
TEZĂ DE DOCTORAT

Studii privind implementarea economiei circulare prin utilizarea integrată a culturilor agricole

(REZUMAT AL TEZEI DE DOCTORAT)

Doctorand **Enikő Maria Kovács**

Conducător de doctorat **Prof. univ. dr. Diana Elena
Dumitraș**



INTRODUCERE

Exploatarea la nivel mondial a resurselor și energiei s-a exacerbă odată cu creșterea demografică și consumul excesiv, cuplate cu impactul negativ asupra mediului, schimbările climatice și epuizarea resurselor. Pentru a deveni neutră din punct de vedere climatic până în 2050, Comisia Europeană a dezvoltat o serie de politici, în cadrul European Green Deal, menite să sporească eficiența resurselor prin avansarea către o economie circulară (European Commission, 2019). Noul plan de acțiune pentru economia circulară este una dintre componentele fundamentale ale Acordului ecologic European și se concentrează pe stimularea produselor sustenabile, scăderea dependenței de resursele naturale și reducerea producției de deșeuri pe întreg ciclul de viață (European Commission, 2020).

Dezvoltarea rurală este de o importanță fundamentală în tranziția către o economie circulară, iar agricultura este unul dintre domeniile cheie de influență, oferind resurse regenerabile care pot fi transformate în produse cu valoare adăugată. Uniunea Europeană promovează producția de energie din surse regenerabile, stabilind un obiectiv de 42,5% pentru 2030 (EU Directive, 2023).

Având în vedere obiectivele stabilite și situația binecunoscută la nivel mondial privind disponibilitatea limitată a resurselor neregenerabile și impactul lor semnificativ asupra mediului, sunt necesare surse de energie mai ecologice și sustenabile. Prin urmare, tranziția la bioenergie ar putea oferi beneficii semnificative de mediu, sociale și economice. Bioenergia produsă din biomasă este una dintre cele mai semnificative forme alternative de energie, reprezentând 55% din energia regenerabilă (IEA, 2023). Bioenergia poate fi produsă dintr-o varietate de materii prime, cum ar fi culturi energetice dedicate, biomasă lemnoasă, deșeuri municipale/urbane și deșeuri din biomasă agricolă.

Agricultura este un sector important cu un mare potențial bioenergetic. Între tipurile de biomasă agricolă, deșeurile de coarde de viță de vie rezultate din activitățile anuale de tăiere constituie o resursă regenerabilă valoroasă, iar valorificarea acestora poate contribui la dezvoltarea rurală. Aceste deșeuri sunt foarte abundente, deoarece viticultura reprezintă un sector important atât la nivel internațional, cât și la nivel național. Deșeurile de coarde de viță sunt compuse în principal din celuloză, hemiceluloză și lignină, făcându-le convertibile în biocombustibili, compuși bioactivi și diverse produse cu valoare adăugată. În funcție de tehnologia utilizată, conversia deșeurilor de coarde de viță de vie în biocombustibili are un potențial mare de contribuție la economia circulară, deoarece acoperă următoarele aspecte: reutilizarea și valorificarea deșeurilor, utilizarea eficientă a resurselor și generarea de bioenergie. Este important să fie testate și implementate strategii și procese de producție ecologice și sustenabile. În acest fel, este posibil să se accelereze tranziția de la o economie liniară la una circulară, să se promoveze procese și sisteme de producție sustenabile și să se atenueze criza energetică actuală.

Chiar dacă, în comparație cu combustibilii fosili, bioenergia este de obicei mai favorabilă mediului, întregul ciclu de viață trebuie luat în considerare și analizat. În acest sens, evaluarea ciclului de viață (LCA) calculează impactul asupra mediului al unui proces de producție pe parcursul tuturor fazelor sale, începând cu extracția materiilor prime, procesare, fabricare, distribuție, până la eliminarea finală. LCA oferă o imagine de ansamblu cuprinzătoare, atât asupra proceselor, cât și asupra problemelor de mediu, este un proces iterativ și cantitativ, prezentând numeroase bucle de feedback care conectează fiecare etapă a ciclului de viață.

