Revista Pădurilor 134(2) (2019) 001-056

Revista Pădurilor

disponibil online la: www.revistapadurilor.com

Metode de evaluare a impactului asupra mediului cu aplicabilitate în proiectarea şi construcția drumurilor forestiere

Iulian-Mihai Nenu[a*]

[a] **Facultatea de Silvicultură și Exploatări Forestiere, Departamentul Exploatări Forestiere, Amenajarea Pădurilor și Măsurători Terestre, Universitatea Transilvania din Brașov, Şirul Beethoven Nr. 1, 500123, Brașov, România, nenu.iulian.mihai@unitbv.ro**

REPERE

- Există mai multe metode de evaluare a impactului drumurilor forestiere asupra mediului.
- Lucrarea analizează în detaliu conceptele metodelor LCA şi EE.
- Pe baza studiilor găsite, se identifică rezultatele aplicării acestor metode în evaluarea impactului cauzat de construcția drumurilor.

INFORMAȚII ARTICOL

Istoricul articolului:
Manuscris primit la: 7.04.2019
Primit în forma revizuită: 17.06.2019
Acceptat: 17.06.2019
Număr de pagini: 14 pagini.

Tipul articolului:
Review

Editor: Stelian Alexandru Borz

Cuvinte cheie:
Drumuri forestiere
Impact asupra mediului
Analiza ciclului de viață
Energie înglobată

REZUMAT

Evaluarea impactului asupra mediului a devenit un factor determinant în proiectarea și executarea lucrărilor de infrastructură. În acest context, prezenta lucrare a urmărit identificarea metodelor utilizate în evaluarea impactului asupra mediului în ingineria construcțiilor de drumuri forestiere. Au fost supuse analizei atât metoda utilizată în mod curent și reglementată prin normativul în vigoare cât și alte metode de evaluare a impactului de mediu, caracterizate de un potențial ridicat de utilizare în astfel de evaluări. În mod particular, s-au luat în considerare metoda Analizei Ciclului de Viață şi metoda Energiei Înglobate. Acestea au fost descrise din punct de vedere conceptual-metodologic şi analizate din punct de vedere al aplicabilității în evaluarea impactului de mediu al drumurilor forestiere. Totodată, s-au descris principalele rezultate obținute prin aplicarea lor, avantajele și limitările specifice.

* Autor corespondent. Tel.: +40 731 016 410
Adresa de e-mail: nenu.iulian.mihai@unitbv.ro

1. INTRODUCERE

Optimizarea rețelei de drumuri forestiere este considerată a fi una dintre principalele preocupări ale cercetării şi practicii din sectorul forestier. Primul model geometric de optimizare a unei rețele de drumuri forestiere a fost elaborat de Matthews [1], sub forma unui model bidimensional pentru estimarea desimii optime a unei rețele de drumuri forestiere în teren plan, având la bază minimizarea costurilor de colectare a lemnului [2]. Modelul lui Matthews, a fost ulterior îmbunătățit de către Segebaden [3], acesta introducând două corecții în model, care au condus la o aproximare mai precisă a caracteristicilor geometrice ale modelului de optimizare dar, la bază, optimizarea a fost realizată tot din perspectivă economică.

La nivelul României, dezvoltarea infrastructurii rutiere forestiere a început în jurul anilor ’60, concomitent cu dezvoltarea industriei constructoare de autoutilitare specifice sectorului forestier și de tractoare pentru colectarea lemnului [4]. Încă de la început, premisa care a guvernat deciziile în planul de dezvoltare a infrastructurii forestiere, a fost cea economică [4-5]. La nivelul anului 2014, Regia Națională a Pădurilor avea în administrare un total de 26.055,17 km de drumuri forestiere, din care un total de 5.484 de km erau clasificați drept impracticabili [6]. În condițiile actuale, desimea medie a drumurilor forestiere din România este de aproximativ 6,5 m×ha^{-1} [6-7], aflată cu mult sub valoarea optimă estimată de 17 m×ha^{-1} [8-9].

În România, proiectarea drumurilor forestiere a fost reglementată prin normativul PD 67/80 pentru mai bine de 30 de ani [9], normativ ce a fost actualizat în 1999 păstrând același nume la momentul respectiv. În toată această perioadă, alegerea variantelor optime de dezvoltare a traseului, se realiza în baza analizei tehnico-economice. În anul 2012, a fost elaborat actualul normativ [10], care prezintă o abordare nouă, armonizată cu normele europene în vigoare, referitoare la protecția mediului, evaluarea impactului asupra mediului, protecția muncii și coduri de bune practici [7, 9]. La nivel național, evaluarea impactului asupra mediului, este reglementat prin Legea 292/2019 [11], publicată în Monitorul Oficial în data de 9 Ianuarie 2019. Aceasta prezintă procedura de obținere a *„acordului de mediu”*, pentru proiecte publice sau private. Procedura presupune trei etape esențiale după cum urmează: i) încadrarea proiectului în procedura de Evaluare a Impactului asupra Mediului (EIM), ii) definirea domeniului evaluării și realizarea raportului privind impactul asupra mediului şi iii) analiza raportului și eliberarea acordului de mediu. În cadrul etapei a doua, respectiv la realizarea raportului, pot fi utilizate diverse metode de evaluare a impactului începând cu chestionare şi expertiză tehnică asupra problemei şi terminând cu cele mai uzuale - sistemele de evaluare. Această varietate de metode utilizate nu oferă rezultate comparabile între diferite sectoare industriale sau studii, existând posibilitatea ca o metodă sa fie utilizată inadecvat și să nu prezinte posibilele cauze sau urmări privind factorii de mediu [12].

