергетског квалитета за различите продукте енергетских ланаца у оптимизацији,
- специфични инвестициони трошкови по укупно инсталисаној снази свих машина и постројења у енергетском ланцу (€/kW),
- специфични трошкови производње енергије у ланцу сведени по 1 kWh доње топлотне моћи произведених биогорива или енергије (€/kWh),
- емисија CO₂ у укупном ланцу усљед потрошње фосилних горива за добијање 1 kWh доње топлотне моћи произведеног биогорива или енергије (kg/kWh).

Наравно, могуће је усвојити још критеријума у процесу оптимизације енергетских ланаца базираних на биомаси. Претходним пописом критеријума, садржани су они најбитнији у процесу одлучивања око квалитета ланца снабдијевања енергијом и енергентима из биомасе. Такође, на Сл. 12.4. види се да из постојећег пописа критеријума постоје заступљени критеријуми из фактора одрживости који се односе на еколошке факторе, економске факторе и енергетске факторе. У еколошке факторе одрживости спада емисија CO₂, односно њена минимизација у процесу оптимизације. У економске факторе одрживости спадају специфични инвестициони трошак у ланцу снабдијевања и специфични производни трошак ланца снабдијевања. Наравно, и ови фактори иду према њиховој минимизацији у процесу оптимизације ланца снабдијевања. У енергетске факторе одрживости спадају: енергетска ефикасност, ексергетска ефикасност и коефицијент ексергетског квалитета. У процесу оптимизације ланца снабдијевања ови фактори се максимизују, да би се максимално извукла добит од енергетског ланца у енергетском смислу. Што се тиче социјалне одрживости, у том смислу треба говорити о потенцијалном броју радних мјеста које активирају ланци снабдијевања биомасом, који нису узети у обзир у овом материјалу. У економско-социјалне аспекте коришћења биомасе још спадају: допринос регионалној и локалној економској, техничкој и друштвеној активности, стварање додатне вриједности, кружење и задржавање новца у држави, односно у локалној заједници, повећање инвестиција, зараде и прикупљање средстава кроз накнаде за коришћење природних ресурса, развој руралних подручја, енергетска сигурност, отварање нових радних мјеста, рекултивација

земљишта. Процјена потенцијала биомасе јако је битан фактор у одрживом планирању коришћења биомасе, дугорочно посматрано.

12.5. Преглед основних параметара и оптимизација ланца снабдијевања дрвном биомасом у Републици Српској

У оквиру примјера избора оптималне варијанте снабдијевања дрвним горивом Vasković et al. (2015) и Vasković (2016) користили су у анализи три ланца снабдијевања дрвном биомасом: производња дрвне сјечке на терминалу (варијанта 1), производња пелета (варијанта 2) и производња сјечке мобилним иверачем у шуми (варијанта 3). За унос реалног стања производње ових горива коришћени су подаци из неколико пилана и предузећа у Републици Српској, и то: 1) Предузеће за израду амбалаже од дрвета и производњу еко брикета-пелета, „EU PAL“ д.о.о. Пале, 2) пилана „ГОД“ д.о.о. Хан Пијесак, 3) пилана „МТК ОМОРИКА“ д.о.о. Хан Пијесак, и 4) предузеће за транспорт дрвне грађе и сортимената „KINGDOM“ д.о.о. Хан Пијесак. За потрошњу и спецификације шумске механизације укључене у процес производње дрвних горива коришћени су резултати студије из литературе (Крајнс 2013). Подаци о иверању на терминалу и његов капацитет за производњу дрвног чипса узети су као једно од понуђених технолошких рјешења за снабдијевање дрвним ивером топлане у граду Приједору. Цијене дрвног отпада и биомасе су варијабилне и зависе од много фактора. У овом прорачуну узете су тренутне вриједности цијена дрвног остатка са пилана из Хан Пијеска. Попис неких основних улазних података у прорачун, према Vasković et al. (2016), дат је за:

- цијене фосилних горива: нафта, бензин 1 EUR/l за приближно актуелне цијене у Републици Српској;
- полазна влажност остатка дрвне биомасе: 50%;
- влажност пелета: 12 %;
- цијена дрвног остатка 40 EUR/м³ или 0,0563 EUR/kWh;
- доња топлотна моћ за суво дрво 19,49 MJ/kg;
- тип биомасе: дрво, јела;
- цијена електричне енергије: 0,09 EUR/kWh;
- дневница радника 15 EUR;
- дневница возача камиона 25 EUR.

