

Evaluarea nivelului de maturitate tehnologică a dispozitivelor RFID pentru marcarea arborilor și analiza posibilității de utilizare a acestora în România

D. Pălie, L. Bouriaud

Pălie D., Bouriaud L., 2024. Evaluation of the level of technological maturity of RFID devices for marking trees and analysis of the possibilities of their use in Romania. Bucov. For. 24(1): 67-83

Abstract. In recent years research findings on the use of RFID (Radio frequency identification) on forest sector has been accumulating. Since technological progress is very rapid a synthesis of the research results is needed as to know to what extent the use of this technology is appropriate in the forestry sector in Romania. This study is important because the forestry sector cannot be competitive if it is cut off from technological progress, in particular if considered that automation and robotization will be increasingly present in forestry due to the lack of manpower. In the immediate future, the forestry entities and operators will need to import technologies compatible with their own business-model as to provide a clear endorsement that the raw material is supplied from sustainably managed forests. The main barrier to this technology transfer is the difficulty of integrating the use of RFID tool into forestry operations related to placing timber on the market. Hence, we use the available research results to understand which organizational, or behavioral and technical characteristics are determining the technological progress up-taking for a better traceability of raw material coming from Romanian forests.

Keywords: Marking standing trees, RFID tags for wood, RFID in forestry activities.

Authors. Dorin Pălie (dorinpalie84@gmail.com.), Laura Bouriaud - Faculty of Forestry, "Ștefan cel Mare" University of Suceava, str. Universității, nr.13, 720229, Suceava.

Manuscript received April 5, 2024; revised June 12, 2024; accepted June 20, 2024; online first July 28, 2024.

Introducere

Tehnologiile bazate pe senzori pentru asigurarea trasabilității și a conectivității în industrie ocupă un loc aparte în conceptele și tehnologiile de nouă generație cunoscute sub denumirea de *Industry 4.0*. Între altele, evoluția tehnologică a sistemelor informatice de monitorizare și gestionare a mărfurilor aflate în depozit sau în tranzit a beneficiat din plin în ultimul de-

eniu de dezvoltarea și diversificarea dispozitivelor RFID (*Radio frequency identification*) (Mueller et al. 2019). Utilizarea tehnologiei RFID a câștigat teren în ultimul timp mai ales în managementul lanțurilor de custodie, având o precizie ridicată de gestionare a datelor ce poate contribui la eficientizarea controlului mărfurilor în tranzit, și reducând sursele de erori prin furnizarea de informații exacte (Tudora și Alexandru 2011).

În sectorul forestier, trasabilitatea lemnului în cadrul operațiunilor de punere în valoare sau exploatare forestiere este asigurată prin mai multe metode de marcare a arborilor cum ar fi: marcarea cu vopsea, codurile de bare, codurile QR și tehnologia RFID, ultima fiind considerată o soluție de viitor (Tzoulis și Andreopolou 2013). Gestionarea eficientă a resurselor forestiere lemnoase depinde de buna organizarea a lucrărilor silvotehnice, dar și de elaborarea unui plan de recoltare care are nevoie de informații din teren cât mai precise pentru a putea fi corelat cu efortul echipelor de exploatare. În acest sens, operațiunea de marcare a arborilor este considerată o modalitate de bază în culegerea informației necesare personalului din teren în vederea planificării și organizării procesului de producție (Pichler et al. 2017).

În Europa, anual se pierde o cantitate însemnată de masă lemnoasă din cauza utilizării ineficiente, una din cauze fiind lipsa informației asupra materiei prime pe parcursul lanțului de aprovizionare (Murphy et al. 2012). Valorificarea eficientă poate fi maximizată dacă lemnul din clase superioare de calitate este direcționat corect spre prelucrare (Murphy et al. 2012). Utilizarea eficientă a informațiilor pe tot parcursul lanțului de aprovizionare, precum și monitorizarea impactului asupra mediului ar putea fi asigurată de un sistem de trasabilitate automat (Björk et al. 2011) și ar putea ajuta inclusiv la prevenirea tăierilor ilegale (Kaakkuri-vaara și Kaakkuri-vaara 2019), la valorificarea corectă a resurselor forestiere și la creșterea vânzărilor (Picchi et al. 2022).

Unele dintre primele mențiuni despre utilizarea unui sistem de etichetare a buștenilor apar într-un studiu realizat în 1995 la Universitatea de Stat din Oregon (Ozanne și Vlosky 1995, citat de Murphy et al. 2012) în care se argumentează utilizarea etichetării la aplicarea schemelor de certificare de mediu (ex. Forest Stewardship Council). Autorii studiului amintit mai sus descriu o serie de metode moderne de marcare a arborilor în cadrul activităților forestiere, etichetele RFID fiind menționate ca fiind un concurent principal al sistemelor convenționale de marcat.

România este cunoscută ca o țară cu resurse valoroase de lemn, dar cu risc ridicat pentru tăieri ilegale care au fost declarate în anul 2015 ca problemă de securitate națională. Începând cu anul 2014 un sistem electronic de urmărirea a lemnului (SUMAL) a fost implementat de către Serviciul de Telecomunicații Speciale. O modernizare importantă a avut loc de altfel în anul 2020 (SUMAL 2.0) prin care oricărui cetățean i se oferă posibilitatea verificării în timp real a legalității lemnului din mijloacele de transport care circulă pe drumurile publice. Cu toate acestea, implementarea unui sistem fiabil de urmărire a lemnului are o verigă slabă și anume identificarea originii lemnului (Bouriaud 2014). În practica obișnuită se utilizează ciocanul silvic pentru a marca arborele în zona coletului, după recoltare cioata marcată rămasă atestând legalitatea recoltării. Acest sistem este însă ușor de falsificat prin diferite modalități, iar marca este supusă degradării rapide în teren, făcând uneori imposibilă stabilirea cu certitudine dacă arborele a fost recoltat legal sau ilegal (Bouriaud 2014). Prin urmare, operatorii și administratorii de păduri nu pot avea control deplin asupra originii lemnului recoltat. În plus, sistemul fiind condus de un serviciu special de stat, datele nu sunt disponibile utilizatorilor sistemului și aceste informații nu pot fi folosite pentru efectuare de analize de risc.

Aceste neajunsuri ar trebui corectate pentru menținerea competitivității industriei lemnului din România, deoarece la nivel internațional se pune tot mai mult accent pe sisteme moderne de monitorizare a masei lemnoase, dorindu-se o evidență cât mai precisă a circulației lemnului de la recoltare până la prelucrare (Murphy et al. 2012). În acest scop au fost derulate diverse programe de cercetare și testare a tehnologiei RFID în domeniul silvic, în care au fost implicate universități, institute de cercetare, firme procesatoare de lemn, dezvoltatori IT și ai tehnologiei RFID din Europa, Asia cât și din S.U.A.. După unii cercetători, noile concepte și tehnologii vor conduce la a patra revoluție industrială, la care cu siguranță se vor alinia practica și cercetarea din silvicultură (Mueller et al. 2019).

Din acest punct de vedere, realizarea unei sinteze a literaturii de specialitate în privința posibilității de utilizare a tehnologiei RFID este necesară, având în vedere atât viteza progresului tehnologic cât și necesitatea alinierii rapide a sectorului forestier din România la cerințele sporite de trasabilitate și legalitate. În ultimul deceniu s-au acumulat o serie de rezultate de cercetare cu privire la utilizarea tehnologiei RFID în diverse domenii conexe silviculturii și este oportună realizarea unei evaluări pentru a ști în ce măsură se poate conta pe utilizarea acestei tehnologii în viitorul apropiat în sectorul forestier în România și în special în activitățile de marcarea arborilor.