În cazul drumurilor forestiere, pentru evaluarea impactului asupra mediului, normativul PD 003-11 prevede metoda Indicelui de Poluare Globală (IPG) [10]. Evaluarea impactului asupra mediului prin metoda IPG, potrivit normativului [10] se realizează în două etape, inițial fiind efectuată o analiză de tip cantitativ pentru stabilirea notelor de bonitate pentru fiecare factor de mediu analizat. Aceste note sunt cuprinse între 1 şi 10, unde 1 este valoarea minimă, echivalentă unor condiții improprii formelor de viață iar 10 este valoarea maximă, echivalentă unui mediu ideal, neafectat. Pentru realizarea analizei este nevoie de luarea în considerare a minimum 3 factori de

mediu (sol, aer, apă) iar, în raport cu complexitatea analizei, se pot include alți factori precum încadrarea în peisaj, sănătatea umană, factori care să fie în concordanță cu obiectivele proiectului analizat. Valorile estimate prin relații de calcul, aferente fiecărui factor de mediu, sunt convertite în note de bonitate (N_b), prin scări de conversie stabilite prin legislația în vigoare, ce stabilește limitele și cantitățile maxim admise de poluanți în sol, apă sau aer. A două etapă presupune analiza grafico-analitică a factorilor de mediu pentru stabilirea impactului global, printr-o figură geometrică, de formă regulată, în care raza unui cerc circumscris va trece prin vârfurile poligonului format, iar raza cercului va fi împărțită în zece unități reprezentând notele de bonitate în ordine crescătoare dinspre centru spre exterior. În cadrul acestei etape se calculează indicele IPG ce este raportul dintre starea ideală (S_i) - aria poligonului cu nota 10 și starea reală (S_r) - aria poligonului format din N_b aferente fiecărui indicator de mediu [10]. Normativul PD003-11 prevede utilizarea indicatorilor de mediu precum volumul de săpătură ce corespunde factorului „deteriorarea peisajului". La factorul sol se adaugă și „resturile de exploatare", întreruperea stării de masiv a suprafețelor împădurite și poluarea biodiversității. Astfel, analiza oferă un rezultat orientat către specificul proiectelor de construcție a drumurilor forestiere [7]. Metoda IPG este una flexibilă, ce analizează simultan mai mulți factori de mediu, şi se adaptează diverselor domenii, oferind o imagine de ansamblu a posibilului impact de mediu al viitoarelor proiecte. În ciuda acestui aspect, deși conține atât o analiză cantitativă cât și una calitativă, metoda nu prezintă concret efectele asupra mediului și urmările pe termen mediu sau lung ale acestora.

În acest scop, analizând literatura de specialitate s-a urmărit identificarea metodelor alternative existente de evaluare a impactului asupra mediului cu aplicabilitate în ingineria construcției drumurilor forestiere, prezentarea rezultatelor obținute prin aplicarea acestor metode și analiza capabilităților și limitărilor acestor metode.

2. MATERIALE ŞI METODE

Pentru documentare, s-au consultat jurnale internaționale și literatura de specialitate, metodele identificate fiind evaluate în baza unor criterii prestabilite după cum urmează:

i) Acoperirea geografică. Fiecare zonă a lumii prezintă unele particularități din punct de vedere al condițiilor de relief, tehnologiei existente sau normativelor de proiectare. Astfel, de la o regiune la alta, există metode de evaluare a impactului diferite, pentru fiecare zonă accentul fiind pus pe o anumită metodă, sau asupra anumitor factori de impact;

ii) Anul publicației. În selectarea metodelor de EIM s-a urmărit ca aceste studii să fie suficient de recente pentru a fi armonizate cu standardul ISO 14040, prima ediție;

iii) Granițele sistemului analizat și gradul de aprofundare şi complexitate. În sectorul forestier au fost realizate foarte multe studii pentru a evalua impactul asupra mediului a întregului lanț de aprovizionare, pornind de la arborele pe picior valorificat sau chiar din stadiul lucrărilor îngrijire și conducere a arboretelor, până la poarta fabricilor de procesare sau chiar până la produsul finit [13]. La capătul opus, foarte puține studii au luat în analiză și întreținerea infrastructurii rutiere forestiere sau chiar dezvoltarea de drumuri noi, astfel că rezultatele aplicabile întregului lanț de aprovizionare, pot fi

considerate neconcludente [13]. În același timp, în cazul ingineriei forestiere, construcția de drumuri şi întreținerea infrastructurii existente este cunoscută drept una consumatoare de resurse și cu un potențial major de impact asupra mediului [13-14];

iv) Rezultate comparative cu cele furnizate de studii similare. Pentru validarea comparabilității datelor, s-a urmărit compararea rezultatelor mai multor studii ce au utilizat o metodă similară.

Prin impact asupra mediului, se înțelege efectul cumulat al emisiilor în sol, apă sau aer, al extracțiilor de resurse biotice sau abiotice și al modificărilor aduse ecosistemelor, efect ce poate afecta mediul [15]. Lucrarea de față a luat în considerare următoarele categorii de factori:

i) Schimbarea categoriei de folosință a terenului (*eng.* Land Use and Land Use Change). Circuitul carbonului este o parte integrată în dinamica ecosistemelor [16], carbonul fiind „sechestrat" în mod natural în „rezervoarele de carbon" constituite din păduri, pășuni, materie organică în descompunere și în sol, existând un schimb constant între atmosferă și mediul terestru, prin fenomene naturale precum fotosinteza, respirația, descompunerea și combustia [16]. Prin scoaterea din categoria de folosință forestieră a suprafeței ocupate de ampriza drumului, circuitul carbonului pentru suprafața respectivă este afectat, iar capacitatea de absorbție a CO_2 din atmosferă este diminuată. Un efect secundar constă din fragmentarea habitatelor naturale, cu efecte adverse directe asupra florei și faunei [17];

ii) Eroziunea şi producția de sedimente. Eroziunea este un fenomen natural ce survine în urma acțiunii agresive a apei sau a aerului asupra suprafeței terestre, iar efectul este reprezentat de scăderea capacității productive a ecosistemelor, a suprafețelor agricole sau a terenurilor împădurite [18]. În urma lucrărilor de excavare pentru construcția drumurilor și modelarea taluzurilor de debleu și de rambleu, ultimele rămân decopertate și vulnerabile în fața fenomenului de eroziune. Efectul secundar este reprezentat de formarea de sedimente ce sunt transportate de apele meteorice în cursurile de apă existente în aval, afectând calitatea apei, fauna acvatică și biodiversitatea [19];

