



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2023 00240

(22) Data de depozit: 16/05/2023

(41) Data publicării cererii:
30/01/2024 BOPI nr. 1/2024

(71) Solicitant:
• INSTITUTUL NAȚIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU
FIZICA LASERILOR, PLASMEI ȘI
RADIĂȚIEI - INFLPR, STR. ATOMIȘTILO
NR. 409, MĂGURELE, IF, RO;
• ALASDAIR MACARTHUR,
STR. LUATH CULBOKIE, ROSS-SHIRE,
GLASGOW, SCOȚIA UKIV78LA, GB

(72) Inventatori:
• MIHAI LAURA, STR. SEISMOLOGILOR
NR. 23, MĂGURELE, IF, RO;

• ALASDAIR MACARTHUR, STR. LUATH
CULBOKIE, ROSS-SHIRE, GLASGOW,
SCOȚIA UKIV78LA, GB;
• MIHALCEA RĂZVAN-MARIAN,
SAT BERCA, BL. B2, ET. 3, AP. 12,
COMUNA BERCA, BZ, RO;
• ȘERBĂNESCU MIHAI, STR. POLONĂ
NR. 38, AP. 1, SECTOR 1, BUCUREȘTI, B,
RO;
• BLEOTU GABRIEL PETRIȘOR,
STR. DEALUL OLT, NR. 1, DRĂGĂȘANI, VL,
RO;
• STANCALIE ANDREI,
STR. VULCAN-JUDEȚUL, NR. 31-35, BL. B3A,
SC. 1, ET. 7, AP. 47, SECTOR 3,
BUCUREȘTI, B, RO

(54) **METODĂ ȘI APARAT PENTRU VALIDAREA IN-FIELD
A ETALONĂRII ÎN RADIANȚĂ ȘI IRADIANȚĂ SPECTRALĂ
A SISTEMELOR SPECTRORADIOMETRICE CU OPTICĂ
DUBLĂ AVÂND REZOLUȚIE SPECTRALĂ RIDICATĂ,
UTILIZATE PENTRU MONITORIZAREA VEGETAȚIEI**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă și la un aparat portabil utilizat pentru a valida etalonarea radiometrică (în unități de radianță și iradianță) și spectrală a unui sistem spectroradiometric cu rezoluție spectrală ridicată, cu optică dublă (SSOD) pentru colectarea radiației directe și indirecte pe suprafața opticii frontale, în condiții reale de utilizare a acestuia. Aparatul conform invenției cuprinde: o sursă (4) de radianță spectrală uniformă, o sursă (11) spectrală cu linii de emisie multiple, un spectroradiometru (16) cu rezoluție spectrală ridicată, cu optică dublă de colectare a semnalului optic, utilizat ca standard de transfer, un sistem (2) de încălzire/răcire pentru stabilizare termică a aparatului pe perioada testelor, o sursă (18) de alimentare cu energie electrică, cu posibilitate de încărcare de la un panou solar, o unitate (1) de transport rezistentă la șocuri și factori de mediu, senzori (12) de temperatură și umiditate pentru monitorizarea continuă a condițiilor de lucru din interiorul și din exteriorul aparatului și o unitate (3) de calcul, portabilă, pentru controlul și achiziția continuă a datelor înregistrate de diferitele componente ale aparatului și de sistemele de control adiacente acestora. Metoda conform invenției constă în măsurarea și corectarea automată, de către unitatea (3) de calcul, a responsivității radianței și iradianței spectrale a unui spec-

troradiometru (19), în funcție de condițiile de măsurare, în raport cu trasabilitatea unei surse de validare conștând în acest caz din sursa (4) de radianță spectrală și în raport cu diferențele dintre condițiile de lucru din teren, față de cele din laborator.