У Таб. 12.1. дат је преглед најзначајнијих услова коришћених при избору оптималне варијанте снабдијевања дрвним горивом и карактеристичних

израчунавања везаних за поменуте ланце снабдијевања дрвним горивима од биомасе (оптимизациона матрица), Таб. 12.2.

Таб. 12.1. Основни подаци о анализираним ланцима снабдијевања дрвним горивима (Vasković 2016)

Table 12.1. Basic data on the analyzed wood fuel supply chains (Vasković 2016)

Опис ланца производње	Производња дрвног ивера на терминалу	Производња пелета	Производња дрвног ивера мобилним иверачем
Влажност дрвног горива	50%	12%	50%
Дрво	јела	јела	јела
Ангажована механизација и учесници у ланцу снабдијевања	Моторна тестера, трактор, дизалица, камион, пила, виљушкар, постројење за производњу дрвног ивера	Моторна тестера, трактор, дизалица, камион, виљушкар, сушара, постројење за пелетирање	Моторна тестера, скидер, мобилни иверач, камион за транспорт дрвног ивера
Транспортне дистанце	Превоз трупаца 60 км + превоз окорака 30 км = 90 км транспорта до готовог производа	Превоз трупаца км + превоз окорака 30 км = 90 км транспорта до готовог производа	Рад у шуми кратке дистанце до 1 км + 90 км транспорта дрвног ивера камионом

Таб. 12.2. Оптимизациона матрица ланца снабдијевања дрвним биогоривима (Vasković 2016; Vasković et al. 2018)

Table 12.2. Optimization matrix of wood biomass supply chains (Vasković 2016; Vasković et al. 2018)

Тип ланца	Производња дрвног ивера на терминалу	Производња пелета	Производња дрвног ивера мобилним иверачем
Енергетска ефикасност	0,94	0,68	0,97
Специфични инвестициони трошак у енергетски ланац EUR/kW	5.329×10^3	5.263×10^3	2.347×10^3
Специфични производни трошак EUR/kWh	17.248×10^{-3}	22.37×10^{-3}	12.867×10^{-3}
Специфична емисија CO ₂ кг/kWh	12.365×10^{-3}	51.695×10^{-3}	4.342×10^{-3}

Оптимизациона матрица која је коришћена у оптимизацији претходно наведена три ланца снабдијевања биогоривима, састоји се од четири критеријума за сваки од анализираних енергетских ланаца. То су: енергетска ефикасност ланца производње, специфични инвестициони трошак 1 kW инсталисане снаге у ланцу, специфични производни трошак по 1 kWh произведеног горива и специфична емисија CO₂ у kg/kWh, Таб. 12.2. Види се да се у овом процесу оптимизације користе само четири критеријума и у складу са чињеницом да се ради само о једној енергетској форми, биогориву.

Приликом примјене ВИКОР методе на избор оптималног ланца снабдијевања дрвним горивом на оптимизациону матрицу у Таб. 12.2, добијено је да је оптимално рјешење ланац снабдијевања дрвним горивом уз помоћ мобилног иверача, који има и потребну стабилност рјешења и довољну предност у односу на другорангирану варијанту која је производња дрвне сјечке на терминалу. Производња дрвне сјечке на терминалу за нијансу је лошија по критеријуму енергетске ефикасности у односу на производњу дрвне сјечке уз помоћ мобилних иверача. Међутим, по свим другим критеријумима значајно је лошија од опције мобилног иверача. Свакако, производња дрвне сјечке на терминалу има смисла када постоји потреба за великим количинама овог горива. Трећерангирана варијанта у овој анализи је производња дрвног пелета која је најлошија по свим оптимизационим критеријумима. Производња пелета има смисла када се то гориво транспортује за снабдијевање удаљених енергетских постројења да би се смањили трошкови транспорта.

Према усвојеним улазним подацима израчунате цијене тоне дрвне сјечке произведене на терминалу, цијена тоне пелета и цијена дрвне сјечке добијене уз помоћ мобилног иверача дате су у Таб. 12.3.

Таб. 12.3. Цијене горива добијених од дрвне биомасе (Vasković 2016)

Table 12.3. Prices of solid wood biomass fuels per tone (Vasković 2016)

Цијена произведене тоне горива €/т		
Терминал, сјечка 40,8	Пелет постројење 104,7	Мобилни иверач 30,5

У суштини, најзначајнији дио у процесу производње енергије из биомасе је ланац снабдијевања и производње горива од биомасе. Због чињенице да постоје различите могућности за компоновање енергетских ланаца снабдијевања горивима и начини производње енергије из биомасе, неопходно је направити јединствен математички приступ овом проблему и

направити моделирање свих елемената од ланаца снабдијевања дефинисаних по претходно усвојеном концепту критеријума.