iii) Potențialul de încălzire globală. Reprezintă indicatorul utilizat pentru estimarea impactului potențial al gazelor cu efect de seră (GHG) asupra sistemului climatic [20], ca efect al arderii carburanților fosili și al industriei, cu efecte directe asupra sănătății umane și a ecosistemelor. Efectele secundare ale emisiilor de GHG, pe lângă fenomenul de încălzire globală, constau din deprecierea stratului de ozon, acidificarea apei și solului;

iv) Consumul de energie şi resurse. Consumul de energie și resurse nu exprimă, în sensul propriu, un impact asupra mediului sau al omului, dar pot fi analizate prin prisma amprentei de mediu a unui sistem-produs, prin cumularea resurselor utilizate în cadrul unui proiect și, ulterior, pe întreaga durată a viață a acestuia [21].

Prin luarea în considerare a celor expuse anterior, s-au identificat două familii de metodologii de evaluare a impactului asupra mediului cu aplicabilitate în proiectarea şi construcția drumurilor forestiere, care se prezintă în secțiunile următoare, mai întâi sub formă conceptuală şi mai apoi prin prisma rezultatelor obținute în urma aplicării acestora în sectorul forestier.

3. ANALIZA CICLULUI DE VIAŢĂ (LIFE CYCLE ASSESSMENT – LCA)

Analiza Ciclului de Viață (Life Cycle Assessment - LCA) este definită drept compilarea și evaluarea tuturor intrărilor de materiale și energie și a ieșirilor reprezentate de produse, emisii, deșeuri precum și a potențialilor factori de impact asupra mediului, aferente unui sistem-produs, pe întreaga durată de viață a acestuia [22]. Intrările constau, în general, din materii prime şi energie iar, după procesarea în cadrul sistemului-produs, ieșirile constau din produsul principal, produse secundare, deșeuri şi emisii [23]. Din punct de vedere al conținutului, o analiză de tip LCA este structurată în patru etape principale și interconectate, fiecare etapă fiind compusă dintr-o serie de pași reglementați prin standardul ISO 14040 [22], după cum urmează:

i) *Definirea obiectivului și scopul studiului*, reprezintă prima etapă și presupune exprimarea completă, corectă și clară a scopului studiului precum și limitele (graniţele) de desfășurare ale acestuia. Prin definirea obiectivului se menționează, în mod clar, care este motivul realizării studiului (*e.g.* compararea a două sisteme-produs, dezvoltarea de sisteme-produs noi sau îmbunătățirea unui sistem-produs existent, marketing, consultare opinie publică, etc.) și cui îi este adresat studiul (părțile interesate sau implicate în mod direct sau indirect). Prin limitele de desfășurare ale studiului se stabilesc criterii definitorii pentru realizarea studiului după cum urmează: funcția îndeplinită de sistemul-produs și unitatea funcțională la care se raportează întregul sistem-produs, fluxul de referință, limitele sistemului analizat şi calitatea datelor utilizate;

ii) *Dezvoltarea inventarelor* include identificarea și centralizarea, după un format prestabilit în etapa anterioară, a intrărilor de materiale și energie și a ieșirilor din sistemul-produs sub formă de produse, produse secundare, emisii sau deșeuri aferente proceselor ce au loc pe tot parcursul ciclului de viață al sistemului-produs analizat. În această etapă sunt identificare toate procesele implicate, fiind necesară materializarea unei schițe grafice a întregului sistem analizat, ce presupune cartarea și realizarea conexiunilor și dependențelor între procesele unitare care îndeplinesc împreună o funcție. Următoarea etapă presupune identificarea consumurilor de materiale și energie aferente fiecărei etape/proces și rezultatul fiecărei etape/proces sub formă de produse, emisii şi deșeuri. Datele utilizate în studiu pot fi împărțite în mai multe categorii: date provenind din măsurători directe, rapoarte publice şi date provenite din baze de date specializate şi standardizate (*e.g.* EcoInvent). Datele utilizate trebuie să se conformeze unor criterii cantitative și calitative și să respecte acoperirea geografică și spațială specifică obiectivului studiului. Analiza critică și prelucrarea datelor presupune dezvoltarea unui tabel de inventar în care toate intrările și ieșirile au fost transformate în indicatori ce caracterizează factorii de mediu atât ca intrări cât și ca ieșiri din sistemul-produs;

iii) *Evaluarea impactului* se realizează pe baza tabelului de inventar dezvoltat anterior în care intrările și ieșirile sunt cuantificate și clasificate în raport cu impactul de mediu. Pentru aceasta, într-o primă fază a evaluării impactului, sunt selectate *categoriile de*

impact. Categoriile de impact se împart în trei grupe principale: sănătate umană, sănătatea mediului și epuizarea resurselor naturale. În baza categoriilor de impact selectate, se face *clasificarea* și *alocarea* elementelor din inventare pe categorii de impact. Prin *clasificare* se evidențiază potențialul efect asupra mediului iar prin *alocare*, în cazul factorilor ce influențează două categorii de impact, cuantificarea efectului care se poate realiza prin trei modalități, acestea fiind adaptate de la caz la caz: alocarea directă, alocarea procentuală şi alocarea în mai multe categorii de impact.

iv) *Caracterizarea factorilor de mediu*. Aceasta se realizează prin utilizarea factorilor de conversie, determinați științific, pentru a aduce rezultatele inventarelor de intrări și ieșiri într-o formă reprezentativă și comparabilă, rezultatul fiind numit Indicator de impact.

v) *Normalizarea datelor* ajută la exprimarea unui indicator de impact într-un mod comparabil între categorii diferite de impact. Normalizarea presupune raportarea indicatorului de impact la o valoarea de referință. Gruparea indicatorilor de impact pe categorii facilitează interpretarea acestora pe arii de interes şi se poate face fie după caracteristici (tip de emisie, impact local, global), fie după importanță (clasificarea se realizează în funcție de magnitudinea datelor rezultate);

vi) *Interpretarea rezultatelor* reprezintă etapă finală a studiului, în care rezultatele sunt analizate și comparate. Raportat la scopul studiului, rezultatele pot fi simple valori sau indici de mediu, în care fiecare factor este raportat în funcție de importanța acestuia.