Revendicări: 7
Figuri: 7

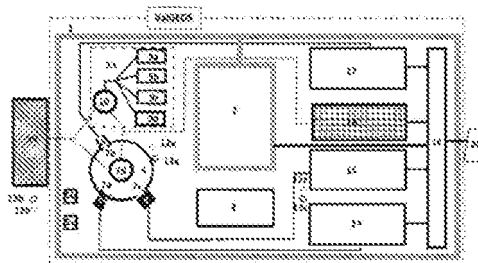


Fig. 3



DESCRIERE

Invenția se referă la o metodă și la un aparat portabil (2) utilizat pentru a valida etalonarea radiometrică și spectrală a unui sistem spectroradiometric cu rezoluție spectrală ridicată (rezoluție spectrală în raport cu lățimea spectrală la semi-înălțime: $FWHM < 0.2 \text{ nm}$) cu optică dublă (SSOD) pentru colectarea radiației directe și indirecte (1) pe suprafața opticii frontale, în condițiile reale de utilizare a acestuia, în scopul îmbunătățirii fiabilității și reproductibilității etalonării radianței/iradianței spectrale, ca necesitate în campaniile de validare a datelor satelitare înregistrate în cadrul misiunilor ESA sau NASA organizate pentru monitorizarea globală a stării de sănătate a vegetației.

Conform invenției, metoda și aparatul pentru validarea în condiții de lucru reale a etalonării radiometrice (în unități de radianță și iradianță) a spectroradiometrului testat trebuie:

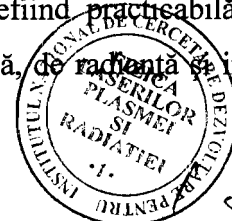
- i) să permită iluminarea uniformă a spectroradiometrului test cu optică dublă de colectare a semnalului optic, în locațiile și condițiile de utilizare reale ale acestuia, din teren și laborator (înaintea fiecărei campanii de măsurare), pentru unul sau mai pentru mai multe nivele de iluminare.
- ii) să permită verificarea și corectarea lungimii de undă pentru condițiile reale de utilizare ale acestuia din teren și laborator, minimizând incertitudinile de măsurare;
- iii) să furnizeze un semnal optic stabil pe întreaga perioadă a testelor de validare;
- iv) să permită iluminarea uniformă într-un domeniu dinamic ridicat;
- v) să permită corecția radianței / iradianței spectrale a spectrometrului test în raport cu geometria montajului experimental și condițiile de mediu (temperatură, umiditate) în care este utilizat (pădure, câmp, platformă tip dronă, sistem la sol etc.);
- vi) să poată fi transportat cu ușurință și să reziste la condițiile de mediu (transport, umezeală și praf, conform standardului IP67, temperaturi înalte de până la 50°C);
- vii) să fie independent din punctul de vedere al alimentării cu energie electrică, oriunde ar fi utilizat;
- viii) să aibă trasabilitate la standarde primare.

În literatura de specialitate nu există brevete care să revendice sisteme pentru validarea etalonării senzorilor optici având rezoluție spectrală ridicată ($FWHM < 0.2 \text{ nm}$), în condițiile lor reale de măsurare. Oricum, au fost propuse o serie de abordări după cum urmează:

- Labsphere a propus un sistem de etalonare și punere în funcțiune Commissioning system (**CalCom**). Oricum, dezavantajele acestui sistem sunt că montajul este "deschis". Aceasta înseamnă că, nu este stabilizat termic, necesită asamblarea și dezasamblarea după transport, și