SCOPUL ȘI OBIECTIVELE CERCETĂRII

Teza abordează potențialul economiei circulare și contribuția acesteia la dezvoltarea rurală prin utilizarea integrată a culturilor agricole sub constrângeri de sustenabilitate. Tema aleasă pentru studiile de caz – procese de conversie bioenergetice din deșeurile de biomasă lignocelulozică din viticultura – oferă un spectru de oportunități de abordare a economiei circulare, sustenabilității și rezilienței într-un cadru metodologic flexibil – evaluarea ciclului de viață (LCA) – permițând integrarea diverselor modele în vederea dezvoltării scenariilor și prezicerii evoluției acestora pentru a contribui la dezvoltarea rurală.

Obiectivul tezei a constat în investigarea unei surse alternative de bioenergie orientate spre dezvoltare rurală sustenabilă și compararea a două căi de producție distincte: bioetanol (Studiu de caz 1) și pelete/brichete (Studiu de caz 2) prin valorificarea deșeurilor de coarde de viță de vie folosind LCA și dezvoltarea unui model de economie circulară replicabil pentru utilizarea deșeurilor de coarde de viță de vie.

Pentru atingerea obiectivului au fost stabilite următoarele obiective specifice: (1) Analizarea și caracterizarea deșeurilor de coarde de viță de vie pentru a stabili adecvarea acestora ca sursă regenerabilă de bioenergie- un pas preliminar pentru LCA; (2) Investigarea procesului de producție a biocombustibilului lichid (bioetanol) și solid (pelete/brichete) utilizând LCA; (3) Realizarea unei analize comparative a proceselor de producție de bioetanol și pelete/brichete obținute din coarde de viță de vie prin cuantificarea impactului acestora asupra mediului; (4) Identificarea procesului de producție care răspunde mai bine principiilor economiei circulare sustenabile; (5) Dezvoltarea unui nou model de economie circulară denumit „Model ecosistemic total” (TEM) care sprijină conversia deșeurilor din biomasă agricolă în bioenergie, adecvată dezvoltării zonelor rurale, pe baza rezultatelor adecvării deșeurilor de coarde de viță de vie ca sursă regenerabilă de energie și a rezultatelor LCA.

STRUCTURA TEZEI

Teza prezintă contextul și informațiile de ultimă generație cu privire la economia circulară și evaluarea ciclului de viață, în general și în cadrul proceselor de conversie a biomasei în bioenergie, explicând totodată și importanța subiectului

(trecerea în revistă a literaturii științifice). În continuare, în partea a doua (cercetare originală), se prezintă obiectivele, proiectul experimental și metodologia de laborator, precum și metodologia standardizată ISO pentru realizarea unei evaluări a ciclului de viață (LCA). Ulterior, lucrarea furnizează rezultatele obținute și propune un nou model de utilizare a deșeurilor din biomasă și crearea de produse cu valoare adăugată într-un sistem de economie circulară și se încheie cu concluzii și recomandări. Concluziile cercetării actuale furnizează informații valoroase factorilor de decizie, în sprijinul implementării economiei circulare, precum și diferitelor părți interesate relevante din viticultură, în scopul implementării sustenabilității și dezvoltării rurale.

MATERIAL ȘI METODĂ

Materia primă a constat din coarde de viță de vie din opt soiuri colectate imediat după operațiunile de tăiere. Peletele/brichetele au fost produse și furnizate de Stațiunea de Cercetare a Universității de Științe Agricole „Ion Ionescu de la Brad” Iași din deșuri de coarde de viță de vie. În prezenta teză au fost aplicate diferite metode pentru a investiga adecvarea deșeurilor de coarde de viță de vie ca resursă regenerabilă pentru bioenergie, pentru a colecta datele necesare pentru a efectua LCA în vederea evaluării impactului asupra mediului al procesului de producere de bioetanol și a pelete/brichete, și pentru a construi un model de economie circulară adecvat dezvoltării rurale. Caracterizările fizico-chimice s-au bazat pe standarde internaționale și pe metode din literatura științifică. Experimentele au fost efectuate în triplicat. Softul STATA versiunea 15.0 (StataCorp, College Station, TX, SUA) a fost utilizat pentru analizele statistice. Pentru trasarea graficelor au fost utilizate OriginLab versiunea 2020b (Northampton, MA, SUA) și Microsoft Excel. A fost efectuată o simulare Monte Carlo pe rezultatele LCA pentru a evalua incertitudinea categoriilor de impact folosind SimaPro (versiunea 9.0). Impactul asupra mediului al proceselor de producere de bioetanol și pelete/brichete din deșuri de coarde de viță de vie a fost studiat prin abordarea convențională a LCA (ISO 14040, 2006; ISO 14044, 2006).