Analiza de tip LCA a fost utilizată cu succes în evaluarea impactului de mediu al proiectelor de dezvoltare a infrastructurii rutiere, primul studiu considerat a fi complet fiind realizat de Stripple [24]. Acesta a analizat emisiile aferente ciclului de viață pentru construcția, mentenanța și utilizarea a 1 km de drum public, pe o durată de 40 de ani, în Suedia. În prezent, există o multitudine de studii de tipul LCA ce vizează lucrările de infrastructură. Acestea adresează subiecte precum planificarea lucrărilor de mentenanță [25-26], studii comparative pentru diferitele tipuri de materiale ce îndeplinesc funcții similare [25] sau chiar elaborarea de programe pentru evaluarea proiectelor publice de infrastructură [27-29].

Sectorul forestier nu a acceptat pe deplin studiile de tipul LCA și, din cunoștințele noastre, nu există un cadru clar pentru realizarea acestora [*e.g.* 13-14], rezultatul fiind o variație mare de abordări cu o plajă largă de rezultate pentru operații similare. Până în prezent, țelul principal al studiilor din sectorul forestier a fost producția de masă lemnoasă sub diverse forme, rezultând unități funcționale utilizate frecvent precum metrul cub de lemn cu coajă, metrul cub de lemn fără coajă, tona de lemn/celuloză [13]. Principală sursă de variație a rezultatelor, a fost reprezentată de granițele sistemului analizat, unde doar o parte din studiile de tip LCA au inclus și mentenanța sau dezvoltarea infrastructurii forestiere [13]. Astfel, studiile ce au realizat o analiză completă și au inclus aspecte referitoare la dezvoltarea și mentenanța infrastructurii, au arătat faptul că aproximativ 60% din totalul emisiilor de CO_2 sunt relaționate cu dezvoltarea şi mentenanța infrastructurii forestiere precum și cu transportului tehnologic al lemnului [14].

Karjalainen şi Asikainen [30] au analizat emisiile de CO_2 rezultate în urma proceselor mecanizate din sectorul forestier în Finlanda la nivelul anul 1993. Analiza a inclus operații precum lucrările silviculturale de îngrijire și conducere a arboretelor, exploatarea lemnului, transportul

tehnologic și dezvoltarea de drumuri forestiere noi. Rezultatele studiului au raportat, pentru 1 km de drum forestier, un necesar total de 474 ore-utilaj cu excavatorul, 4,25 cu buldozerul, 6,84 cu încărcătorul frontal și 24 aferente transportului agregatelor naturale pentru punere în operă, precum şi un total de 1.236,2 l carburanți fosili consumați pentru un kilometru de drum. Prin transformare în emisii de CO_2, a rezultat un total de 3.291 de kg de CO_{2eq}/km de drum forestier.

Timmermann şi Dibdiakova [31] au analizat impactul de mediu aferent sectorului forestier din estul Norvegiei, utilizând metodologia specifică LCA, printr-un studiu ce a cuprins toate operațiile aferente, de la plantare până la livrarea lemnului în centrele de procesare și industrializare. Studiul a fost raportat la unitatea funcțională de 1 m^3 lemn fără coajă, iar pentru un total de 6,68 mil. m^3 exploatați în anul 2010, a rezultat un total de 0,308 kg CO_2/m^3 (1,7% din totalul emisiilor) aferent activității de construcție de drumuri forestiere și un total de 8,489 kg CO_2/m^3 (47,7% din totalul emisiilor) aferent transportului masei lemnoase.

Whittaker et al. [32], utilizând metodologia specifică LCA, au realizat un studiu în Anglia, pentru a verifica fezabilitatea colectării biomasei rezultate din deșeurile de exploatare (arbori de diametre mici, cioate, crăci) din punct de vedere al impactului asupra mediului. Studiul a inclus și dezvoltarea infrastructurii forestiere, aceasta fiind recunoscută drept o componentă cu un impact major asupra mediului. Aferent operației de construcție a drumurilor forestiere, au fost incluse în analiză consumul direct de carburanți (aproximativ 44%, rezultat în urma realizării lucrărilor de terasamente, extracția și transportul agregatelor naturale pentru suprastructură și punerea lor în operă), emisiile aferente construcției utilajelor necesare (aproximativ 13%) și întreținerii acestora (aproximativ 0,3%).

4. ENERGIA ÎNGLOBATĂ (EMBODIED ENERGY – EE)

Energia înglobată (EE), cuprinde totalitatea energiei necesare pentru extracția materiei prime, fabricarea materialelor necesare, transportul acestora precum şi energia utilizată pentru realizarea operațiilor necesare unui sistem-produs. Din punct de vedere metodologic, pentru realizarea analizei de tip EE, nu exista o procedură clar definită, motiv pentru care rezultatele sunt variate. Ca referință, analiza EE este considerată o subcomponentă a analizei de tip LCA, ce se regăsește în conceptul de Life Cycle Energy Analysis - analiza energetică a ciclului de viață [33]. Prima încercare de reglementare și standardizare a studiilor de tip EE a fost în cadrul general internațional oferit de International Federation of Institutes for Advanced Studies - IFIAS [34] conferință în cadrul căreia au fost stabilite 4 niveluri teoretice pentru analiză, interconectate, aferente studiilor de tip EE. În nivelul 1 (Stage 1) sunt incluse materialele utilizate și energia directă sau finală utilizată pentru realizarea sistemului-produs. Nivelul 2, include fabricarea materialelor utilizate în Nivelul 1 și energia necesară realizării acestora. Nivelul 3, include fabricarea utilajelor necesare realizării materialelor utilizate în Nivelul 2 și energia necesară realizării acestora. Analiza se poate extinde până la origini fiind incluse toate etapele aferente dar, în practică, studiile întreprinse sunt limitate la nivelurile 2-3, intervenind așa-numita *trunchiere* a analizei, ceea ce conduce la rezultate incomplete [35]. Suma energiei cumulate în Nivelul 1 este catalogată drept *Energie Directă*, iar suma energiei aferente Nivelurilor 2, 3, ..., n, este catalogată drept *Energie Indirectă*.