are incertitudini de măsurare crescute cu până la 3.5%. În plus, sistemul, deși mobil, poate fi utilizat în laboratoare, dar nu pe teren, fiind alimentat de la rețeaua electrică. În prezent, Labsphere oferă doar un serviciu de re-etalonare a surselor de standard de laborator [1] în propriile laboratoare și nu în locațiile din teren în care sunt utilizate spectroradiometrele testate. Recent, LabSphere a adus pe piață sistemul portabil **PT-038-PLS** [2] ca și sursă uniformă, portabilă de luminanță, dezavantajul acesteia fiind ca nu este sursă de radianță/iradianță spectrală, nefiind util pentru validarea unui sistem destinat obținerii SIF, acestea din urmă având nevoie de sisteme de etalonare cu performanțe spectrale peste cele ale echipamentelor testate. Laboratorul Național de Fizică din Regatul Unit (NPL) a dezvoltat un sistem similar, Transfer Standard and Absolute Radiance Source (**TSARS**) [3] însă, deși acesta are incertitudini de măsurare minime, este impracticabil, deoarece este nevoie de un echipament de ridicare mecanică (un stivuitor cu furcă) pentru a-l muta și de un laborator cu temperatură controlată pentru utilizarea acestuia. Ocean Insight furnizează o sursă de etalonare radiometrică portabilă, având avantajul costurilor reduse. Dezavantajele acestei surse sunt că nu poate fi utilizată pentru sistemele spectrometrice/spectroradiometrice care încorporează alte sisteme de colectare a semnalului optic, deoarece are integrat un adaptor doar pentru fibre optice Ocean Insight [4, <https://www.oceaninsight.com/products/light-sources/calibration-sources/radiometric-calibrated/>]; în plus nu este controlată termic dovedindu-se instabilă în testele efectuate în laborator. NIST a dezvoltat facilitatea de etalonare a responsivității iradianței și radianței spectrale folosind surse uniforme (**SIRCUS**) și „**travelling SIRCUS**” [5], care are la bază sisteme laser acordabile, sfere integratoare și detectoare de transfer. Deși acesta are o trasabilitate foarte bună (la standardul primar al NIST, Primary Optical Watt Radiometer (**POWR**)), cu incertitudini de până la 0.1%, portabilitatea acestuia este redusă pentru a fi utilizat în campanii de monitorizare a vegetației, în câmp deschis, deoarece este necesar un echipament de ridicare mecanică pentru a-l muta și de un laborator cu temperatură controlată. Centrul Aerospațial German (**DLR**) a propus recent (2023) o metodă de etalonare radiometrică a spectroradiometrelor de câmp prin măsurători de transfer de radianță [6], oferind un exemplu de transfer de radianță de la spectroradiometrul etalonat SVC HR-1024i la un sistem bazat pe o sferă integratoare. Această metodă este însă mai potrivită pentru sistemele de câmp care sunt utilizate pentru măsurători de reflectanță (decât pentru măsurători de radianță și iradianță spectrală). Un alt dezavantaj al metodei propuse de DLR este că poate fi utilizată doar pentru etalonarea spectroradiometrelor în radianță, nu și în iradianță, nefiind practică pentru sisteme cu performanțe spectrale ridicate și cu optică frontală dublă, de radianță și iradianță spectrală.

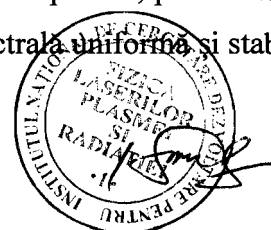


Patentul US7339665 [6] face referire la o metodă și aparat de tipul sursă de etalonare a unui spectroradiometru, însă nu există menționări referitoare la portabilitatea acestuia, posibilității de a etalona spectroradiometre cu optică dublă de colectare a semnalului (radianță/iradianță), acesta fiind destinat etalonării altor tipuri de sisteme optice decât cele vizate de către această invenție, sau posibilității de utilizare în condiții de lucru diferite de cele din laborator. Niciunul dintre aceste sisteme nu este conceput pentru a valida atât etalonarea în radianță, cât și în iradianță spectrală, ceea ce este esențial pentru spectroradiometrele moderne cu sistem optic dublu de colectare a semnalului optic. Mai mult, niciunul dintre aceste sisteme nu are integrat un sistem de verificare sau de etalonare în lungimea de undă, pas inițial în procesul de etalonare și validare radiometrică.