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Rezultate privind caracterizarea fizico-chimică a coardelor de viță de vie pentru evaluarea integrării în economia circulară

Materia primă, și anume deșeurile de coarde de viță de vie, a fost tocată și uscată înainte de efectuarea experimentelor și apoi caracterizată fizico-chimic după proceduri standardizate. Conținutul de apă a variat între 7,74% și 8,28%, valori similare cu cele obținute în literatură. În ceea ce privește conținutul de cenușă, rezultatele au variat de la 2,71% la 6,41%, mai mari decât în cazul altor tipuri de deșuri din biomasă agricolă. S-a observat că celuloza, hemiceluloza și lignina au fost prezente în probele din toate soiurile analizate. Conținutul de celuloză a variat între 28,78% și 40,01%, cel de hemiceluloză între 16,87% și 27,45% și cel de lignină între

24,22% și 32,34%. Soiurile de deșeuri de coarde de viță de vie au avut un conținut ridicat de carbon și oxigen și un conținut foarte scăzut de sulf. În ceea ce privește puterea calorifică brută a deșeurilor de viță de vie, cel mai mare rezultat a fost de 17,488 MJ kg⁻¹ de masă uscată, în timp ce cea mai mare putere calorifică netă a fost de 15,941 MJ kg⁻¹ de masă uscată. Caracteristicile menționate mai sus fac ca deșeurile de coarde de viță de vie să fie adecvate pentru producerea de biocombustibili, pentru investigații suplimentare folosind LCA.

Rezultate privind fazele tehnologice ale producerii de bioetanol și caracterizare

Amestecul de deșeuri de coarde de viță de vie a fost transformat în bioetanol în condiții și la scară de laborator, prin următoarele etape: pretratare prin autohidroliză, delignificare, zaharificare și fermentare, și distilare simultane (SSF). Pentru a determina cea mai potrivită reacție de pretratare, au fost testate diferite condiții, în special temperaturi de 150°C, 165°C și 180°C, timp de 10 minute, la o presiune de 60 bari. Cele mai eficiente rezultate au fost înregistrate la 165°C, fiind înregistrat cel mai mare conținut de celuloză și lignină și cea mai eficientă separare a hemicelulozei. Etapa de delignificare, care presupune îndepărtarea ligninei de pe substratul pretratat, a avut ca rezultat un conținut ridicat de celuloză și un conținut foarte scăzut de lignină. Etapa SSF a fost realizată prin folosirea unei încărcări de substrat de 10% la două temperaturi, 37°C și 45°C, timp de 24, 48 și 72 ore pentru a evalua și identifica cele mai bune condiții posibile. Conținutul de bioetanol a fost mai mare la 37°C. După distilare, prezența etanolului a fost confirmată prin gascromatografie. Bioetanolul produs prin conversia amestecului de soiuri de deșeuri de coarde a fost supus caracterizării fizico-chimice, în conformitate cu standardul SR EN 15376:2015. Toți parametrii analizați s-au încadrat în valorile limită stabilite de standard. Datele colectate servesc ca bază pentru analizele ulterioare utilizând LCA.

Caracterizarea fizico-chimică a peletelor/brichetelor pentru evaluarea integrării în economia circulară

Peletele/brichetele obținute din deșeurile de coarde de viță de vie au fost evaluate conform standardelor internaționale. Conținutul de umiditate atât al peletelor, cât și al brichetelor a fost sub limita de 12% considerată optimă pentru arderea biomasei. Conținutul de umiditate influențează puterea calorifică. Rezultatele privind puterea calorifică sunt comparabile cu cele din literatură. Conținutul de cenușă joacă un rol major în ardere și poate avea o influență negativă asupra procesului de ardere, ducând la depunere și blocaje în cuptoare. Valorile au variat între 3,50 și 4,79% la pelete și între 2,09 și 3,27% la brichete, fiind în limitele stabilite de standarde. Concentrațiile de metale obținute pentru pelete s-au situat sub limitele stabilite de standard, cu excepția conținutului de cupru a trei soiuri de viță de vie, valorile crescute variind între 25,50 și 36,10 mg kg⁻¹. La brichete, conținutul de cupru a depășit limita la toate soiurile, în timp ce toate celelalte elemente au fost sub limite. Sulful și clorul