12.6. Избор оптималне СНР технологије за услове снабдијевања дрвним горивом у облику сјечке у Републици Српској

Што се тиче избора оптималне технологије за комбиновану производњу топлотне и електричне енергије (СНР) (*Combined Heat and Power, CHP*), у докторској дисертацији (Vasković 2016) извршена је компарација три различите СНР технологије, и то: 1) комбиновано постројење са органским Ранкиновим процесом (*Organic Rankine Cycle, ORC*); 2) постројење са гасификацијом и гасним мотором, и 3) постројење са парном турбином. Оптимална варијанта СНР производње одређена је помоћу методе ВИКОР.

Као улазни податак за избор оптималне варијанте СНР производње узета је претходно изабрана варијанта снабдијевања дрвним ивером уз помоћ мобилног иверача, која је добијена као оптимална у процесу оптимизације ланаца снабдијевања горивима из дрвне биомасе. Сви параметри који дефинишу овај енергетски ланац искоришћени су у прорачуну критеријума за избор оптималне варијанте комбиноване производње топлотне и електричне енергије. Подаци о анализираним СНР технологијама узети су из документације за инсталацију ових система у градској топлани Приједор (Grontmij AB, Финални извјештај: Топлана Приједор – Студија изводљивости, број уговора: EBDR C27868/SWME-2013-09-02, финансирао Шведска агенција за међународни развој (Sida), мај 2014). Такође, низ података је добијен у директној комуникацији са запосленима у Топлани. У Таб. 12.4. дат је преглед добијених основних карактеристика ових технологија.

Према примјени методе ВИКОР на оптимизацију СНР технологија из Таб. 12.4. изабрана је варијанта са ORC процесом као оптимална јер је, према подацима у оптимизационој матрици из Таб. 12.4, она најбоље рангирана од свих варијанти. После ORC процеса слиједи другорангирана варијанта са процесом гасификације и гасним мотором и на крају техничко рјешење са парном турбином. Што се тиче провјере стабилности ORC процеса као оптималног рјешења, тај услов је задовољен. Међутим, предност варијанте са ORC процесом није задовољена у односу на праг предности. Општи закључак је да би за коначан суд о избору оптималне СНР технологије требало увести додатни критеријум оптимизације у погледу радног вијека поменутих постројења, након чега би имали и стабилно и прихватљиво рјешење овог процеса оптимизације.

Таб. 12.4. Основне карактеристике примјене СНР производње енергије из биомасе у Републици Српској (Vasković 2016)

Table 12.4. Basic characteristics of CHP application for energy production from biomass in the Republic of Srpska (Vasković 2016)

Критеријуми за избор оптималне варијанте комбиноване производње топлотне и електричне енергије			
Тип СНР производње	ОРС процес	Процес гасификације и гасни мотор	Парна турбина
Енергетска ефикасност ланца	0,743	0,61	0,726
Ексергетска ефикасност ланца	0,223	0,278	0,178
Коефицијент ексергетског квалитета	0,385	0,534	0,365
Специфични инвестициони трошак по укупно инсталисаној снази у енергетском ланцу EUR/kW	3,149 x 10 ³	3,403 x 10 ³	3,317 x 10 ³
Специфични производни трошак EUR/kWh	0,044	0,038	0,047
Специфична емисија CO ₂ кг/kWh	0,015	0,013	0,016

Још једна од битних ставки коју треба нагласити је та да су ексергетска и енергетска ефикасност производње дрвних горива (дрвног ивера) приближно једнаке и узете су у обзир у прорачуну за варијанту снабдијевања дрвном сјечком уз помоћ мобилног иверача. Вредновање квалитета топлоте у моделу развијеном у наведеној докторској дисертацији дефинисано је уз помоћ ексергетске анализе за усвојену референтну температуру околине (T_0) једнаку за све анализиране случајеве (Vasković et al. 2017). Вриједности прорачунатих критеријума у Таб. 12.4. односе се на комплетан енергетски ланац од шуме до постројења. Такође, осврћући се на вриједност специфичног производног трошка једног киловат-часа комбиноване производње, то је збирни производни трошак истовремено испоручене електричне и топлотне енергије у одређеном омјеру из постројења. Производни трошак саме електричне енергије далеко је виши уколико се топлотна енергија не искоришћава. Усвојени коефицијент ексергетског квалитета омогућује упоређивање различитих енергетских форми, било да се ради о горивима, електричној или топлотној енергији, односно квалитету ексергије различитих енергетских ланца снабдијевања (Vasković 2016).