Studiile de tip EE efectuate până în prezent au fost concentrate pe analiza energetică a materialelor de construcții [35], eficiența construcțiilor, în special a imobilelor [36], iar în unele state precum Marea Britanie și Australia, există reglementări pentru estimarea EE pentru proiectele noi, fiind dezvoltate inclusiv baze de date specifice cum ar fi, de exemplu, *Embodied Energy and Carbon*, ce oferă valori pe unitatea de măsură pentru materialele uzuale în sectorul de construcții. Analiza energiei înglobate este legată de analiza LCA, fiind considerată o analiză hibridă, în care datele de proces și cele de tipul intrărilor (Input) și ieșirilor (Output) sunt combinate pentru a se reduce numărul erorilor survenite în urma fenomenul de trunchiere a datelor [33]. Într-o analiză LCA clasică există posibilitatea omiterii proceselor aferente serviciilor anexe sau a volumelor mici de materiale. În același timp, deși este cuprinzătoare, analiza face, în unele cazuri, obiectul unor erori inerente datorate utilizării datelor economice pentru a simula fluxurile fizice și agregarea întregii economii într-o matrice relativ simplă [37].

În sectorul forestier, Pandur et al. [38] au analizat eficiența unei administrații forestiere din Croația la nivelul anului 2012, folosind metodologia EE, prin realizarea un raport între energia investită și energia obținută (*Energy Return of Investment- EROI*). Deși nu au fost inclusă dezvoltarea de drumuri noi, mentenanța drumurilor a fost inclusă în analiză, rezultând o valoare de 9,02 MJ/m^3 de lemn de foc exploatat. Pentru activitatea de construcție de drumurilor forestiere, a fost elaborată o metodologie de evaluare a indicatorilor de performanță organizațională a unui drum forestier [39]. Din punct de vedere structural, aceasta presupune elaborarea unei reprezentări grafice a procesului tehnologic în care să fie incluse sub-procesele și fluxul de energie și materiale sub forma unei matrici a operațiilor. Pe baza acesteia au fost analizate consumurile de energie pentru activitatea de construcție a drumurilor forestiere, rezultând o valoare de 350 MJ/m și s-a verificat influența declivității transversale asupra consumului de energie pe metrul liniar de drum. Studiul a fost realizat pentru un drum cu lățimea de 4,2 m pe un teren cu declivitatea transversală de 50%. Complexul rutier pentru drumul luat în studiu, a fost compus din două straturi, unul de bază de 30 de cm și cel de uzură de 8 cm. S-a constatat că o declivitate de 60% în profil transversal dublează necesarul de energie iar o declivitate de 70% triplează această valoare [39].

Pornind de la metodologia elaborată şi aplicată de [39], utilizând principiul matricii tehnologice, Enache şi Stampfer [40] au analizat consumul de energie directă (excluzând energia aferentă construcției utilajelor necesare), pentru două proiecte de construcție de drumuri forestiere din județul Bacău, România. În urma analizei pentru fiecare etapă de muncă, pentru un metru liniar de drum s-a raportat un consum energetic de 223.12 MJ, de 0,93 ore manoperă, 6,25 l consum de motorină și de 0,772 ore utilaj, din care 0,217 ore pentru excavator și 0,202 ore pentru camion.

5. DISCUŢII

În lipsa unui cadru clar de evaluare a impactului asupra mediului, așa cum s-a evidențiat anterior, studiile ce au utilizat aceeași metodă au obținut diferențe mari între rezultate, acestea fiind imposibil de comparat. Fiecare dintre cele două metode prezentate, LCA şi EE, prezintă o serie de avantaje dar și limitări. LCA a luat naștere în anii ’60, când au fost realizate primele studii de acest fel şi prima formă standardizată s-a implementat în anii ’90 când ISO a eliberat primul standard [37]. Analizele de tip LCA, ce au fost acceptate de diverse sectoare ale industriei, fapt demonstrat prin multitudinea de studii existente, au clasificat analiza LCA ca fiind o unealtă decizională în ceea ce

privește politica de mediu. Printre avantajele metodologiei, conform US EPA [41] se numără: abordarea holistică, ce elimină posibilitatea de a transfera factorul de impact de la o etapă a vieții unui produs la alta sau de la un domeniu la altul, elaborarea unei evaluări sistematice a consecințelor asupra mediului, asociate unui sistem-produs, analiza compromisurilor de mediu asociate unui sistem-produs și consultarea părților interesate de proiect, cuantificarea emisiilor de mediu în sol, apă şi aer, aferente fiecărei etape de viață a unui sistem-produs, evaluarea efectelor asupra omului și a ecosistemelor precum și asistarea la identificarea schimburilor semnificative ale impactului asupra mediului între diferitele etape ale ciclurilor de viață specifice unui sistem-produs. Printre limitările metodologiei se numără abordarea holistică care, deși este un punct forte al metodei, atrage după sine un consum mare de timp și resurse pentru a realiza un studiu netrunchiat [37]. Studiile de tip LCA sunt direct influențate de acuratețea datelor utilizate iar, în cazul studiilor complexe, lipsa datelor dă naștere fenomenului de trunchiere a datelor, în timp ce pentru anumite domenii datele specifice pot să lipsească [42]. LCA este focusată pe impactul de mediu și nu include analize comparative de costuri sau analize sociale. Pentru acestea s-au dezvoltat metodologii precum *Life Cycle Costing* şi *Life Cycle Social Analysis* [43]. Datorită volumului mare de date de identificat și analizat, fluxurile elementare nu sunt incluse, în totalitate, în bazele de date existente. Deși analizează consumul de resurse, LCA nu accentuează efectele epuizării locale a resurselor [44]. Un alt aspect este cel legat de lipsa factorilor de caracterizare pentru resursele biotice (regenerabile) şi în multe situații fluxurile elementare nu sunt considerate, sau sunt omise din lipsă de date [45].