constituie elemente importante, datorită capacității lor de a duce la coroziunea sistemului de încălzire și pot fi toxice pentru sănătatea umană. Ambele elemente, sulf și clor, au fost prezente în probele de pelete și brichete, cu niveluri mai mici de 0,20% și, respectiv, 0,10%, stabilite de standarde. Concentrațiile de azot au fost, de asemenea, sub limite în toate probele, cu excepția peletelor dintr-un soi de viță de vie, cu o valoare de 1,68%, depășind valoarea limită ($\leq 1,5\%$) pentru pelete de grad A, dar sub limita gradului B ($\leq 2,0\%$). Carbonul și hidrogenul nu au valori limită prestabilite în standarde. Rezultatele au arătat potențialul utilizării peletelor/brichetelor în scopuri bioenergetice, fiind potrivite pentru analize ulterioare folosind LCA pentru evaluarea potențialului lor de a contribui la economia circulară.

Rezultate privind evaluarea ciclului de viață al bioetanolului obținut din coarde de viță de vie (Studiu de caz de economie circulară 1)

Procesul tehnologic de producție a bioetanolului din deșeuri de coarde de viță de vie a fost analizat prin metoda de evaluare a ciclului de viață. Scopul a constat în determinarea efectelor asupra mediului ale unei tehnologii de producție la scară de laborator care ar putea fi implementată în zonele rurale pentru a contribui la dezvoltarea rurală. Constatările sunt utile pentru modelul de dezvoltare rurală a economiei circulare (TEM). A fost definită o unitate funcțională de 1 kg de bioetanol și o limită a sistemului “din leagăn la poartă”, care cuprinde toate etapele de procesare și emisiile aferente acestora. Datorită consumului de reactivi chimici, a consumului mare de energie electrică și apă (considerați factori cheie în procesul de producere a bioetanolului), rezultatele LCA indică o contribuție semnificativă a procesului de obținere a bioetanolului la categorii de impact precum: consumul de apă, radiațiile ionizante și ecotoxicitatea în apă dulce. Stadiile de SSF, delignificare și autohidroliză au cea mai mare pondere a impactului asupra mediului. Totodată, etapa de delignificare contribuie cu un procent de peste 50% la categoriile de impact: toxicitate umană necancerigenă și deficit de resurse minerale, iar etapa SSF la categoriile de impact: formarea particulelor fine, eutrofizarea apei dulci și radiațiile ionizante. Rezultatele oferă perspective pentru dezvoltarea de modele de economie circulară care contribuie la dezvoltarea zonelor rurale.

Rezultate privind evaluarea ciclului de viață al peletelor/brichetelor obținute din coarde de viță de vie (Studiu de caz de economie circulară 2)

Modul de producție a peletelor/brichetelor obținute din deșeurile de coarde de viță de vie a fost evaluat cu ajutorul metodologiei standardizate de evaluare a ciclului de viață. Scopul a constat în determinarea măsurii în care procesul contribuie la categoriile de impact asupra mediului. Unitatea funcțională selectată a fost 1 kg pelete/brichete. Constatările sunt utile pentru modelul de economie circulară de dezvoltare rurală (TEM). Dintre cele 9 etape de prelucrare, cea mai mare influență a avut etapa de deshidratare a coardelor, urmată de peletizare, balotare și tocare și

măcinare a coardelor. Cea mai afectată categorie de impact asupra mediului a fost ecotoxicitatea terestră, urmată de încălzirea globală, deficitul de resurse fosile, radiațiile ionizante, toxicitatea umană necancerigenă, consumul de apă, toxicitatea cancerigenă umană, utilizarea terenurilor și acidificarea terestră. Acestea ar putea fi explicate prin producția și consumul de energie, extracția de combustibili fosili pentru producerea motorinei utilizate de utilajele agricole, fabricarea și utilizarea îngrășămintelor, precum și diverse emisii în aer, apă și sol. Rezultatele pentru celelalte categorii de impact au fost considerabil mai mici. În ceea ce privește evaluarea daunelor, rezultatele indică faptul că cea mai mare daună totală a fost asupra resurselor, ecosistemelor și sănătății umane. O evaluare cuprinzătoare a implicațiilor de mediu ale unui proces de producție folosind metodologia de evaluare a ciclului de viață permite o decizie bazată pe cunoștințe privind etapele care trebuie îmbunătățite și ce se poate face pentru a atenua efectele. Rezultatele oferă perspective pentru dezvoltarea unor modele de economie circulară care contribuie la dezvoltarea rurală.