12.7. Закључак

Биомаса има перспективу коришћења, посебно у области производње топлотне енергије на подручјима која обилују са дрвним остатком. Такође, остатак од шумске биомасе након сјечења или остатак настао у преради у дрвној индустрији може бити искоришћен за производњу дрвних горива као што су дрвна сјечка, брикет или пелет. Перспектива коришћења дрвне биомасе за производњу ових горива искључиво зависи од доступне количине дрвног остатка и организовања ланаца снабдијевања. Могуће је коришћење остатка од сјече шума у прописаним количинама од укупног остатка од сјече насталог у шуми. Изношење одређене количине остатка од сјече из шуме могуће је искористити за производњу дрвне сјечке. То је једини начин одрживог коришћења шумског дрвног остатка јер се на тај начин не нарушава ланац хранљивих материја које требају остати у шуми и које се требају вратити у циклус исхране стабала. Постоје и методе враћања пепела у шуму, насталог у процесу сагоријевања биомасе, којим се надокнађују хранљиве материје. Дакле, одрживи начини коришћења шумске дрвне биомасе су: коришћење дрвног остатка од прераде дрвета и допуштено изношење остатка од сјече из шуме. Када се те количине дрвног остатка и остатка од сјече искористе, потребно је размишљати и о неким другим изворима биомасе, као што су енергетски засади. Никако не треба размишљати о повећању количина искориштавања дрвне биомасе изван претходно наведених одрживих капацитета.

Биомаса у пољопривреди обухвата остатке годишњих усјева (остатке који остају на пољу послије жетве), а сачињени су од различитих дијелова биљака (стабљике, гране, листови, пљева и коштице). То су врло корисни извори енергије који су за сада у Републици Српској и БиХ прилично занемарени. Ови остаци могу се користити за производњу енергије, а могу се подијелити на остатке из сљедећих категорија:

- остаци из ратарства и повртарства – остаци након жетве;
- остаци из сточарства – стајски отпад (стајњак);
- остаци из вишегодишњих засада – грањевина и остали дрвни остаци након редовног одржавања вишегодишњих засада као што су воћњаци и виногради.

Процјењује се да се око 1/3 остатка од усјева може користити за производњу енергије (топлотне и електричне). Друге 2/3 остатка од усјева користе се на сточним фармама као простирка за стоку или се остављају на земљишту као ђубриво. Анализа сточног отпада и отпада од усјева показује велики неискоришћени потенцијал за производњу енергије. Међутим,

већина домаћих фарми су мале и немају на располагању довољне количине биомасе да би се исплатила инвестиција у оваква постројења. И на ланце снабдијевања пољопривредном биомасом могу се слично примијенити и израчунати сви претходно дефинисани критеријуми за процес оптимизације дати у Таб. 12.4.

Још једно интересантно питање које се намеће за успјешност коришћења биомасе јесте избор горива, односно када се одлучити за дрвну сјечку, брикет или пелет. Дрвна сјечка у себи садржи разне укључке и нечистоће, попут коре, иглица и др., јер се производи од остатака од сјече шуме. Она у себи има повећани проценат влаге и за њено сагоријевање и производњу топлоте, потребне су посебне врсте котлова. С друге стране, због потребне велике количине горива у запреминском смислу, потребна су и већа складишта за овај тип горива. Са аспекта уложене енергије у ланцу производње овог типа горива, у процес производње дрвне сјечке најмање се улаже енергије приликом њеног добијања, за разлику од дрвног пелета и брикета код којих је потребно уложити топлотну енергију за сушење дрвних остатака прије пресовања у брикет или пелет помоћу различитих постројења, што донекле поскупљује процес производње и смањује енергетску ефикасност ланца производње овим биогоривима. Међутим, пелет и брикет јако су компактна горива која могу да се транспортују на веће дистанце до крајњих корисника, што њима даје предност у односу на дрвну сјечку, која је локално примјењива. Сложеност снабдјевачких ланца производње дрвних горива намеће велики опрез и детаљан приступ организацији коришћења ових горива, онима који се желе озбиљно бавити дрвном биомасом за производњу енергије.