În ceea ce privește EE, în lipsa unei metodologii standardizate, au existat diverse abordări în literatura de specialitate [33] privind conducerea studiilor. Diversele abordări existente au fost analizate de Dixit [35], acestea fiind împărțite în trei categorii, după cum urmează:

i) *Process-Based Embodied Energy Analysis* (analiza energiei înglobate pe bază de procese), care poate fi considerată una dintre cele mai uzuale abordări în efectuarea studiilor de tip EE [33] care, în anumite condiții, poate oferi un rezultat precis. Abordarea consideră materialele necesare drept produse finale și pornește o analiză, în sens invers, pentru determinarea energiei directe și indirecte aferente obținerii materialelor necesare. Punctul slab al acestei abordări, constă în imposibilitatea de a urmări în amonte toate procesele de fabricație a materiilor prime, intervenind, astfel, trunchierea proceselor și incertitudinea rezultatelor [33,46].

ii) *Input-Output-Based Embodied Energy Analysis* (analiza energiei înglobate pe baza tabelelor economice cu intrări și ieșiri), bazată pe teoria lui Wassily Leontieff din 1930, utilizează schimburile monetare între sectoarele industriei pentru a determina energia înglobată într-un sistem-produs [46]. Tabelele economice de tipul Input-Output sunt elaborate periodic la nivel național, oferind valorile medii ale sectorului de industrie vizat. Avantajul acestei abordări este reprezentat de starea de echilibru a fluxurilor dintre sectoare, explicată prin faptul că orice creștere a unui sector consumator numită cerere directă, este transmisă cu aceeași intensitate sectorului care aprovizionează, care, la rândul său, o va transmite mai departe fiind denumită cerere indirectă. În concluzie, într-o analiză de tipul I/O, pentru estimarea EE, se multiplică costul unui produs cu intensitatea energetică. Deși este considerată un tip de analiză complet, aceasta prezintă dezavantajul abordării generale a categoriilor de produse și oferă un rezultat mai puțin specific, comparativ cu analiza bazată pe procese. Alte surse ale unui

rezultat incert pot fi: vechimea tabelelor I-O, valorile tarifelor fixe pentru energie, prezumția de proporționalitate între sectoare etc [33, 46].

iii) *Hybrid Analysis* (analiza hibridă) presupune integrarea celor două metode menționate anterior prin utilizarea punctelor forte ale acestora [33]. Pentru Nivelul de Analiză 1 și în unele cazuri, când se pot obține date corespunzătoare și pentru Nivelul 2 de Analiză, este utilizată metoda de analiză EE bazată pe analiza de proces. Pentru restul datelor necesare efectuării studiului, este utilizată metoda bazată pe tabelele I-O. [33, 46].

Comparativ cu LCA, EE nu identifică factorii de impact asupra mediului sau amploarea unui fenomen, dar oferă imaginea de ansamblu a eficienței energetice a unui sistem-produs prin evaluarea consumului de energie și resurse, fiind o unealtă decizională în compararea soluțiilor alternative, reușind să compenseze lipsa datelor specifice din cadrul analizelor de tipul LCA [42].

5. CONCLUZII

Principala provocare în evaluarea impactului asupra mediului, indiferent de metoda aleasă, constă în cuantificarea intrărilor și ieșirilor dintr-un sistem-produs și transpunerea în mod corespunzător a acestor valori în posibili factori de impact, aferenți fiecărei categorii precum și în a evita omiterea sau dublarea acestora. Ambele metode pot fi utilizate cu succes în evaluarea impactului asupra mediului aferent activității de construcție a drumurilor forestiere și în obținerea de rezultate detaliate menite să asiste decizia în alegerea soluțiilor tehnico-economie. La capătul opus, complexitatea metodelor, volumul mare de date necesare şi expertiza necesară pentru realizarea acestor studii conduc la o rată de utilizare scăzută. Dezvoltarea unui cadru adaptat sectorului forestier, poate duce la o creștere a gradului de utilizare, la dezvoltarea unor baze de date specifice la nivel național cât și la posibilitatea de a compara studiile între ele. Raportat la scopul studiului, analiza de tip LCA, datorită abordării sale holistice, se poate utiliza în evaluarea efectelor pe termen mediu și lung asupra sănătății umane şi a ecosistemelor precum și a celor asociate cu epuizarea resurselor naturale aferente activității de construcție a drumurilor forestiere. La capătul opus, analiza de tip EE, deși nu analizează în mod direct efectele adverse a posibililor factori de impact asupra mediului, oferă o imagine de ansamblu cu privire la eficiența energetică a sistemului-produs. Extrapolând, un drum forestier poate fi analizat sub formă de entitate, aspectele vizate fiind eficiența utilajelor utilizate, tipul materialelor, modul de conducere al traseului etc., sau sub formă de componentă a unei rețele de drumuri forestiere, astfel fiind obținută o imagine de ansamblu a eficienței rețelei de drumuri forestiere analizate și necesitatea dezvoltării de drumuri noi, prin exprimarea, de exemplu, a energiei necesare [MJ] pentru colectarea unui m^3 de lemn.

MATERIALE SUPLIMENTARE

Nu este cazul.

FINANȚARE

Nu este cazul.

MULȚUMIRI

Autorul dorește să mulțumească Departamentului de Exploatări Forestiere, Amenajarea Pădurilor și Măsurători Terestre, al Facultății de Silvicultură și Exploatări Forestiere, Universitatea Transilvania din Brașov pentru sprijinul material și logistic acordat în desfășurarea studiului.