Scop și obiective

Aplicarea oricărei tehnologii în industrie este determinată de nivelul de maturitate tehnologică (Ma et al. 2022). Pentru a fi transferată în practică, tehnologia îndeplinește cel puțin caracteristicile unei tehnologii de nivel TRL5, respectiv sistemul a fost validat în laborator la scară redusă sau mărită prin reproducerea condițiilor reale de funcționare. De aceea, scopul lucrării este de a evalua, pe baza sintezei literaturii de specialitate, care este nivelul de progres tehnologic în privința utilizării dispozitivelor RFID în pădure, premergător sau concomitent procesului de recoltare, și ce condiții sunt necesare pentru a trece la un nivel tehnologic superior. În acest scop, lucrarea își propune următoarele obiective:

O1 Descrierea caracteristicilor tehnice ale diferitelor sisteme RFID cu aplicabilitate în pădure;
O2 Identificarea oportunităților de utilizare a dispozitivelor RFID în sectorul forestier (în pădure și în industrie) și evidențierea evoluției contextului utilizării;

O3 Studiul pieței pentru evaluarea gradului de maturitate tehnologică (TRL);

O4 Formularea de recomandări pe baza literaturii și a opțiunilor existente pe piață pentru a facilita trecerea la un nivel de dezvoltare tehnologică superior;

Material și metode

Acest studiu se bazează pe o abordare clasică pentru evaluarea nivelului de maturitate tehnologică (Ma et al. 2022) și anume analiza literaturii, a brevetelor, proiectelor și demonstrațiilor tehnologice existente.

Față de modelul de investigație propus de Ma et al. (2022), în studiul prezent nu s-au analizat aplicațiile industriale pentru motivul că acestea nu există în domeniul forestier. Identificarea articolelor relevante s-a făcut printr-o cercetare de tip bibliografic, utilizând motoarele de căutare puse la dispoziție de bazele de date Web of Science, Science Direct și Google Scholar. Cercetarea bibliografică a utilizat termenii cheie din tabelul 1. Cuvintele cheie utilizate la căutare în limba engleză au condus la identificarea unor studii publicate și în alte limbi (italiană, germană, spaniolă, franceză, croată, finlandeză) dar cu rezumat în limba engleză. Întrucât primele teste de marcarea arborilor în pădure cu ajutorul dispozitivelor RFID au fost efectuate în Italia în anul 2014, o atenție deosebită a fost acordată literaturii publicate în limba italiană.

Termenii utilizați au condus la identificarea unui număr de 820 de articole (Tabelul 1). Deoarece după unii autori tehnologiile mai vechi de zece ani sunt considerate a fi depășite (Mueller et al. 2019), în vederea identificării studiilor ce vizează testarea dispozitivelor RFID pentru marcarea arborilor pe picior în pădure, căutarea s-a limitat la articolele publicate după data de 1.01.2014. Pentru a răspunde la obiectivele O2 și O3, selectarea articolelor relevante a fost realizată pe baza următoarelor criterii: 1) dispozitivele RFID să fie utilizate în sectorul forestier pe arbori sau cioate; 2) să fie testate în teren (nivel de dezvoltare tehnologică cel puțin TRL4); 3) să fie evidențiate în mod clar condițiile de utilizare și limitările dispozitivului. Aplicarea acestor criterii ne-a condus la selectarea a doar 6 articole în engleza (Tabelul 2). Se observă că sunt relativ puține articole care să privească aplicarea tehnologiei RFID la marcarea arborilor, mai multe articole regăsindu-se în privința marcării bușteanului, subiect care însă este în afara

Table 1 Termeni cheie utilizați pentru identificarea literaturii de specialitate
Key terms used to identify the literature

Limba:	Engleză	Nr. art. identificate	Italiană	Nr. art. identificate	Română	Nr. art. identificate
Termeni	Marking standing trees with RFID	11	Marcatura di alberi in piedi con etichette RFID	27	Marcarea arborilor pe picior cu etichete RFID	0
	RFID tags for wood	1	Tag RFID per legno	148	Etichete RFID pentru lemn	0
	RFID in forestry activities	380	RFID in silvicoltura	253	Utilizarea etichetelor RFID în silvicultură	0

scopului acestei cercetări. Pentru fiecare articol, s-a înregistrat zona biogeografică în care a fost experimentat, tipul de etichetă RFID, modul de aplicare pe arbori, tipuri de dispozitive de aplicare, suprafața, număr de arbori, volum care s-a experimentat, perioada de derulare a experimentului, respectiv etapele studiului.

Pentru a evalua nivelul de maturitate tehnologică, am considerat de asemenea necesar să identificăm posibilitatea reală de aprovizionare cu astfel de dispozitive care condiționează firește preluarea lor în practica de teren. Prin urmare, pentru a obține mai multe informații cu privire la dispozitivele RFID ce ar putea fi utilizate la marcarea arborilor și pentru a cunoaște prețul lor, am contactat prin e-mail un număr de opt producători și furnizori. Astfel, studiul prezent se bazează doar pe articolele care fac referință la utilizarea în pădure sau cel mult pe bușteanul recoltat a dispozitivelor RFID, iar oferta disponibilă a fost studiată doar pentru dispozitivele patentate și care sunt compatibile cu activitatea de punere în valoare a arborilor.

Conform definițiilor date în anexa programului Horizon 2020, nivelul de maturitate tehnologică reprezintă stadiul tehnologic al unor componente sau a unui ansamblu/sistem la care s-a ajuns în urma testării în laborator, ori într-un mediu relevant în condiții de funcționare similare celor reale (U.E. 2014). Procesul de maturare tehnologică pornește de la identificarea principiilor de bază urmat de formularea conceptului tehnologic (TRL 1, TRL 2). Demonstrarea funcționalității conceptului se realizează prin studii analitice și experimentale în condiții de laborator (TRL 3). Componentele tehnologiei odată integrate sunt

testate în laborator pentru a stabili funcționalitatea sistemului (TRL 4). Următorul nivel de maturitate tehnologică (TRL 5) este dat de creșterea fidelității testelor de laborator în raport cu sistemul real și cu condițiile reale de utilizare. Validarea prototipului (TRL 6) rezultă în urma testării în condiții de funcționare similare celor reale, într-un mediu relevant. TRL 4-6 reprezintă legătura între cercetarea științifică și aplicația practică.

Rezultate

Scurt istoric al sistemelor de marcarea a arborilor

Unele dintre primele forme de reglementare a gestionării pădurilor au apărut în Franța, instaurate prin decret de regele Philippe al VI-lea, actul său din 1349 (*Ordonnance de Brunoy*, 1349), fiind considerat a fi una din primele formulări ale conceptului de dezvoltare durabilă (Carrez, 1996). Totuși, cea mai importantă în istoria silviculturii rămâne „L'Ordonnance de 1669 de Louis XIV, sur le fait des Eaux et Forêts”, primul cod silvic complex elaborat la inițiativa lui Jean-Baptiste Colbert. În această ordonanță privitoare la domeniul forestier din 1669, în Capitolul al II-lea, Art. 3 este reglementat protocolul de depozitare a ciocanului de marcat „într-un cufăr cu trei chei”, ce poate fi deschis doar de către trei persoane autorizate, fiecărei persoane fiindu-i încredințată câte o cheie, iar în cazul utilizării ciocanului acesta trebuie să fie returnat obligatoriu în aceeași zi. Documentul confirmă astfel utilizarea ciocanelor de marcat aflate sub regimul mărcilor și sigiliilor încă din secolul XVII.



Figura 1 Amprente și ciocane de marcat sec. XVI – XVIII, Muzeul „Opera di Santa Maria del Fiore” Florența, Italia: a) sec. XV; b) sec. XVI- XVIII; c) sec. XVI- XVIII
Hammers and stamps, century XVI – XVIII "Opera di Santa Maria del Fiore" Florence, Italy: a) century XV; b) century XVI- XVIII; c) century XVI- XVIII

Relatări istorice din acea perioadă consemnează faptul că în construcții se utilizau cantități uriașe de lemn, la care se adăuga consumul de lemn pentru foc. În Italia, recunoscută pentru importante opere realizate în perioada Renașterii, s-au păstrat în arhivele muzeelor o serie de documente, precum evidențe fiscale, declarații sau ordine emise de Biserica Catolică care au legătură cu reglementarea utilizării lemnului. De exemplu, la muzeul „Opera di Santa Maria del Fiore” din Florența sunt expuse copii ale unor documente din sec. XV - XVIII care atestă reglementarea circulației masei lemnoase pe râul Arno, care traversează regiunea Toscana în centrul Italiei. Tot aici pot fi văzute diferite amprente ale ciocanelor de marcat din secolul XV, impuse prin ordin (Figura 1a), respectiv ciocane de marcat realizate din diferite aliaje (Figura 1b, c).