Rezultate privind analiza comparativă a procesului de producere de bioetanol și de pelete/brichete din perspectiva economiei circulare și a dezvoltării rurale

Analiza comparativă a fost efectuată pentru a selecta produsul cu valoare adăugată al cărui proces de producție are cel mai mic impact asupra mediului și cel mai mare potențial de a contribui la economia circulară și la dezvoltare rurală. Rezultatele au arătat că dintre posibilele produse studiate care pot fi generate prin transformarea deșeurilor de coarde de viță de vie în biocombustibili lichizi (bioetanol) și solizi (pelete/brichete), sunt recomandați doar biocombustibilii solizi. Procesul de producție a 1 kg de bioetanol și 1 kg de pelete/brichete din deșeuri de coarde de viță de vie a fost comparat utilizând metodologia de evaluare a ciclului de viață și folosind software-ul SimaPro, metoda ReCiPe, pentru a stabili input-ul la diferite categorii de impact asupra mediului. Rezultatele obținute pentru producția de bioetanol la scară de laborator au arătat că procesul a necesitat consumul de substanțe chimice, împreună cu cantități mari de apă și energie electrică, toate acestea având implicații substanțiale negative asupra mediului. Dintre etapele de prelucrare a peletelor/brichetelor, procesul de deshidratare are cea mai mare contribuție, urmat de peletizare, în special asupra categoriilor: eutrofizarea apei dulci, consumul de apă, toxicitatea cancerigenă umană, formarea de particule fine, radiațiile ionizante și încălzirea globală. Producția și utilizarea peletelor/brichetelor au mai multe efecte pozitive asupra mediului, sociale și economice, contribuind la sustenabilitate și la economia circulară. Din punct de vedere al mediului, ar reduce emisiile de gaze cu efect de seră, ar elimina arderea pe câmp și ar folosi energie regenerabilă. Din perspectiva dezvoltării sociale și rurale, în zonă s-ar crea noi locuri de muncă, s-ar folosi lanțul de aprovizionare și energia locală și s-ar stabili noi activități cu valoare adăugată. Printre beneficiile economice, costurile energetice ar putea fi reduse, autosuficiența energetică ar putea crește și ar putea

reduce dependența de combustibili fosili, toate acestea jucând un rol important în implementarea modelului de economie circulară de dezvoltare rurală (TEM).

Rezultate privind modelul ecosistem total - model de economie circulară de dezvoltarea rurală bazat pe evaluarea ciclului de viață

Modelul ecosistem total (TEM) a fost conceput pe baza rezultatelor analizei fizico-chimice și ale LCA efectuate în timpul cercetării. Modelul propus se bazează pe colaborarea dintre entitățile care formează o rețea și pe modul în care acestea reglementează procesele pentru optimizarea managementului resurselor și limitarea consumului acestora, conform principiilor durabilității de mediu, sociale și economice. Modelul propus pentru dezvoltare rurală ar putea servi ca un instrument valoros pentru furnizarea componentelor necesare îmbunătățirii sustenabilității și gradului de circularizare a unui sistem socio ecologic. Acesta este destinat entităților și cercetătorilor implicați în procese de luare a deciziilor legate de aplicarea principiilor economiei circulare, precum și de echilibrul sistemelor social ecologice, reunind chimia, ecologia, protecția mediului și dezvoltarea rurală într-un efort interdisciplinar. Una dintre cerințele principale ale modelului este identificarea cu acuratețe a conexiunii dintre procesele economice, de mediu și sociale, inclusiv entitățile colaboratoare și tehnicile administrative ale acestora, pentru determinarea configurației fezabile a sistemului. Cooperarea membrilor rețelei și disponibilitatea resursei determină capacitățile de circularizare (economia circulară) ale sistemului și este o condiție pentru auto-întreținerea și, implicit, pentru sustenabilitatea rețelei. Operațiunile la nivel de cluster/comunitate determină, de asemenea, câștigurile generale economice și de mediu. Economia circulară este subordonată existenței proceselor capabile să echilibreze resursa consumată prin recrearea acesteia și punerea ei la dispoziția celorlalte procese de producție. Dezvoltarea modelelor conceptuale și a cadrelor modelelor de afaceri constituie o parte esențială în cercetarea științifică, precum și în procesul decizional pentru părțile interesate din domeniu.