У погледу коришћења дрвне биомасе у Босни и Херцеговини намеће се неколико важних закључака, а то су:

- дрвна биомаса значајан је енергент, перспектива њеног даљег коришћења зависи искључиво од нас,
- недовољно развијено и нерегулисано тржиште дрвном биомасом и генерално биомасом,
- у пројекте на бази биомасе улази се искључиво са аспекта економске исплативости, што је за тренутне односе коришћења енергената и њихових цијена потпуно промашен приступ,
- математички и било који модели планирања и коришћења овог ресурса потпуно су изостављени, што пројекте који се реализују у овој области доводи на руб пропасти, првенствено са економског и ресурсног аспекта,

- не постоје адекватни статистички подаци који би пратили тренутна кретања у кориштењу дрвне биомасе, барем на годишњем нивоу, јер постојећа статистика није прилагођена овом проблему,
- пуно се ради на промоцији дрвне биомасе као обновљивог енергента узимајући у обзир само њене предности, у шта је чак укључен и микрокредитни сектор,
- мало се ради на покретању коришћења енергетских биљака и засада, што је за повећање капацитета коришћења биомасе неизбежно.

Узимајући све наведено у обзир, свједоци смо вртоглавог повећања цијене пелета прије пар година у Републици Српској и БиХ. Погрешан приступ који се стално форсира је саморегулација тржишта биомасом, посебно што је то тржиште тек у развоју и постоји доста непознатих и нерегулисаних питања у вези коришћења биомасе. Прије свега, овдје се скреће пажња на податке о дрвној биомаси, као и о биомаси генерално, који се не ажурирају и који су углавном плод појединих студија које су финансирале различите стране организације. Примјера ради, ако бисмо жељели званично сазнати колико Република Српска и Босна и Херцеговина извози дрвног пелета у иностранство, имали бисмо проблем. У званичним статистичким подацима постоје само информације о укупно извезеним категоријама дрвних производа у иностранство, у шта спадају све категорије производа од дрвета. Ово све доводи до хаотичног стања у области искоришћавања биомасе, као и у области стратешког планирања трендова кретања појединих категорија дрвних горива. Тако, на примјер, уколико бисмо хтели примијенити мултиваријантну регресиону анализу на планирање капацитета производње дрвног пелета у складу са дефинисаним независним варијаблама које утичу на планирање производње дрвног пелета, наишли бисмо на проблем због недостатка довољно добрих статистичких података по питању броја инсталираних постројења, њихових капацитета, инсталираних капацитета котлова на пелет, количина произведеног и дистрибуираног пелета на домаће тржиште, као и о количинама пелета испорученог у иностранство, количинама извезеног огрјевног дрвета итд.

Непрестано промовисање коришћења биомасе доводи првенствено до инсталације нових котлова на биомасу у домаћинствима и јавном сектору. У коначном исходу, то може довести до неусклађености на релацији: ресурс биомасе – производња биогорива – потрошачки сектор. Ово опет изискује неки вид евиденције и статистике да би се могло адекватно испланирати тржиште енергентима од биомасе у смислу биланса количина биомасе усмјерених у различите токове и потребе тржишта и потрошача.

Приступ коришћењу биомасе као енергента у Републици Српској није системског типа, није организован, нити је стратешки испланиран, већ му се приступа локално дуги низ година, што је суштински проблем у овој области. Да бисмо коначно напредовали у области коришћења биомасе у енергетске сврхе, морамо порадити првенствено на реалним подацима који се тичу: ресурса, капацитета инсталисаних постројења за производњу топлотне и електричне енергије, капацитета пелет постројења, капацитетима постројења на дрвну сјечку, извозу огрјевног дрвета, извозу пелета, трендовима кретања потреба за појединим горивима из биомасе, статистици која би пратила све релевантне податке битне за биомасу и друго. Због свега наведеног за перспективу коришћења биомасе у Републици Српској у енергетске сврхе, од пресудног значаја су реални подаци, статистика у вези са биомасом, стратешко планирање и логистика ланаца снабдијевања биомасом.