Prin urmare, ciocanul silvic de marcat are o lungă istorie de utilizare în Europa. Apariția sistemelor informatice a favorizat trecerea de la marcarea arborilor pe picior la dezvoltarea unor metode noi de asigurare a trasabilității lemnului. În general, s-a pus problema gestionării economice eficiente a masei lemnoase în vederea limitării pierderilor cauzate de lipsa unei evidențe

reale a stocurilor sau a tăierilor ilegale. După anii 2000 au fost abordate tot mai multe metode de marcare, cum ar fi codurile de bare, amprenta cu vopsea, codurile QR, etichetele RFID, ultima metodă fiind considerată a fi cea mai promițătoare (Tzoulis și Andreopoulou 2013).

În România, marcarea clasică presupune utilizarea ciocanului silvic și vopseaua, prin efectuarea unui cioplaj și aplicarea amprentei de către un utilizator unic autorizat. Ciocanul este prevăzut pe una din dintre muchii cu o amprentă similară unei ștampile pe care sunt înscrise indicativul județului în care ocolul silvic are sediul social și codul numeric atribuit de structura teritorială care răspunde de silvicultură, iar în partea opusă ciocanul este prevăzut cu o lamă tăietoare pentru efectuarea cioplajului. Depozitarea acestui dispozitiv după utilizare conform regulamentului aprobat prin ordin al ministrului de resort se face într-un dulap securizat, conform regimului mărcilor și sigiliilor la care se încadrează (O.M. nr. 1346/2011, 2011). Utilizarea acestui dispozitiv nu presupune o pregătire specială a personalului tehnic, construcția sa simplă (Figura 2), permițând utilizatorului realizarea unui număr mare de marcări într-un timp relativ scurt.



Figura 2 a) Dispozitiv de marcat cu amprentă rotundă; b), c) Amprentă cu vopsea roșie.
a) Marking device with the round stamp; b), c) Stamp with red paint

Acest dispozitiv s-a dovedit a fi cel mai potrivit din punct de vedere al randamentului productivității muncii, având în spate și o istorie a folosirii lui de câteva sute de ani, însă problema apare atunci când se încearcă utilizarea unor copii falsificate ale amprentei sau atunci când dispozitivul este uzat și amprentarea nu se mai face în mod corespunzător. În Figura 2b,c pot fi observate amprente aplicate cu vopsea roșie în care cu greu mai pot fi descifrate indicativul județului și numărul ocolului.

Descrierea sistemelor RFID de etichetare a arborilor sau buștenilor

Sistemul RFID are la bază trei componente principale: *dispozitivul-etichetă* pe care este înregistrată informația sub formă de cod alfanumeric, *transponderul* care permite identificarea etichetei și un *dispozitiv de procesare a datelor* care (sistem desktop, laptop, smart phone etc.). Principiul de funcționare a sistemului RFID (Figura 3) are la bază transmiterea informațiilor sub formă de unde electromagnetice de la transponder la etichetă și invers, utilizând o frecvență prestabilită.

Etichetele RFID pot fi active sau pasive. Etichetele active sunt formate dintr-un circuit integrat, o antenă și o sursă de energie reprezentată de o baterie, iar etichetele pasive au în componența lor doar un circuit integrat și antenă, care funcționează cu energia undelor radio primite de la transponder. Memoria standard a unui circuit integrat instalat pe un dispozitiv RFID poate fi de: 32, 96, 128, 916 bits, dar poate varia în funcție de producător.

O altă caracteristică ce diferențiază tipul etichetelor este dat de modul de scriere citire, acestea putând fi: Read only (RO) – pot fi doar citite, codul unic fiind dat de producător în timpul procesului de fabricație, Read-Write (RW) – permit citirea și scrierea informației sau Write Once-Read Many (WORM) – informația poate fi scrisă o singură dată de un operator, dar poate fi citită oricând.

Clasificarea dispozitivelor RFID este dată și de frecvența de lucru, acestea pot funcționa la frecvențe diferite, de la joasă (LF), înaltă (HF);

la ultra-înaltă (UHF) (Pichler et al. 2017). Din acest punct de vedere etichetele pot varia destul de mult, de la cele cu frecvență joasă 125KHz până la microunde 2,45GHz, cele mai utilizate fiind HF-RFID 13,56 MHz respectiv UHF- RFID 860-960 MHz. La nivel internațional frecvențele utilizate sunt reglementate prin standarde eliberate de EPCglobal (Electronic Product Code) pentru diferite regiuni cum ar fi Asia, Europa, S.U.A. (Picchi 2020) Forma, dimensiunea și materialul din care este construită carcasa sau suportul etichetei diferă în funcție de domeniul de utilizare: industrial, agro-alimentar, zootehnie, automobile, farmacie, textil, curierat. Acestea pot avea diferite forme (Figura 4): lamelă, crotal, etichetă auto-adezivă, capsă, cui.

Distanța de comunicare a etichetelor cu cititorul variază în funcție de principalele caracteristici cum ar fi frecvența de lucru, lungimea antenei, învelișul etichetei, la care se adaugă condițiile de mediu - umiditatea și temperatura (Gaitan et al. 2012). De exemplu, în urma unui test efectuat în laborator în Italia în cadrul unui studiu dedicat utilizării dispozitivelor RFID existente la vremea respectivă în comerț, cu un cititor UHF-RFID portabil s-a obținut o distanță de citire de aproximativ 10 m. Pentru aceleași dispozitive însă, atunci când au fost testate în aer liber, distanța de citire s-a redus la 0,8 m (Pichler et al. 2017).

Factorii care au influențat citirea au fost umiditatea aerului, puterea mică a cititorului portabil (500mW) și alte interferențe radio. Testul a fost repetat în aer liber cu un transponder fix având montat un sistem de patru antene care a generat un semnal mai puternic, distanța de identificare

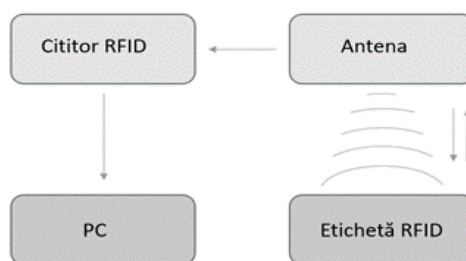


Figura 3 Procesul de funcționare a unui sistem RFID
The operation process of an RFID system



Figura 4 Tipuri de etichete RFID utilizate la primele teste pe arbori
Types of RFID tags used in the first tests on trees

depășind în acest caz 20 m (Picchi et al., 2015).

Dispozitivul de citire (Figura 5) poate fi portabil de tip smart-phone, micro-controler bluetooth sau fix (pentru accesul în diverse incinte, sau pentru plata cu cardul). La scară mare, în cazul utilizării sistemelor fixe cu antene de putere (Figura 5c,d) montate, de exemplu, în interiorul unor depozite industriale, obiectele etichetate RFID pot fi identificate localizate și inventariate într-un timp relativ scurt (Gaitan et al. 2012).

Dispozitivul de citire (Figura 5a, b, c) decodifică informația primită de la etichetă cu ajutorul antenei, prin care trimite un semnal de interogare la intervale de timp foarte scurt. Etichetele pasive din zona câmpului de unde electromagnetice generate de antenă sunt alimentate cu energie făcând disponibilă identificarea și citirea codurilor scrise pe memoria etichetei (Gaitan et al. 2012).