Problema tehnică abordată de prezenta invenție este de a găsi o metodă de corectare a erorilor introduse de modificările sistemice ale sistemului spectroradiometric testat care afectează etalonarea radianței și a iradianței spectrale, minimizând incertitudinile acestuia. Acest lucru va permite utilizarea fiabilă a acestuia pentru campaniile de validare la sol a datelor satelitare pentru monitorizarea stării fenologice a vegetației prin monitorizarea fluorescenței induse de soare (SIF).

Aparatul (ValGEOS) pentru validarea etalonării spectrale și radiometrice a SSOD, conform invenției, constă din:

- **componenta 1:** o fibră optică având 4 intrări la care sunt conectate 4 lămpi spectrale cu lungimi de undă cunoscute și o ieșire adaptată la care este cuplată optica frontală a SSOD care urmează să fie validată pentru corectarea lungimilor de undă corespunzătoare domeniului său spectral, aceasta formând sursa spectrală cu linii de emisie multiple (cValSpec)
- **componenta 2:** o sferă de integrare cu patru porturi de acces, la care este cuplată:
 - a) un detector fotopic pentru monitorizarea continuă a luminanței în interiorul sferei integratoare.
 - b) un spectrometru care înregistrează stabilitatea spectrală a radiației optice în interiorul sferei
 - c) 3 lămpi având spectre ce simulează spectrul solar și au puteri optice diferite (ce pot fi utilizate prin metoda substituției).
 - d) spectroradiometrul de testare cu optică frontală dublă pentru colectarea atât a radianței, cât și a iradianței spectrale, cu ajutorul unui adaptor specific, prin metoda substituției. **Componenta 2** reprezintă sursa de radianță spectrală uniformă și stabilă (cValRad) a aparatului.



- **componenta 3:** o sursă de precizie, pentru alimentarea **componentei 2c** (prin metoda substituției), astfel încât la portul de ieșire al **componentei 2** să fie emis un câmp uniform de radiație optică cu nivel de luminanță selectiv (trei niveluri de luminanță diferite, în funcție de lampă), stabil în timp.
- **componenta 4:** un sistem de încălzire/răcire pentru stabilizarea termică a **componentelor 1 și 2**.
- **componenta 5:** sistem informatic portabil - pentru înregistrarea continuă a datelor de la **componentele 1 și 2** și de la sistemele de control adiacente acestora.
- **componenta 6:** stație de alimentare portabilă (cu posibilitatea de conectare la un panou solar), pentru a alimenta toate componentele.
- **componenta 7:** unitate de transport ce respectă standardul IP67 de rezistență la șocuri și la mediul înconjurător. Datorită **componentelor 6 și 7**, validarea testului de calibrare a spectroradiometrului poate fi efectuată în orice loc de pe glob și pe orice platformă.
- **componenta 8:** senzori multipli de umiditate și temperatură fixați în interiorul și în exteriorul cutiei de transport.

Metoda de validare a etalonării radiometrice a SSOD se bazează pe măsurarea temperaturii în interiorul și în exteriorul aparatului care stă la baza invenției, astfel încât radianța /iradianța spectrală a spectroradiometrului testat să poată fi corectată pentru diferențele datorate condițiilor de măsurare (laborator față de teren).

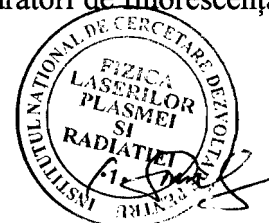
Metoda de validare a etalonării radiometrice a SSOD se bazează pe măsurarea radianței și iradianței emise de cValRad, de către SSOD, în condițiile locației în care este utilizat spectroradiometrul, înainte de utilizarea acestuia în campaniile de măsurare.

Metoda de validare a etalonării radiometrice a SSOD, conform invenției, se bazează pe măsurarea de către SSOD a radianței /iradianței spectrale emise de standardele de radianță și iradianță spectrală din laborator.