CONCLUZII

Teza a dus la îmbunătățirea înțelegerii conceptului de economie circulară și a principiilor acesteia, împreună cu importanța biomasei într-o economie circulară și abordările pentru implementarea sa eficientă în contextul bioenergiei. A fost investigată o sursă alternativă de bioenergie adecvată dezvoltării rurale și au fost comparate două căi de producție: bioetanol (Studiu de caz 1) și pelete/brichete (Studiu de caz 2) prin valorificarea deșeurilor de coarde de viță de vie. Evaluarea ciclului de viață a fost aplicată în cele două studii de caz, dovedindu-se a fi un instrument util în evaluarea impactului asupra mediului și a sustenabilității acestor procese. Pe baza rezultatelor investigațiilor menționate anterior, a fost elaborat un model de economie circulară de dezvoltare rurală (TEM).

Rezultatele prezentei teze privind implementarea principiilor economiei

circulare prin utilizarea integrată a culturilor agricole, respectiv deșeurile de coarde de viță de vie rezultate din activități viticole, au permis tragerea următoarelor concluzii:

➤ Pe baza caracterizării fizico-chimice a deșeurilor din biomasă de coarde, conținutul de lignină (24-33%) și puterea calorică (15,94 MJ kg⁻¹ de masă uscată) demonstrează potențialul de utilizare a acestora pentru producerea de bioenergie.

➤ În producția de bioetanol, metoda de pretratament este un element esențial al procesului, cea mai eficientă temperatură de autohidroliză s-a constatat a fi la 165°C, la un timp de reacție de 10 minute și o presiune de 60 bari.

➤ Caracteristicile fizico-chimice ale bioetanolului rezultat în urma conversiei amestecului de deșeuri de soiuri de coarde viță de vie sunt în concordanță cu valorile stabilite de standardul SR EN 15376:2015.

➤ Analiza LCA utilizată pentru calculul impactului asupra mediului al celor două procese a evidențiat că, față de procesul de producere a bioetanolului, producția de pelete/brichete a prezentat o contribuție mai mică la categoriile de impact asupra mediului evaluate, fiind un proces mai ecologic și mai sustenabil.

➤ Principalele etape responsabile în cazul producerii de bioetanol au fost delignificarea, care a generat o însemnată ecotoxicitate a apei dulci și terestră, datorită cantităților mari de apă, substanțelor chimice și energiei consumate, precum și procesul SSF, care contribuie la formarea de particule fine, eutrofizarea apei dulci, consumul de apă, încălzirea globală, toxicitatea umană și ecotoxicitatea terestră.

➤ În producția de pelete/brichete, toxicitatea umană, deficitul de resurse fosile și ecotoxicitatea apei dulci au fost cele mai semnificative efecte, etapele de deshidratare și pelletizare jucând cel mai important rol.

➤ Producerea de produse cu valoare adăugată sub formă de pelete/brichete din deșeuri de coarde de viță de vie folosind un proces de densificare reprezintă o alternativă eficientă și sustenabilă comparativ cu combustibilii fosili.

➤ Utilizarea eficientă a deșeurilor de coarde reduce consumul de lemn evitând în același timp defrișările și culturile dedicate (utilizarea terenului), și oferă o soluție de gestionare a cantităților mari de deșeuri de biomasă.

➤ Utilizarea deșeurilor agricole din biomasă ca sursă de energie regenerabilă sub formă de pelete/brichete pentru sistemele de încălzire are potențialul de a sprijini dezvoltarea rurală prin generarea de oportunități locale de angajare, îmbunătățirea ecosistemelor rurale și reducerea dependenței de resursele neregenerabile.