Scopul utilizării dispozitivelor RFID în activitățile din silvicultură și potențiali utilizatori

La nivel internațional utilizarea tehnologiei RFID în cadrul activităților forestiere este considerată a fi de viitor pentru de monitorizarea diferitelor procese (Mueller et al. 2019). Deoarece circuitul economic al lemnului începe de la operațiunea de punere în valoare urmată de operațiuni de recoltare, transport și vânzare (Pichler et al. 2022), după fiecare etapă gestionarul trebuie să facă un inventar pentru a avea o evidență a stocului disponibil. Primul inventar este reprezentat de actul de punere în valoare – APV, unde arborii marcați au un număr de inventar și volum estimat la care s-ar putea alătura un cod RFID pentru o identificare ulterioară precisă în teren. Un al



Figura 5 Dispozitive de citire RFID

RFID reading devices: www.chainway.net, www.caenrfid.com

doilea inventar este realizat în platformele primare în urma activităților de exploatare. Aici fiecare bușean măsurat poate fi etichetat cu un dispozitiv RFID în vederea constituirii avizului de transport, cu înscrierea rezultatului măsurărilor realizate. În final, clientul poate face recepția cu ușurință doar scanând etichetele RFID. În urma realizării unei baze de date cu ajutorul codurilor înscrise în memoria etichetelor RFID, procesatorul poate anticipa evoluția stocurilor și realiza astfel planificarea procesului tehnologic (Pichler et al. 2022).

Din punct de vedere al certificării pădurilor, proveniența lemnului poate fi confirmată prin utilizarea etichetelor RFID, aceste dispozitive oferind posibilitatea monitorizării produselor lemnoase pe tot parcursul lanțului de custodie.

Din cele menționate rezultă că utilizatori potențiali ai tehnologiei RFID pot fi gestionarii de păduri, firmele de certificare, firmele de exploatare și procesatorii, dar și cei care au atribuții de control asupra trasabilității și legalității lemnului.

Avantaje și dezavantaje ale utilizării sistemelor RFID în sectorul forestier

Deoarece sistemele RFID sunt mai greu de falsificat (Corona et al. 2017) acestea pot constitui o modalitate de descurajare a fraudării dispozitivelor de marcat. În continuare, se vor prezenta o serie de avantaje și dezavantaje identificate în literatura de specialitate, menționate de unii autori în urma testelor efectuate în cadrul activităților silvice referitor la utilizarea tehnologiei RFID.

Tehnologia RFID câștigă tot mai mult teren, deoarece permite identificarea simultană de la o anumită distanță a mai multor etichete, fără a fi necesară realizarea unui contact direct cu suprafața etichetei ca în cazul codurilor de bare (Korten și Christian 2008). Acest lucru poate permite, de exemplu, montarea unui sistem de control automat la barieră la ieșirea din fondul forestier în cazul în care se dorește controlul buștenilor încărcăți în camioane. În cazul utilizării etichetelor RFID la marcarea arborilor pe picior (Corona și Scrinzi 2014), din analiza

specificațiilor oferite de producători reiese că acestea au posibilitatea de a avea coduri unice alfanumerice până la douăzeci de caractere (Picchi et al. 2015). Dacă se dorește o securitate sporită a acestor coduri, se poate opta pentru tipul de etichetă "Read only", codurile fiind date de producător după o anumită serie stabilită de comun acord cu beneficiarul. Codurile pot conține informații similare cu cele ce sunt colectate în prezent pentru fiecare arbore pe care se pune amprenta ciocanului de marcat silvic.

Dispozitivul de inserare manual tip ciocan de marcat (Tabelul 3) prezintă avantajul de a avea o modalitate de lucru aproape similară cu cea a ciocanului silvic, cu alte cuvinte nu necesită o pregătire suplimentară a personalului din teren în privința marcării arborilor. Dezavantajul ar putea fi faptul că nu a fost testat la un număr mare de utilizări și nu se cunoaște durata de viață a unui astfel de dispozitiv.

În cazul utilizării unui dispozitiv pneumatic, viteza de lucru crește considerabil dacă nu se efectuează cioplajul obișnuit în cazul ciocanului silvic clasic, însă rămâne de văzut cât de ergonomic și lipsit de riscuri este echipamentul accesoriu (butelie cu dioxid de carbon, conexiuni, furtun, etc.) în condițiile deplasării în pădure pe teren accidentat și cu vegetație arbustivă abundentă (Picchi et al. 2015).

Dezvoltări tehnologice și experimentale identificate în literatură în privința marcării arborilor destinați exploatareii în pădure

În privința studiilor ce vizează testarea dispozitivelor RFID la marcarea arborilor pe picior în pădure, căutarea s-a limitat la articolele publicate după 1.01.2014 și astfel s-a identificat un număr de 23 articole dintre care 19 în limba engleză și 4 în limba italiană. Dintre acestea, 17 articole au fost de sinteză, care făceau o evaluare a stadiului cunoștințelor la momentul respectiv. Sinteza comparativă este prezentată în tabelul 2.

Primele teste efectuate în pădure în anul 2014 în Alpii din nordul Italiei au vizat identificarea celor mai potrivite etichete RFID dis-

Table 2 DiStadiu cunoștințelor privind marcarea arborilor cu dispozitive RFID
State of the art, regarding tree marking with RFID devices

An	Autor/an	Articol (titlu)	Elemente de identificare a articolului	Zona biogeografică în care a fost experimentat	Utilizare potențială	Tipul de produs RFID folosit	Mod de aplicare	Dispozitiv de aplicare	Suprafața, număr de arbori, volum, vârsta arboret	Perioada derulare experiment	Etapela studiului (metodologie)
2014	Favre R./2014	Using radio frequency identification (RFID) for monitoring trees in the forest: State-of-the-technology investigation		S.U.A Washington	inventar forestier	etichetă: tip lamelă, diverse carcase	manual	dispozitiv obişnuit cu capse, şuruburi.	S=5 ha, n=53, v=100m ³ ,	2014	Identificare dispozitive utilizabile la marcarea arborilor disponibile pe piață, teste în laborator, testare în teren cu dispozitive RFID, evaluarea distanței de citire.
2014	Picchi G./2014	Marking Standing Trees with RFID Tags	RFID tags, tree marking,	Sover, nordul Italiei, Alpi	pădure, marcarea	etichetă: tip lamelă, diverse carcase	manual	dispozitiv cu capse, şuruburi.	S=5 ha, n=53, v=100m ³ ,	2014	Identificare dispozitive posibile utilizabile la marcarea arborilor disponibile pe piață, marcarea arborilor în teren cu dispozitive RFID, evaluarea condițiilor fizice și electrice ale etichetelor RFID la diferite intervale de timp.
2015	Picchi G. et al./2015	Survival Test of RFID UHF Tags in Timber Harvesting Operations	RFID UHF, tree marking, -	zona montană,(Alpi) Florența Italia	pădure, marcarea, operațiuni de recoltare	etichetă tip lamelă	manual	dispozitiv cu capse (6 mm)	S1=n=153, doborâturi de vânt	2014	Marcarea arborilor de extras, monitorizarea condițiilor fizice și electrice ale etichetelor în timpul operațiunilor de extragere, colectare și transport
2017	Picler G./2017	Comparison of remote sensing based RFID and standard tree marking for timber harvesting	tree marking, RFID	provincia austriacă Salzburg, zona montană approx. 1000 m alt., exp.NV,	pădure, marcarea,	etichetă tip lamelă (Smartrac Shortdipole Monza 5 UHF)	manual	dispozitiv cu capse	n=110, -80 ani,	sep. 2015 iun. 2016	Delimitarea suprafeței de lucru, identificarea arborilor de marcat, preluarea date cu TLS și UAV în vederea marcării cu RFID, crearea unui model digital al pădurii, marcarea arborilor cu dispozitive RFID,
2019	Kaakurivaara T. and Kaakurivaara T./2019	Comparison of radio frequency identification tag housings in a tropical forestry work environment	RFID, Sursa lemmului,	Universitatea Kasetsart, Bangkok, Tailanda și Provincia Phare nordul Tailandei (plantație de tec)	pădure, recoltare, depozit.	etichetă tip lamelă	manual	cu şuruburi după doborâre	19 bușteni	2019	Au fost efectuate patru teste de laborator: test de impact, test de temperatură, test de temperatură și umiditate relativă, test pentru identificarea distanței de citire. Test de teren - simulare de utilizare în condiții tipice de exploatare forestieră.
2022	Picler G./2022	Timber Tracking in a Mountain Forest Supply Chain: A Case Study to Analyze Functionality, Bottlenecks, Risks, and Costs	RFID marking	provincia austriacă Salzburg, zona montană approx. 1000 m alt., exp.NV,	în pădure în timpul recoltării	etichetă tip lamelă (Smartrac Shortdipole Monza 5 UHF)	manual pe arbori, automat pe sortimente	manual pe arbori, automat pe sortimente (cap procesor)	-80 ani, S=0,4 ha, V=453 m ³ , n = 110	2020	Analiza performanței, analiza procesului tehnologic și analize de risc, evaluare tehnico-economică, analiza procesului de exploatare și urmărire. 1 - marcarea arborilor, 2 - identificarea arborilor marcați doborârea și remarcarea sortimentelor 3 - extragerea arborilor doborâți, 4 - curățirea de eraci (cap procesor), 5 - transport (camion).