Metoda de validare a etalonării radiometrice a SSOD se bazează pe măsurarea de către SSOD a radianței și a iradianței spectrale emise de cValRad.

Avantajele metodei și aparatului de validare a etalonării radiometrice a SSOD, conform invenției, față de aparatele și metodele descrise în conformitate cu stadiul tehnicii prezentat anterior, constau în faptul că:

- aparatul și metoda permit validarea atât a etalonării responsivității radianței spectrale, cât și a responsivității iradianței spectrale a SSOD utilizate pentru măsurători de fluorescență în locația la care este utilizat sistemul spectroradiometric.



- aparatul și metoda ce stau la baza invenției permit verificarea lungimilor de undă pentru SSOD utilizate pentru măsurători de fluorescență în locația la care este utilizat sistemul spectroradiometric.
- aparatul poate fi transportat în siguranță în orice locație geografică, datorită unității de transport (IP67) în care este încastrat și a sistemului independent de alimentare la energie electrică, cu posibilitatea de încărcare de la panou solar;
- aparatul poate fi stabilizat termic exact la temperatura la care a fost realizată etalonarea radiometrică a SSOD, metoda de validare ajutând la determinarea corespunzătoare a factorului de corecție pentru reducerea erorilor datorate modificării condițiilor de lucru (laborator/teren);
- aparatul permite validarea etalonării radianței/iradianței spectrale selectiv pentru 3 nivele de luminanță diferite, prin utilizarea unei surse de precizie cu un control al tensiunii de ieșire în gama de 0,5%, indiferent de sarcina și temperatura de funcționare, obținute cu costuri minime.

Toate aceste avantaje vor fi ilustrate pe parcursul descrierii aparatului și metodei pentru validarea etalonării radiometrice a unui spectroradiometru având rezoluție spectrală ridicată cu optică dublă pentru colectarea radiației optice.

În figura 1, este reprezentată ca un exemplu, responsivitatea radianței/ iradianței spectrale a unui spectroradiometru având rezoluție spectrală ridicată cu optică dublă pentru colectarea radiației optice SSOD, atunci când spectroradiometrul este conectat direct la portul de ieșire al aparatului ce face obiectul invenției, a) fără și b) cu stabilizarea termică a acestuia din urmă.

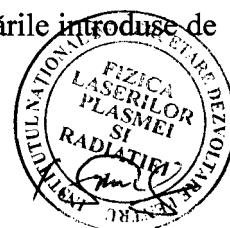
În figura 2, este reprezentată ca un exemplu, responsivitatea radianței/ iradianței spectrale a unui SSOD, atunci când spectroradiometrul este iluminat de către surse standard de radianță și iradianță și de alte surse de radianță.

Figura 3, ilustrează schema bloc a aparatului pentru validarea etalonării în radianță și iradianță spectrală a unui SSOD (desenul nu este scară).

Figura 4, ilustrează schema bloc a sistemului de răcire/încălzire al aparatului pentru validarea etalonării în radianță și iradianță spectrală a unui SSOD.

Figura 5, ilustrează schema bloc a sursei de precizie utilizată pentru alimentarea lămpilor integrate la portul sferei integratoare ce alcătuiește sursa de radianță ce face obiectul invenției.

Figura 6, ilustrează schema logică reprezentând procesul de măsurare și corectare a responsivității radianței / iradianței spectrale a unui SSOD, în raport modificările introduse de condițiile reale de măsurare față de cele din timpul etalonării.

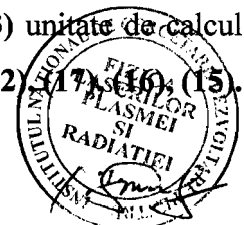


În figura 7, este reprezentată ca un exemplu, uniformitatea la portul de ieșire al sursei de radianță spectrală, componentă a aparatului ce face obiectul invenției.

Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției.

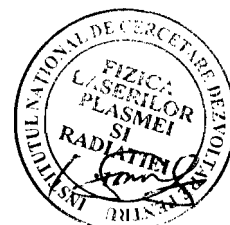
În figura 1a este reprezentată variația cu temperatura a responsivității radianței/iradianței spectrale a unui a spectroradiometru cu rezoluție spectrală ridicată și optică dublă de colectare a semnalului optic atunci când este iluminat cu o sursă de radianță uniformă nestabilizată termic. Figura 1b reprezintă variația responsivității radianței/iradianței spectrale a aceluiași spectroradiometru cu rezoluție spectrală ridicată și optică dublă de colectare a semnalului optic când este iluminat cu o sursă de radianță uniformă stabilizată termic la temperatura din laborator. Din cele două figuri se pot observa erorile spectrale și în intensitate a semnalului măsurat de către spectroradiometru, datorate variațiilor de temperatură ale mediului în care sunt realizate înregistrările. Ca urmare a acestui fapt, este necesară stabilizarea termică atât a sursei de radianță spectrală cât și a sistemului spectroradiometric. În Figura 2 este reprezentat un exemplu de răspuns spectral înregistrat cu sisteme optice pentru măsurarea radianței și iradianței spectrale pentru diferite surse standard, primare (pentru etalonare) și secundare (pentru validare). Ca urmare a celor menționate anterior, pentru ca înregistrările realizate de către spectroradiometrul test, atunci când este utilizat ca sursă de iluminare aparatul de validare ce stă la baza invenției, să fie trasabile, este necesară corectarea acestora în raport cu standardele de radianță și iradianță primare din laborator. Metoda și aparatul pentru validarea etalonării radiometrice a spectroradiometrelor cu rezoluție spectrală ridicată și optică dublă de colectare a semnalului optic, conform invenției, rezolvă această problemă așa cum se va arăta în exemplul de realizare al invenției, prezentat în continuare.

În Figura 3 este reprezentat un exemplu de realizare al aparatului ce constituie obiectul invenției. Astfel, după cum se poate vedea în Figura 3, aparatul ValGEOS are la bază: (4) o sursă de radianță spectrală uniformă, cValRad, un exemplu de unifomitate a unei astfel de surse fiind reprezentată în figura 7; (11) sursa spectrală cu linii de emisie multiple (cValSpec); (16) spectroradiometru cu rezoluție spectrală ridicată cu optică dublă de colectare a semnalului optic, utilizat ca standard de transfer (ST); (2) sistem de încălzire/răcire, reprezentat în Figura 4; (18) sistem de alimentare cu energie electrică cu posibilitatea de încărcare la (20) panou solar; (1) unitate de transport rezistentă la șocuri și factori de mediu (T și RH), ce respectă standardul IP67; (12) senzori de temperatură și (13) senzori de umiditate pentru monitorizarea continuă a condițiilor de lucru din interiorul aparatului și din exteriorul acestuia; (13) unitate de calcul portabil pentru controlul și achiziția continuă a datelor înregistrate de către (2) (17), (16), (15).