Prezentul studiu a fost elaborat ca parte integrată a unei teze de doctorat în curs de elaborare în cadrul Școlii Doctorale Interdisciplinare a Universității Transilvania din Brașov.

CONFLICT DE INTERESE

Autorul nu declară niciun conflict de interese.

ANEXE

Nu este cazul.

REZUMAT EXTINS - EXTENDED ABSTRACT

Title in English: *Methods for Environmental Impact Assessment of Forest Road Construction and Maintenance - A Short Review*

Introduction: *Optimization of forest road network has been one of the main concern of practitioners and scientists in the forestry sector. In our knowledge, most of the methods developed so far have been based on economical premises, taking in consideration the lowest cost for logging. In Romania, only recently (since 2012) has been introduced along with the current standard for forest road design PD 003-11, the environmental impact assessment, using the Global Pollution Indicator, a method consisting in two steps - one analytical and one graphical - that provides a ratio between that state of environment before the project and the state of the environment after the project. However, the current method, presents some limitations as it is generic, taking in consideration the national values for environmental burdens. The main goal of the current paper was to identify alternative methods for environmental assessment of forest road construction and maintenance and evaluate them in order to identify their capabilities and limitations.*

Materials and methods: *To identify alternative methods used for environmental impact assessments of forest road construction, international literature and journals were consulted and based on it a set of criteria was established in order to select the methods. First, the potential environmental burden of forest road projects was identified and secondly the criteria for selecting the methods used for assessing the environmental impact was developed.*

Results and discussions: *The methods that were successfully used in forest road construction environmental impact assessment are the Life Cycle Assessment and Embodied Energy. Although they are similar as approach, the base method is different offering different results. For LCA, selected studies were performed in Norway, Finland and UK, all of them analyzing particular aspects of forestry system and included the development of forest road construction or maintenance. The results varied, due to specific condition of the area (specific design of the road, type of soil and slope gradient, available technology, available resources) and the boundaries of the study that clearly specifies what was included and what left out in the analysis, making it a crucial aspect of any analysis. Regarding the Embodied Energy Analysis, the results were expressed in MJ/Km of road. For the forest roads, a method was developed in 2003, analyzing the variation of energy requirements related to slope gradient, resulting in inputs of 350 MJ/m for a road developed on a 50% slope, 700 MJ/m for 60% and 1050 MJ/m for 70%. In Romania, a study was performed by analyzing 2 projects, resulting in a value of 223,12 MJ/m of road.*

Conclusions: *The focus of this study was on the two methods: Life Cycle Assessment and Embodied Energy. Both have a great potential for using in the forest road network development projects. However, the choice of the method to be used should be based on its specificity and study's goal and scope with respect of its magnitude.*

REFERINȚE

1. Matthews D., 1942: *Cost control in the logging industry*. McGraw-Hil, American forestry series, New-York. 374 p.

2. Heinimann H.R., 2013: *Forest Road Network and Transportation Engineering - State and Perspectives*. Croat J For Eng, 38(2): 155–73.

3. Segebaden G., 1964: S*tudies of cross-country transport distance and road net extension*. Studia Forestralia Suecica., 18(18): 70.

4. Bereziuc R., 1981: *Drumuri forestiere*. Editura Didactică și Pedagogică București.

5. Olteanu N., 2008: *Drumuri forestiere-Proiectarea drumurilor forestiere*. Editura Universităţii Transilvania din Braşov.

6. Vișan J., 2017: *Sistem decizional IT pentru gestionarea și dezvoltarea rețelei de drumuri forestiere*. Teză de doctorat, Universitatea ,,Transilvania" din Braşov, Brașov.

7. Bereziuc R., Ciobanu V., Alexandru V., Ignea G., 2008: *Elemente pentru fundamentarea normativului de proiectare drumuri forestiere*. Editura Universității ,,Transilvania" din Braşov, Brașov.

8. Amzica A, 1971: *Contributii la studiul desimii optime a retelei de drumuri auto forestiere din România*.Teză de doctorat, Universitatea ,,Transilvania", Brașov, Facultatea de Silvicultură.

9. Enache A., 2013: *Sistem de suport decizional privind optimizarea amplasării drumurilor forestiere în pădurile montane din România*. Teză de doctorat, Universitatea ,,Transilvania" din Brașov.

10. PD003-11., 2012: *Normativ privind proiectarea drumurilor forestiere. Indicativ PD 003-11*. Disponibil la: http://apepaduri.gov.ro/wp-content/uploads/2014/07/Cuprins-Normativ-de-proiectare-1.pdf

11. Legea 292/2018 privind evaluarea impactului anumitor proiecte publice şi private asupra mediului. 2018 - Monitorul Oficial.

12. Faur F., 2012: *Elaborarea unei noi metodologii de calcul a notelor de bonitate acordate factorilor de mediu(APA)*. Disponibil la: www.researchgate.net/publication/286457967.

13. Klein D., Wolf C., Schulz C., Weber-Blaschke G., 2015: *20 years of life cycle assessment (LCA) in the forestry sector: state of the art and a methodical proposal for the LCA of forest production*. Int J Life Cycle Assess., 20(4): 556–75.

14. Heinimann H.R., 2012: *Life Cycle Assessment (LCA) in Forestry - State and Perspectives*. Croatian Journal of Forest Engineering, 33(2): 357–72.

15. Jolliet O., Müller-Wenk R., Bare J., Brent A., Goedkoop M., Heijungs R., 2004: *The LCIA midpoint-damage framework of the UNEP/SETAC life cycle initiative*. International Journal of Life Cycle Assessment 9(6): 394–404.