ponibile pe piață la acea vreme pentru operațiunea de marcarea a arborilor pe picior (Picchi et al. 2015). În protocolul experimentului au fost vizate aspecte ca: modul de aplicare al etichetelor să fie relativ ușor, să reziste condițiilor specifice din pădure (umiditate, temperatură, rășini) pe o perioadă lungă de timp, poziția etichetei pe trunchi să permită cititorului să o identifice cu ușurință, capacitatea cititoarelor portabile și fixe montate pe mașini să fie adaptată tuturor condițiilor de lucru ținând cont de distanța de citire, variabilitatea unghiurilor și proprietățile dielectrice ale lemnului. Au fost selectate șapte modele de etichete care au fost aplicate în funcție de carcasă, cu șuruburi sau capse de aluminiu pe un număr de 55 de arbori, verificarea lizibilității cu un cititor portabil fiind realizată după un an.

Rezultatele s-au dovedit a fi promițătoare (Picchi 2020), toate etichetele erau funcționale, totuși unele carcase care au fost prinse pe trunchi cu câte două șuruburi au fost identificate cu fisuri, autorii studiului menționează creșterea anuală a arborilor ca fiind cauza deteriorării etichetelor. Deoarece experimentul viza identificarea unui model de etichetă ce ar putea fi aplicat și automat în timpul recoltării arborilor cu ajutorul unui dispozitiv montat pe brațul procesatorului, rezultatele au arătat că cel mai potrivit model ar putea fi eticheta UHF-RFID Smartrac Shortdipole Monza 5, (dispozitiv tip lamelă cu protecție din plastic moale). Acest tip etichetă a fost luat în considerare ca fiind optim deoarece pentru aplicarea pe arbore nu necesita șuruburi, elemente care ar putea distruge pânzele instalațiilor de debitare, iar în urma testelor de citire acest model de etichetă a răspuns semnalului de interogare la o distanță medie de 10 m.

În aceeași perioadă, specialiștii ai Serviciului Forestier, Centrul Național de Tehnologie și Dezvoltare și Programul de inventariere și monitorizare din Washington, S.U.A. au inițiat o serie de teste ce vizau identificarea unor dispozitive RFID care ar putea fi folosite la marcarea arborilor din suprafețele de probă, în vederea realizării inventarului forestier (Farve 2014). Etapele studiului au constat în identifi-

carea pe piață a dispozitivelor RFID și a prețurilor disponibile la mai mulți producători pentru a realiza o analiză tehnico-economică, respectiv efectuarea testelor în laborator și în teren pentru determinarea distanței maxime de identificare. În laborator au fost selectate 35 de modele de etichete pasive realizate de producători diferiți (Sag, Zebra, Thinkify, Confidex, Frick, Vizinex RFID, Hid Global Corporation, uGrokkit) și două cititoare RFID cu putere de 0,8 W (uGrokkit, Thinkify). Rezultatele au arătat că 12 dintre modelele selectate au depășit 8 m distanță de citire în condiții de laborator, fiind selectate pentru testul în teren. Au fost constatate diferențe la distanța de citire între cele două cititoare în aer liber, de exemplu în cazul identificării a două modele de etichete dintre cele care aveau rezultate satisfăcătoare, un cititor le-a identificat la 4,57 m (uGrokkit Reader) iar celălalt la 3,6 m (Thinkify Reader) (Farve, 2014).

În continuarea studiului inițial din Italia (Picchi et al. 2015) s-a decis efectuarea unor teste de rezistență a etichetelor RFID UHF în cadrul operațiunilor de recoltare a lemnului. Au fost marcați 153 de arbori în regiunea centrală a Italiei, Florența și Prato, la o altitudine cuprinsă între 950-1080 m, cu arborete de amestec, în trei șantiere de exploatare, două dintre ele fiind reprezentate de doborături de vânt. Etapele testului au constat în monitorizarea etichetelor RFID în cadrul operațiunilor de exploatare (extragere, colectare și transport). Echipamentul tehnic a fost reprezentat de un funicular pentru operațiunile de scos apropiat și un tractor forestier pentru transportul masei lemnoase în platforma primară. Pentru fiecare utilaj a fost monitorizată starea etichetelor după fiecare operație. Citirea electronică a fost efectuată cu ajutorul unui cititor RFID UHF portabil CAEN qID 1240 cu antene duble perpendiculare încorporate. În experiment a fost introdus un al doilea model de etichetă - Wintag Flexytag UHF D7040S cu caracteristici aproximativ similare primului model (Smartrac Shortdipole Monza 5), pentru a putea obține o comparație între cel puțin două dispozitive asemănătoare furnizate

de producători diferiți. Rezultatele testului au arătat că 98% din totalul etichetelor folosite au rămas funcționale pe tot parcursul activităților de exploatare (Picchi et al., 2015).

Pentru a facilita identificarea arborilor de extras de către personalul tehnic din teren a fost luat în considerare realizarea unui model digital al pădurii, astfel încât arborii marcați cu etichete RFID să aibă atașate coordonate spațiale într-un plan 3D și coordonate GPS (Pichler et al. 2017). Astfel au fost derulate în intervalul septembrie 2015 – iunie 2016 o serie de activități mai ample într-un nou program de cercetare. Obiectivele propuse au fost: realizarea unei comparații dintre metoda de marcarea bazată pe dispozitive RFID la care a fost adăugată teledetecția și marcarea standard a arborilor precum și costurile, timpii necesari fiecărei operațiuni, avantajele și dezavantajele fiecărei metode. Experimentul s-a desfășurat în provincia austriacă Salzburg, într-o zonă montană la aproximativ 1000 m altitudine, într-un arboret reprezentat preponderent de molid cu vârsta medie de 80 de ani, lucrarea propusă fiind o răritură. În vederea marcării cu dispozitive RFID au fost colectate date la sol cu ajutorul unui scanner terestru (TLS - Terrestrial laser scanning) și din aer cu ajutorul unei drone (UAV - Unmanned Aerial Vehicles), iar pentru a maximiza precizia de localizare a fost utilizată poziționarea RTK-GPS. În urma prelucrării datelor a rezultat un model 3D al pădurii ce a putut fi încărcat în aplicația Treemetrics Forest, (aplicație ce rulează în sistemul de operare Android care poate furniza date de inventariere din zona de recoltare în combinație cu imaginea aeriană a pădurii). Au fost marcați 110 arbori cu etichete - Smartrac Shortdipole Monza 5 UHF aplicate cu ajutorul unui dispozitiv cu capse. Cititorul UHF RFID folosit a fost modelul portabil R1240I qID setat la o putere de 500mW. Marcarea *standard* a constat în realizarea unor inele de culoare albă pe arborii de extras, selecția fiind făcută de către un silvicultor cu experiență.