Литература

- Dincer I (1999) Environmental impacts of energy. *Energy Policy* 27(14):845–854
- Dincer I, Rosen MA (2005) Thermodynamic aspects of renewables and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 9:169–189
- Frombo F, Minciardi R, Robba M, Sacile R (2009) A decision support system for planning biomass – based energy production. *Energy* 34(3):362–369
- Glimour B, Warren J (2007) Advancing district energy development in Canada: A process for site selection. *Review and Community Participation*, pp 52. https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:39061828
- Hamamatsu T, Saikawa M, Hashimoto K (2004) Energy chain – A new concept in evaluating future energy conservation and greenhouse abatement alternatives and effectiveness. *Proceedings 19th World Energy Congress, Sydney, Australia*
- Krajnc N (2011) Wood Energy Technologies. Partnership Programmes – TCDC/TCC – TCP/YUG/3201 (D), Belgrade, pp 3–51
- Löfstedt RE (1996) The use of biomass energy in a regional context: the case of Växjö Energi, Sweden. *Biomass Bioenergy* 11(1):33–42
- Mahmoudi M, Sowlati T, Sokhansanj S (2009) Logistics of supplying biomass from a mountain pine beetle-infested forest to a power plant in British Columbia. *Scandinavian Journal of Forest Research* 24:76–86
- Opricović S (1998) Multicriteria optimization of civil engineering systems. Ph.D. Thesis, University of Belgrade – Faculty of Civil Engineering, Belgrade
- Rentizelas A (2013) Biomass supply chains. In: L. Rosendahl (ed) *Biomass combustion science, technology and engineering*. Woodhead Publishing, UK, pp 9–35
- Roosa SA (2008) *Sustainable development handbook*. The Fairmont Press, USA, pp 478

- Singhvi MS, Gokhale DV (2019) Lignocellulosic biomass: Hurdles and challenges in its valorization. *Applied Microbiology and Biotechnology* 103:9305–9320
- Subramanian ASR, Gundersen T, Adams TA (2018) Modeling and simulation of energy systems: A review. *Processes* 6:12–238
- Vasković S (2016) Razvoj modela za ocjenu prihvatljivosti energetske lanaca pri proizvodnji energije i goriva iz biomase. Doktorska disertacija, Univerzitet u Istočnom Sarajevu – Mašinski fakultet, Istočno Sarajevo
- Vasković S, Gvero P, Batinić K, Halilović V, Medaković V, Musić J (2018) Application of multi criteria decision making for the selection of optimal solid wood fuel supply. *International Journal of Electrical Engineering and Computing*, University of East Sarajevo, Faculty of Electrical Engineering, pp 111–117
- Vasković S, Gvero P, Kalabić D, Medaković V, Husika A (2017) Determination values of financial subsidies in accordance with the exergy quality for fuels and heat produced from biomass. *Annals of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering* 15(2):195–199
- Vasković S, Gvero P, Medaković V, Halilović V (2016) Energy chains optimization for selection of sustainable energy supply. In: E. Krmac (ed) *Sustainable Supply Chain Management*. InTech, pp 219–245. doi.10.5772/62537
- Vasković S, Halilović V, Gvero P, Medaković V, Musić J (2015) Multi-criteria optimization concept for the selection of optimal solid fuels supply chain from wooden biomass. *Croatian Journal of Forest Engineering* 36(1):109–123
- Vučijak B (2007) Višekriterijalna optimizacija u upravljanju prostorom. *Prostor* 33:108–117
- Vučijak B (2009) Višekriterijumska optimizacija. Skripta za studente. Univerzitet u Sarajevu – Mašinski fakultet, Sarajevo
- WCED (1987) Special working session. World Commission on Environment and Development. Oxford University Press, London, UK, pp 300

Sustainability of energy production from biomass

Srđan Vasković, Petar Gvero

Summary

In recent years, we have witnessed great interest in the production of energy from renewable energy sources as well as a number of energy efficiency measures implemented to reduce the use of fossil fuels. Certainly, it leads directly or indirectly to environmental protection and reduction of harmful gas emissions. However, if there are no systematic and planned approaches to the use of all these previously listed measures, in some cases turbulent phenomena can occur, such as lack of biomass as fuel, delays in energy deliveries, disruption of normal formation of market prices of energy and fuels. Sustainability of the use of biomass for energy purposes derives from the general definition of sustainability and concerns to social, environmental, energy-resource and economic sustainability. The process of multicriteria optimization arose from the need to satisfy most of the sustainability segments and factors. This chapter provides an overview of the different wood biomass supply chains and their optimization for conditions appropriate to the Republika Srpska. The approach of modeling biomass supply chains, their optimization, logistics, statistics in the bioenergy sector, detection of real biomass potentials, biomass fuel needs assessments, job creation in this sector and strategic planning, should be the way to sustainable use of biomass resource in energy sector. This is also the path which Republika Srpska should start following .

Keywords: Sustainability, logistics, biomass supply chains, criteria, optimization, strategic planning