16. IPCC, 2000: *Guidance on EIA*. Land Use, Land-Use Change and Forestry.ISBN 92-894-1338-0.

17. Seiler A., 2001: *Ecological Effects of Roads, A review*. Swedish University of Agricultural Sciences.

18. Pimentel D., 2005: *Soil Erosion: A food and environmental threat*. Evironment, Development Sustainability, vol 8: 119-137;

19. Aruga K., Sessions J., Miyata E.S., 2005: *Forest road design with soil sediment evaluation using a high-resolution DEM*. The Japanese Forest Society and Springer. 10(6):471–9.

20. Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, Noguer M, van der Linden PJ, Dai X., 2001: *Climate Change, The Scientific Basis, Contribution of Working Group I (WG1) to the Third Assessment Report (TAR) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*.

21. Wiesen K, Wirges M., 2017: *From cumulated energy demand to cumulated raw material demand: the material footprint as a sum parameter in life cycle assessment*. Energy Sustainability and Society;7:13.

22. ISO 14040 , 2006: International Standard. Vol. 6, International Standardization for Organization.

23. US EPA O.: *Overview of Greenhouse Gases* . Disponibil la: https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases .

24. Stripple H., 2001: *Life Cycle Assessment of Road A Pilot Study for Inventory Analysis Second Revised Edition For the Swedish National Road Administration* .IVL Swedish Environmental Reseach Institute .

25. Chowdhury R, Apul D, Fry T., 2010: *A life cycle based environmental impacts assessment of construction materials used in road construction*. Resource Conservation and Recycling.;54(4):250–5.

26. Itoya E, Hazell K, Ison S, El-Hamalawi A, Frost M., 2012: *Framework for Carbon Emission Evaluation of Road Maintenance*.;2292(0):1–11. Disponibil la: http://trrjournalonline.trb.org/doi/10.3141/2292-01

27. Barandica JM., Delgado JA., Berzosa Á., Fernández-Sánchez G., Serrano JM., Zorrilla JM.,2014: *Estimation of CO2 emissions in the life cycle of roads through the disruption and restoration of environmental systems*. Ecological Engineering. ;71:154–64.

28. Barandica JM, Fernández-Sánchez G, Berzosa Á, Delgado JA, Acosta FJ., 2013: *Applying life cycle thinking to reduce greenhouse gas emissions from road project*s. Journal of Clean Production ;57:79–91.

29. Jullien A, Dauvergne M, Cerezo V., 2014: E*nvironmental assessment of road construction and maintenance policies using LCA*. Transportation Research Part D 29. 56-65.

30. Karjalainen T, Asikainen A., 1996: *Greenhouse gas emissions from the use of primary energy in forest operations and long-distance transportation of timber in Finland*. Disponibil la: http://forestry.oxfordjournals.org/content/69/3/215.abstract .

31. Timmermann V, Dibdiakova J., 2014: *Greenhouse gas emissions from forestry in East Norway*. Internation Journal Life Cycle Assessment, 19 : 1593-1606.

32. Whittaker C, Mortimer N, Murphy R, Matthews R., 2011: *Energy and greenhouse gas balance of the use of forest residues for bioenergy production in the UK*. Biomass and Bioenergy ;35(11):4581–94.

33. Dixit M, Lavy S, Culp C., 2014: *Protocol for Embodied Energy Measurement Parameters*. Disponibil la : https://www.researchgate.net/publication/228588879.

34. IFIAS., 1978: *IFIAS Workshop Report, energy analysis and economics*. Resources and Energy.;1(2):151–204.

35. Dixit M., 2013: *Embodied Energy Calculation: Method and Guidelines for a Building and Its Constituent Materials.* Disponibil las: http://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/151701/DIXIT-DISSERTATION-2013.pdf?sequence=1.

36. Kariyawasam K, Jayasinghe C., 2016: *Cement stabilized rammed earth as a sustainable construction material*. Construction and Building Materials.

37. Udo de Haes HA, van Rooijen M., 2005: Life Cycle approaches : *The road from analysis to practice. Life Cycle Approaches* . UNEP/SETAC Life Cycle Initiative.

38. Pandur Z, Šušnjar M, Zorić M, Nevečerel H., 2015: *Energy Return on Investment (EROI) of Different Wood Products*;166–83. Disponibil la: http://www.intechopen.com/books/precious-forests-precious-earth/energy-return-on-investment-eroi-of-different-wood-products.

39. Heinimann HR, Maeda-inaba S., 2003: *Quantification of Environmental Performance Indicators EPIs for Forest roads.* Proceedings Austro2003 meeting High Tech For Operations for Mountainous Terrain, , Schlaegl – Austria. 2003;1–13.

40. Enache A, Stampfer K., 2014: *Environmental performance of forest roads due to construction , maintenance and use – case study analyses in Romanian mountain forests*. 37th Council on Forest Engineering Annual Meeting. 2014;1–10.

41. US EPA O.: *Understanding Global Warming Potentials*. Disponibil la: https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials.

42. Treloar GJ, Love PED, Crawford RH., 2004: *Hybrid Life-Cycle Inventory for Road Construction and Use*. Journal of Constrion Engineering Management, 4;130(1):43–9.Disponibil la: http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290733-9364%282004%29130%3A1%2843%29 .

43. de Bruijn H, van Duin R, Huijbregts M., 2002: *Handbook on Life Cycle Assessment*. Vol. 7, Operational Guide to the ISO Standards. . 687 p. Disponibil la: http://www.lavoisier.fr/livre/notice.asp?id=RKOW3OAO33SOWT%5Cnhttp://link.springer.com/10.1007/0-306-48055-7.

44. Reap J, Roman F, Duncan S, Bras B., 2008: *A survey of unresolved problems in life cycle assessment*. International Journal of Life Cycle Assessment. ;13(4):290–300.

45. Crenna E, Sozzo S, Sala S., 2018: *Natural biotic resources in LCA: Towards an impact assessment model for sustainable supply chain management*. Journal of Cleanear Production;172:3669–84. Disponibil la: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29358846.

46. Menzies GF, Turan S, Banfill P., 2007: *Life-cycle assessment and embodied energy: a review*. Construction Materials. 60(4):135–43.