Rezultatele au arătat că timpul de lucru și costurile legate de tehnologia RFID au fost mai

mari decât în cazul marcării standard. Marcarea standard a fost efectuată în aproximativ o oră, timp în care au fost marcați 110 arbori și a costat 39,2 € (0,36 €/arbore), iar marcarea cu dispozitive RFID a durat 3,17 ore și a costat 170,32 € (1,55 €/arbore). Aceste costuri au fost calculate doar pentru operațiunea de marcarea, fiind incluse costul timpului de lucru conform normelor de timp și materialelor folosite. Autorii menționează că deși costurile cu dispozitivele RFID sunt mai mari, implementarea acestei tehnologii ar putea fi importantă în dezvoltarea unui sistem de urmărire a lemnului, mai ales dacă sortimentele industriale rezultate au dimensiuni mari (Pichler et al. 2017). Combinarea datelor TLS cu UAV a permis crearea unui model digital al pădurii în vederea gestionării resurselor forestiere de la birou. Având date precise - clase de diametre, înălțimi, clase de calitate, defecte, au putut fi făcute simulări cu instrucțiuni precise de recoltare a arborilor (Pichler et al. 2017).

În privința avantajelor utilizării dispozitivelor RFID la marcarea arborilor, acestea sunt legate de faptul că permit realizarea unui sistem de urmărire a lemnului automat (Corona et al. 2023), prin realizarea unei baze de date. Deoarece fiecare etichetă are un cod unic, se consideră că acest fapt ar oferi posibilitatea de combatere a tăierilor ilegale (Kaakkurivaara și Kaakkurivaara 2019). Aplicarea pe arbore este ușoară și nu necesită un anume instructaj decât în cazul utilizării dispozitivului de citire. Principalele dezavantaje sunt menționate ca fiind costurile de achiziție ridicate la cantitățile mici comandate pentru studiu, dar și faptul că distanța de citire cu dispozitivul manual este relativ mică (0,8 m) la o putere de 500mW., iar dacă se ia în considerare identificarea ulterioară a arborilor marcați cu etichete RFID este necesar un model 3D al pădurii cu localizarea GPS a arborilor marcați sau un cititor cu putere mai mare, dar care nu va putea fi folosit decât atașat unui echipament, deoarece lungimea de undă a semnalului ar putea afecta sănătatea utilizatorului.

Pentru identificarea altor modele de etichete RFID, diferite de cele menționate în literatura de specialitate, ce ar putea fi utilizate la marcarea arborilor în anul 2018 au fost realizate teste de laborator la Facultatea de Silvicultură a Universității Kasetsart din Bangkok, Tailanda și în teren într-un mediu forestier tropical, într-o plantație de tec (Kaakkurivaara și Kaakkurivaara, 2019). Au fost selectate opt modele de etichete RFID având diferite tipuri de carcase, care au fost supuse în laborator unor teste de impact, de temperatură și umiditate relativă la diferite intervale de timp. În teren, etapele studiului au constat în monitorizarea condițiilor fizice și electrice ale etichetelor la fiecare operațiune din cadrul activității de exploatare (doborât, apropiat, scos, transport, depozit). Autorii studiului au concluzionat că cele mai eficiente metode de aplicare a dispozitivelor RFID ar fi cele care presupun introducerea directă în lemn, pentru a avea o protecție sporită în timpul operațiunilor de recoltare.

Pentru realizarea unui sistem complet de monitorizare a lemnului prin integrarea tehnologiei RFID, au fost luate în considerare noile idei și tehnologii specifice conceptului Industry 4.0 - care vizează cele mai noi tehnologii de localizare și identificare, senzori, comunicații între utilaje, interacțiunea om - mașină, gestionarea și analiza avansată a datelor și inteligența artificială, în toate etapele lanțului de aprovizionare cu lemn, care pornesc de la planificarea recoltei unde sunt incluse operațiunile de punere în valoare, organizare și control, acțiuni reprezentate de pregătirea șantierului de exploatare, operațiuni de recoltare, transport, logistică, și vânzare (Mueller et al., 2019). Astfel, în provincia austriacă Salzburg, în care au fost marcați 110 arbori cu etichete - Smarttrac Shortdipole Monza 5 UHF, s-a efectuat un studiu de caz pentru analiza funcționării unui astfel de sistem. Etapele studiului au constat în: 1) - identificarea condițiilor staționale; 2) - analiza fluxului tehnologic, analiza de risc și de blocaj, evaluarea tehnico-economică; 3) - operațiuni desfășurate conform fluxului tehnologic transpus pe noul sistem de monitorizare.

Sistemul de monitorizare a presupus identificarea fiecărui arbore sau sortiment cu ajutorul etichetei RFID atașate pe tot parcursul activităților de exploatare și transport. După marcarea arborilor pe picior cu dispozitive RFID s-a constituit o bază de date cu informații specifice (date dendrometrice, clasa de calitate, defecte, etc.), care ulterior a fost încărcată în aplicația Treemetrics Forest. A urmat apoi doborârea și re-marcarea cu dispozitive RFID în cazul identificării etichetelor deteriorate. Extragerea arborilor a fost realizată cu un funicular dotat cu cititor UHF-RFID și conectat Wi-Fi la un sistem de prelucrare a datelor. Curățarea de crăci și dimensionarea buștenilor a fost realizată cu un cap procesor, pe care a fost instalat un sistem integrat cu senzori ce măsoară caracteristicile dimensionale și calitative a lemnului și aplică automat o etichetă RFID (Sandak et al., 2019), informațiile fiind înregistrate într-o bază de date care dă astfel posibilitatea de identificare ulterioară a sortimentului după numărul unic înscris pe etichetă. Autorii au arătat că un astfel de sistem (prototip) poate funcționa, dar totuși în acest moment prezintă unele limitări și blocaje, fapt pentru care sunt necesare studii suplimentare în vederea îmbunătățirii și creșterii performanțelor (Pichler et al., 2022).

Tipuri de dispozitive RFID disponibile pe piață pentru marcarea arborilor

În cadrul acestui studiu, după analiza ofertei de pe piață, au fost contactați 8 producători cărora li s-au solicitat oferte de preț și specificații tehnice pentru dispozitive RFID compatibile cu activitățile forestiere, în special pentru activitățile de marcarea arborilor. Au răspuns solicitărilor patru producători (*Simtrona* - Slovenia, *Caen RFID* - Italia, *Chainway* - China, *SunDog* - S.U.A., ale căror oferte sunt prezentate în tabelul 3.

Evaluarea gradului de maturitate tehnologică a dispozitivelor RFID pentru marcarea în fondul forestier

Pentru a putea stabili modalități experimentale de marcarea cu ajutorul tehnologiei RFID pe

Tabel 3 Dispozitive RFID disponibile pe piață,
RFID devices available on the market

Firma	Dispozitive oferite	Descriere	Anul patentării	Cantitate solicitată	Preț unitar
Simtrona (Slovenia)		Set manual de inserare a etichetelor Smart-nail-Simtrona –UHF-RFID,	2016	1	350 €
		Etichete Smart nail-Simtrona –UHF-RFID	2016	1000	0,66 €
Caen RFID (Italia)		Transponder RFID, Bluetooth, compatibil cu sistem de operare Android, iOS, Windows.	2021	1	587 €
Chainway (China)		Handheld Computer Android 11, GMS, FOTA, Soti MobiControl, SafeUEM	2022	1	471 \$
SunDog (S.U.A.)		OMER RFID.25 Pneumatic Tool,	2020	1	320 \$
		SH/08-100RF EU (864-869 MHz)	2018	1000	2 \$

zone pilot constituite la nivel de ocol silvic este necesară realizarea unui stadiu al cunoștințelor cu privire la implementarea unei metodologii ce poate fi aprobată prin ordin al autorității publice centrale care răspunde de silvicultură (Legea 46/2008, Art.64 (4)) pentru a ajunge cel puțin la nivelul TRL 6.

În tabelul 4 este evidențiat nivelul de maturitate tehnologică a componentelor și sistemelor RFID testate la marcarea arborilor, bazat pe rezultatele cercetărilor obținute. Pentru a ajunge la stadiul TRL 6, un astfel de sistem trebuie să parcurgă toate etapele de testare care să îi permită trecerea progresivă de la un nivel la altul.