➤ Modelul economiei circulare de dezvoltare rurală propus - Modelul ecosistemului total (TEM) - dezvoltat pe baza rezultatelor obținute prin utilizarea abordării LCA pentru evaluarea adecvării celor două căi de producție, se concentrează pe parteneriatul entităților care construiesc o rețea și modul în care acestea gestionează procesele de îmbunătățire a managementului resurselor și de reducere a consumului, cu implicații asupra dimensiunilor de mediu, economice și sociale. TEM poate fi un instrument util pentru furnizarea elementelor necesare pentru a îmbunătăți circularitatea și sustenabilitatea unui ecosistem în zonele rurale.

ORIGINALITATEA CERCETĂRII

Cercetarea desfășurată pe parcursul tezei reprezintă un studiu aprofundat privind implementarea economiei circulare prin utilizarea integrată a culturilor agricole, precum vița de vie, prin valorificarea deșeurilor de coarde. Teza integrează conceptul de economie circulară și principiile sale în domeniul bioenergiei, bioeconomiei și sustenabilității, prin valorificarea unei surse alternative de bioenergie, și anume biomasa lignocelulozică. Aceasta investighează și determină parametrii optimi de producere de bioetanol din deșeurile de coarde de viță de vie. Cercetările arată că acești parametri pot fi perfecționați pentru a obține un randament maxim de bioetanol, făcând din deșeurile de coarde de viță de vie o sursă promițătoare pentru producția de biocombustibili. Aceasta este prima încercare la nivel național de a evalua în paralel toate fluxurile tehnologice implicate în procesul de producție a bioetanolului și a peletelor/brichetelor din deșeuri de coarde. Teza oferă o analiză comparativă complexă din punct de vedere fizico-chimic și al mediului, prin utilizarea LCA ca instrument de evaluare a sustenabilității. De asemenea, teza oferă date noi cu privire la producerea și utilizarea produselor cu valoare adăugată, bioetanol și pelete/brichete, obținute din deșeurile de coarde de viță de vie generate în cantități mari de activitățile viticole. Teza pune bazele dezvoltării unui model de economie circulară numit „Model ecosistemic total” (TEM) care reunește dimensiunile ecologice, sociale și economice pentru a le putea integra într-o abordare sustenabilă cu aplicare în zone rurale. Teza demonstrează fezabilitatea valorificării deșeurilor de coarde de viță de vie conform conceptului de conversie de biomasă în bioenergie și avantajul producției de pelete/brichete asupra producției de bioetanol. Această abordare nu numai că reduce deșeurile, dar oferă și o sursă sustenabilă de energie sub formă de căldură, ceea ce contribuie la o dezvoltare rurală mai sustenabilă. Teza prezintă informații cu privire la potențialul utilizării peletelor/brichetelor obținute din deșeurile de coarde de viță de vie în scopuri energetice la nivel local, contribuind la economia circulară și sustenabilitatea zonelor rurale. Rezultatele oferă informații utile cercetătorilor, factorilor de decizie și diferitelor părți interesate din viticultură, susținând implementarea economiei circulare și a sustenabilității.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. European Commission (2019). Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. The European Green Deal. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A52019DC0640>
2. European Commission (2020). Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and

more competitive Europe. Available online: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0017.02/DOC_1&format=PDF

3. EU Directive (2023). EU DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 18 October 2023 amending Directive (EU) 2018/2001, Regulation (EU) 2018/1999 and Directive 98/70/EC as regards the promotion of energy from renewable sources, and repealing Council Directive (EU) 2015/652. Available online: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202302413
4. IEA (2023). Tracking Clean Energy Progress 2023. *International Energy Agency*. Available online: <https://www.iea.org/reports/tracking-clean-energy-progress-2023>
7. SR EN 15376:2015 Carburanți pentru automobile. Etanol - component de amestec pentru benzină. Cerințe și metode de încercare. Available online: <https://magazin.asro.ro/ro/standard/233929>
8. ISO 14040:2006 Environmental Management—Life Cycle Assessment—Principles and Framework. Available online: <https://www.iso.org/standard/37456.html>
9. ISO 14044:2006 Environmental Management—Life Cycle Assessment—Requirements and Guidelines. Available online: <https://www.iso.org/standard/38498.html>