Table 4 Nivelul de maturitate tehnologică (TRL) al sistemelor RFID testate la marcarea arborilor
Technology Maturity Level (TRL) of RFID systems tested in tree marking

Nivel de maturitate tehnologică (TRL)		Criterii	Eticheta		Citor Sistem		Referințe
Definiție			da	nu	da	nu	
TRL 3	Demonstrarea funcționalității conceptului, în raport cu funcționalitățile critice ale sistemului, prin studii analitice și experimentale.	Studii analitice, experimentale la scară de laborator, pentru a valida predicțiile teoretice pentru componente separate ale tehnologiei	x		x		(Farve, 2014) (Picchi et al., 2015) (Kaakkurivaara si Kaakkurivaara, 2019)
		Integrarea componentelor și stabilirea funcționalității ansamblului	x		x		(Farve, 2014)
TRL 4	Validarea componentelor și/sau a ansamblului în condiții de laborator	Testat într-un domeniu de condiții de operare	x		x		(Picchi et al., 2015) (Kaakkurivaara și Kaakkurivaara, 2019)
		Funcționează corect ca sistem	x			x	
TRL 5	Validarea componentelor și/sau a ansamblului în condiții relevante de funcționare	Validarea modelului de laborator	x		x		(Pichler et al., 2017)
		Creșterea fidelității testelor de laborator în raport cu sistemul real	x		x		(Kaakkurivaara și Kaakkurivaara, 2019)
		Testat - este foarte apropiat de prototip	x		x		
TRL 6	Demonstrarea funcționalității modelului în condiții relevante de funcționare	Testarea prototipului într-un domeniu	x		x		
		Capabil să îndeplinească toate funcțiile cerute	x		x		x
		Validarea prototipului	x		x		x

În România, deși exista inițiative de utilizare a sistemelor RFID în asigurarea trasabilității bușteanului sau a produselor lemnoase (Anonymus 2023), în gestionarea forestieră pentru marcarea arborilor în prezent este utilizat numai ciocanul silvic de marcat. Conform Codului Silvic (Legea 46/2008, Art. 63) forma și modul de utilizare a dispozitivelor speciale de marcat, precum și modul de marcarea a arborilor sau a unor loturi de arbori sunt reglementate prin Ordinul de ministru 1346/2011, cu modificările și completările ulterioare. Proiectul noului Cod Silvic prevede inclusiv recurgerea la sisteme alternative de marcarea.

Discuții

Importanța subiectului abordat este dată în primul rând de ritmul progresului tehnologic, care implică faptul că, pentru a fi competitiv sectorul forestier trebuie să se alinieze noilor concepte și tehnologii I 4.0 (Müller et al. 2019). Pe de altă parte, lanțurile de transfer sunt deja competitive și folosesc tehnologie RFID (Picchi et al. 2022) pentru optimizarea procesului de producție. În România, discuțiile despre RFID s-au pus mai degrabă în contextul tăierilor ilegale pentru identificarea cioatelor în teren și recuperarea unor informații legate de arborele extras, știind că de multe ori marcarea arborilor cu ciocan silvic și vopsea este susceptibilă de falsificare și de deteriorare fizi-

că în timp. Totuși, pentru a proba cu certitudine că aprovizionarea cu materie primă se face din păduri gestionate durabil, activitatea de procesare va trebui să exporte în pădure tehnologii compatibile cu propriile sale tehnologii de trasabilitate. Principala barieră a acestui export de tehnologie o constituie dificultatea de integrare a utilizării tehnologiei RFID în operațiunile silvotehnice care conduc la punerea pe piață de material lemnos. De aici și necesitatea de a înțelege care sunt acele caracteristici tehnice organizaționale sau compartimentale de care depinde alinierea tehnologică dintre silvicultură și exploatare-procesare pentru o mai bună trasabilitate a materiei prime, acestea reprezentând idei și nevoi de cercetare viitoare. Alternativ sau complementar trasabilității la cioată, sistemele pot include verificarea provenienței bușteanului la punct fix, de exemplu prin amplasarea unor dispozitive de citire RFID conectate la internet instalate la ieșirea din fondul forestier.

Până în prezent, cele mai multe studii și comunicări vizează în general lemnul în tranzit (Sperandio et al., 2017) și mai puțin marcarea arborilor pe picior în cadrul activităților de punere în valoare. Au fost dezvoltate dispozitive de aplicare automată a etichetelor RFID, ce pot fi montate pe brațul procesatorului care poate lucra în tandem cu un sistem RFID cu conectare Wi-Fi montat în ansamblul unui funicular (Pichler et al., 2022) în același șantier de exploatare, facilitând inventarierea în platformele de colectare. Tot în literatura de specialitate sunt menționate sisteme de identificare RFID, ce sunt montate pe benzile transportoare, care execută automat sortarea calitativă și dimensională în fluxul tehnologic al platformelor de sortare industrială a lemnului, în baza datelor scrise pe eticheta fiecărui buștean.

Prin realizarea unei baze de date (cod RFID, specie, caracteristici dendrometrice, ocol silvic, parcela, etc.) se pot obține informații până la nivel de arbore (Björk et al., 2011). Spre deosebire de alte țări, România are avantajul de a avea deja o bază de date (SUMAL-MARCA-RE) (Ioniță-Burda 2023), în care introducerea codului RFID aferent fiecărui arbore în actul de

punere în valoare oferă posibilitatea identificării ulterioare prin simpla căutare a codurilor și corelarea lor cu cioata din teren.

Analiza literaturii științifice și a dispozitivelor existente pe piață ne arată că nivelul de maturitate tehnologică este diferit în funcție de componenta analizată (Tabelul 4). Astfel, pentru eticheta RFID avem de a face cu o tehnologie de nivel TLR 5, pentru cititor între TRL 4 și TRL 5, în timp ce funcționarea ansamblului în pădure este mai degrabă de nivel TRL 4. Pentru a putea înțelege în ce măsură ar putea fi implementat un astfel de sistem de monitorizare bazat pe tehnologia RFID în cadrul activităților silvice, va trebui testat în continuare în pădure, în cooperare cu firmele interesate în sisteme moderne de trasabilitate. Un avantaj în acest demers poate fi considerat faptul că în ultimii ani tehnologia în domeniul RFID a evoluat foarte mult, iar principalii producători sunt dispuși să colaboreze în vederea perfecționării produsului. Există perspective de îmbunătățire rapidă a nivelului de maturitate tehnologică și de adaptare a caracteristicilor produsului la cerințele utilizatorului, de exemplu gestionar de pădure, gardă forestieră sau agent economic. De asemenea sunt necesare studii pentru a cunoaște în mod precis care sunt cerințele potențialilor utilizatori, astfel încât tehnologia RFID să reprezinte o înlesnire a activității curente, și nu o sarcină birocratică în plus. Un viitor protocol de cercetare pentru a avansa nivelul de maturitate tehnologică ar trebui să fie pliat pe cerințele potențialilor utilizatori, urmând să clarifice:

- timpii necesari operațiunilor ce vizează marcarea, (identificarea arborilor de extras, măsurarea caracteristicilor dendrometrice, efectuarea cioplaj, marcarea, citire cu ajutorul terminalului, preluarea informațiilor în carnetul de teren);
- modul în care variază distanța și unghiul de citire, cu luarea în considerare a proprietăților dielectrice ale lemnului umed, precum și influența condițiilor atmosferice la momentul marcării;
- analizarea posibilităților de extragere sau distrugere a etichetelor din arbore;

- cerințele tehnologice minimale ale componentelor unui sistem RFID care să includă diferite opțiuni (trasabilitate RFID pe arbore sau pe buștean, cu dispozitiv de citire la punct fix) pentru asigurarea unor sisteme de trasabilitate ușor de aplicat în industria lemnului.

Concluzii

La nivel internațional au fost testate o serie de dispozitive RFID atât la marcarea buștenilor în cadrul activităților de exploatare în platformele primare în vederea monitorizării în timp real a lemnului de-a lungul lanțurilor de aprovizionare, cât și la marcarea arborilor pe picior. În cazul marcării arborilor pe picior, rezultatele testelor au arătat că este posibilă utilizarea etichetelor UHF-RFID, dacă vor fi dezvoltate modele care prin construcția carcasi oferă protecție la acțiunile mecanice din timpul recoltării, la diverse intervale de umiditate, temperatură și murdărie. În ambele cazuri rezultatele au fost promițătoare deschizând noi oportunități de cercetare.

În vederea modernizării operațiunii de marcarea arborilor pe picior, tehnologia RFID va trebui testată în viitorul apropiat și în România, în condiții specifice stațiilor forestiere, în cadrul operațiilor de punere în valoare. Prin urmare există potențial de îmbunătățire rapidă a nivelului de maturitate tehnologică a utilizării dispozitivelor RFID în gestionarea pădurilor și de adaptare a caracteristicilor produsului la cerințele utilizatorului.

Mulțumiri

Cercetările au fost finanțate prin Proiectul de dezvoltare instituțională – Proiect de finanțare a excelenței în CDI, Pro-USV-Biom, Contract de finanțare 10 PFE/2021 și prin proiectul INFORMA - HORIZON-CL6-2021-CLIMATE-01, Science-based INtegrated FORest Mitigation mAnagement made operational for Europe.

Bibliografie

- Anonymus, 2023: Marcarea RFID a arborilor în teren. Aplicație de teren derulată de SC SILVADOR COMPANY SRL, jud. Dâmbovița.
- Björk A., Erlandsson, M. Häkli, J. Jaakkola, K. Nilsson, Å. Nummila, K. Puntanen V. Sirkka, A., 2011. Monitoring environmental performance of the forestry supply chain using RFID. *Computers in Industry* 62, 830–841. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2011.08.001>
- Bouriaud, L., 2014. Conservation, extraction and corruption: will sustainable forest management be possible in Romania?, in: *Natural Resource Extraction and Indigenous Livelihoods: Development Challenges in an Era of Globalization*. pp. 221–239
- Carrez, J.-F., 1996. Gestion durable et forêts publiques. Permanence et évolution. *Revue forestière française* 48, 181–186
- Corona P., Chianucci F., Quatrini V., Civitarese V., Clementel F., Costa C., Floris A., Menesatti P., Puletti N., Sperandio G., Verani S., Turco R., Bernardini V., Plutino M., Scrinzi G., 2017. Precision forestry: riferimenti concettuali, strumenti e prospettive di diffusione in Italia. *Forest@ - Rivista di Selvicoltura ed Ecologia Forestale* 14, 1–12. <https://doi.org/10.3832/efor2285-014>
- Corona P., Costa C., Barbetti R., Bergante S., Cesaretti L., Chiarabaglio Pier M., Chirici G., Giannetti F., Ferrara C., Gennaro M., 2023. Foreste digitali: innovazioni e opportunità. *Forest@-Journal of Silviculture and Forest Ecology* 20, 52
- Corona P., Scrinzi G., 2014. Sicurezza dell'approvvigionamento di materiale legnoso forestale in Italia e innovazioni per la tracciabilità dei prodotti legnosi. Presented at the Proceedings of the del Secondo Congresso Internazionale di Selvicoltura, Firenze, Italy, pp. 26–29
- Farve R., 2014. Using radio frequency identification (RFID) for monitoring trees in the forest: State-of-the-technology investigation. Forest Service, U.S. Department of Agriculture, USAorest Service, U.S. Department of Agriculture, USA
- Gaitan A., Valentin P., Gaitan V., Petrariu A., Ungurean I., 2012. Products Authentication and Traceability using RFID Technology and OPC UA Servers. *Elektronika ir Elektrotehnika* 18. <https://doi.org/10.5755/j01.eee.18.10.3067>
- Ioniță-Burda, Ș.D., 2023. O scurtă analiză a infracțiunii de folosirea fără drept a dispozitivelor speciale de marcat. *Universul Juridic* 37–46.
- Kaakkurivaara T., Kaakkurivaara N., 2019. Comparison of radio frequency identification tag housings in a tropical forestry work environment. *Australian Forestry* 82, 1–8. <https://doi.org/10.1080/00049158.2019.1678797>
- Korten S., Christian K., 2008. Application of RFID (Radio Frequency Identification) in the Timber Supply Chain Einsatz von RFID in der Holzermtekkette. *Croatian Journal of Forest Engineering* 29, 551–569
- Ma G., Buswell R., Leal da Silva W.R., Wang L., Xu J.,

- Jones S.Z., 2022. Technology readiness: A global snapshot of 3D concrete printing and the frontiers for development. *Cement and Concrete Research* 156, 106774 <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2022.106774>
- Mueller F., Jaeger D., Hanewinkel M., 2019. Digitization in wood supply – A review on how Industry 4.0 will change the forest value chain. *Computers and Electronics in Agriculture* 162, 206–218. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.04.002>
- Murphy G., Clark J.A., Pilkerton S., 2012. Current and Potential Tagging and Tracking Systems for Logs Harvested from Pacific Northwest Forests. *Western Journal of Applied Forestry* 27, 84–91. <https://doi.org/10.5849/wjaf.11-027>
- O.M. nr. 1346/2011, 2011. ORDIN nr. 1.346 din 2 mai 2011. Ministerul mediului și pădurilor. MONITORUL OFICIAL nr. 346 din 18 mai 2011
- Ozanne, L. K., and R.P. Vlosky.1995. The certification information system: A chain-of- custody framework for environmentally certified wood products. Working paper, Louisiana Forest Products Laboratory. Louisiana Agricultural Center. Louisiana State University. Baton Rouge, LA
- Picchi G., 2020. Marking Standing Trees with RFID Tags. *Forests* 11 <https://doi.org/10.3390/f11020150ma>
- Picchi G., Kühmaier M., Diaz Marques, J. de D., 2015. Survival test of RFID UHF tags in timber harvesting operations. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering* 36, 165–174
- Picchi G., Kühmaier M., Dios Díaz Marqués J., 2015. Evaluation of RFID UHF tags for electronic marking of standing trees. *Proceedings of the 48th FORMEC Symposium 2015 Oct 4 - 8, 2015, Linz, Austria*
- Picchi G., Sandak J., Grigolato S., Panzacchi P., Tognetti, R., 2022. Smart Harvest Operations and Timber Processing for Improved Forest Management. pp. 317–359. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80767-2_9
- Pichler G., Poveda Lopez J.A., Picchi G., Nolan E., Kastner M., Stampfer K., Kühmaier M., 2017. Comparison of remote sensing based RFID and standard tree marking for timber harvesting. *Computers and Electronics in Agriculture* 140, 214–226. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.05.030>
- Pichler G., Sandak J., Picchi G., Kastner M., Graifenberg D., Stampfer K., Kühmaier M., 2022. Timber Tracking in a Mountain Forest Supply Chain: A Case Study to Analyze Functionality, Bottlenecks, Risks, and Costs. *Forests* 13, 1373. <https://doi.org/10.3390/f13091373>
- Sandak J., Sandak A., Marrazza S., Picchi G., 2019. Development of a Sensorized Timber Processor Head Prototype -Part 1: Sensors Description and Hardware Integration. *Croatian Journal of Forest Engineering* 40, 25–37
- Sperandio G., Costa C., Figorilli S., Pallottino F., Scrinzi G., Colle G., Proto A., Macri G., Antonucci F., Mene-satti P., 2017. Valutazione economica delle tecnologie RFID e open source per la tracciabilità del legno in Calabria. *Forest@ - Rivista di Selvicoltura ed Ecologia Forestale* 14, 124–134. <https://doi.org/10.3832/efor2267-014>
- Tudora E., Alexandru A., 2011. Utilizarea tehnologiei RFID în identificarea, urmărirea transabilității și verificarea autenticității produselor. *Revista Română de Informatică și Automatică* 21, 29–36
- Tzoulis I., Andreopoulou Z., 2013. Emerging Traceability Technologies as a Tool for Quality Wood Trade. *Procedia Technology* 8, 606–611. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.11.087>
- U.E., 2014. H2020 – Work Programme 2016-2017, General Annexes – pag. 35/44 <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/what-work-programme>

Pagini web

- <https://duomo.firenze.it/it/archivio/fondi-archivistici/inventario>, accesat martie 2024
- https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/other/wp/2018-2020/annexes/h2020-wp1820-annex-ga_en.pdf, accesat martie 2024
- <https://sundog-rfid.com/>, accesat mai 2024
- <https://www.chainway.net/Products/Info/42>, accesat decembrie 2023