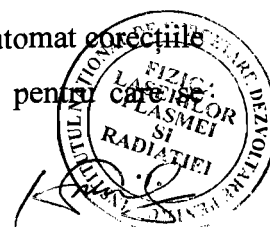
Sursa de radianță spectrală (cValRad) este alcătuită din: sferă integratoare (4) ce are o acoperire interioară cu reflectivitate de până la 99%, prevăzută cu 4 porturi de acces, la portul de ieșire (7a) fiind conectate, prin metoda substituției, lămpi de emisie de bandă largă (5a, 5b sau 5c, ce au puteri optice diferite), cu spectru ce simulează spectrul solar, alimentate de o sursă de precizie acordabilă cu un control al tensiunii de ieșire în gama de 0,5%, indiferent de sarcina și temperatura de funcționare, care, așa cum se poate observa în figura 5, este formată dintr-o sursă în comutație ce asigură o precizie de 4%, controlată suplimentar de un microsistem în buclă închisă ce mărește controlul parametrilor de ieșire la o precizie de 0,2%. Consumul de energie al sursei este mic datorită randamentului ridicat al sursei în comutație și prețul ansamblului este mic datorită componentelor uzuale utilizate. La portul de acces (7b) al sferei integratoare (4) este conectată o fibră optică care colectează semnalul optic al lămpii conectate la portul (7a) într-un spectrometru (17), în scopul monitorizării stabilității spectrale a lămpii (5); la portul de acces (7c) este conectat un detector fotic (8) cuplat la un sistem de control și achiziție (14) pentru monitorizarea continuă a uniformității sferei integratoare (4); la portul de acces (7d) este conectat direct la sfera integratoare (4) prin adaptor specific, spectroradiometrul al cărei responsivitate a radianței/iradianței spectrale trebuie determinată (19) și spectroradiometrul cu parametri tehnici similari (16), care constituie spectroradiometrul de transfer din laborator. Sursa spectrală cu linii de emisie multiple (cValSpec) (11), este alcătuită din 4 lămpi spectrale cu linii de emisie multiple, diferite, și o fibră optică cu 4 intrări și o ieșire (10), la care se cuplează pentru colectarea semnalului optic sistemele (19) și (16), care, prin metoda invenției, are ca scop corectarea lungimilor de undă pentru întregul domeniu spectral de sensibilitate a spectroradiometrelor (19) și (16). Toate componentele celor două surse cValRad și cValSpec, sunt alimentate direct la o sursă de energie portabilă (18), care poate fi încărcată fie de la priză, fie de la un panou solar (20). Întreg aparatul ValGEOS este stabilizat termic pe perioada testelor cu sistemul de încălzire/răcire (2). Toate componentele aparatului sunt încastrate într-o cutie (1) ce respectă standardul IP67 de protecție la condiții dificile de transport. În interiorul și exteriorul unității de transport (1) sunt distribuiți și fixați senzori multipli de temperatură (12) și umiditate (13), datele fiind monitorizate și înregistrate continuu de către sistemul informatic portabil (3).

Metoda de validare a etalonării radiometrice a spectroradiometrelor cu rezoluție spectrală ridicată și optică dublă de colectare a semnalului optic, conform invenției și schemei logice reprezentate în figura 6, se bazează pe:

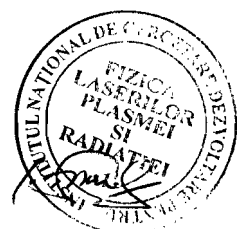


- a) măsurarea spectrului emis de către o sursă spectrală cu linii de emisie multiple (cValSpec) **(11)** și etalonarea în lungime de undă, folosind metode de etalonare bine cunoscute [7,8], a spectroradiometrelor **(19)** și **(16)** a căror etalonare trebuie validată;
- b) măsurarea radianței și respectiv iradianței spectrale, emise de către sursele de radianță și respectiv iradianță spectrală, reprezentând standardele primare de la nivelul laboratorului, cu spectroradiometrul **(19)** și obținerea factorilor de etalonare ai acestuia în condițiile de lucru din laborator, urmând metode de etalonare radiometrică standard care constau în convertirea unităților arbitrare ale semnalului optic înregistrat de către un spectroradiometru, în unități standard de radianță spectrală [$\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \text{nm}^{-1}$] și iradianță spectrală [$\text{W m}^{-2} \text{nm}^{-1}$], în raport cu datele de etalonare ale echipamentelor utilizate ca standarde primare la nivelul laboratorului, etalonare realizată de către o instituție de metrologie recunoscută, cu menținerea constantă a temperaturii în interiorul ValGEOS cu sistemul de răcire/încălzire **(2)**.
- c) măsurarea radianței și respectiv iradianței spectrale emise de către sursa de radianță spectrală (cValRad), constituind standardul secundar din laborator, cu spectroradiometrul având rezoluție spectrală ridicată **(19)** care a fost în prealabil etalonat în radianță și iradianță spectrală cu standardele primare din laborator, prin utilizarea unui spectroradiometru de transfer **(16)**, folosindu-se metode de etalonare radiometrică binecunoscute, și obținerea unui factor de corecție pentru eliminarea diferențelor dintre cele două standarde (primar și secundar), ținând cont de rezultatele obținute la **a)**, **b)**, **c)**.
- d) măsurarea radianței și respectiv iradianței spectrale emise de către sursa de radianță spectrală (cValRad), cu spectroradiometrul având rezoluție spectrală ridicată **(19)**, în condițiile (de teren) din locația în care este utilizat **(19)** în campaniile de măsurare și corectarea radianței și iradianței obținute față de cele obținute la punctul **c)**, pentru eliminarea efectelor datorate modificărilor condițiilor de măsurare (temperatură și geometrie).
- e) măsurarea temperaturii din interiorul și exteriorul unității de transport **(1)** în care este integrat ValGEOS, cu senzorii de temperatură **(12)** și umiditate **(13)**, și corectarea responsivității radianței /iradianței spectrale a spectroradiometrului cu rezoluție spectrală ridicată și optică dublă de colectare a semnalului optic, în raport cu diferențele de temperatură din teren față de cele din laborator (la care a fost realizată etalonarea cu standardele primare din laborator).

În conformitate cu cele expuse mai sus, sistemul de calcul **(3)** realizează automat corecțiile responsivității radianței /iradianței spectrale a spectroradiometrului **(19)** pentru care se

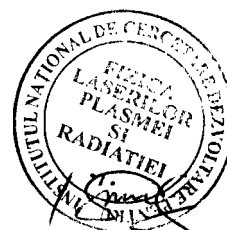


determină această responsivitate spectrală, în funcție de condițiile de măsurare, în raport cu trasabilitatea sursei de validare cValRad și în raport cu diferențele dintre condițiile de lucru din teren față de cele din laborator (temperatură, umiditate, geometria spectroradiometrului (19) al cărei responsivitate este validată).



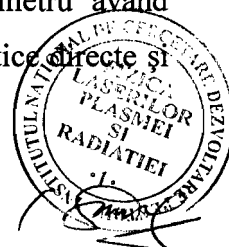
Bibliografie:

- [1] <http://labsphere.com/about/news/labsphere-on-site-spectral-radiance-calibrations/> (deschis in 20190)
- [2] <https://www.labsphere.com/product/spectra-pt-portable-luminance-source/> (04.2023)
- [3] Heather M. Pegrum, Emma R. Woolliams, Nigel P. Fox, The NPL Transfer Standard Absolute Radiance Source (TSARS), www.ncaveo.ac.uk › site-resources › pdf › TSARS.
- [4] <https://www.oceaninsight.com/products/light-sources/calibration-sources/wavelength-calibration-sources/> (deschis la 04.2023)
- [5] <https://www.nist.gov/programs-projects/spectral-irradiance-and-radiance-responsivity-calibrations-using-uniform-sources> (04.2023)
- [6] Rammeloo, Clemens, and Andreas Baumgartner. 2023. "Spectroradiometer Calibration for Radiance Transfer Measurements" *Sensors* 23, no. 4: 2339. <https://doi.org/10.3390/s23042339>
- [7] Kenji Imura, PATENT US 7,339,665 B2, CALIBRATION SOURCE FOR CALIBRATING SPECTRORADIOMETER,CALIBRATION METHOD USING THE SAME, AND CALIBRATION SYSTEM, , 2008.
- [8] Mihai, L., Mac Arthur, A., Hueni, A., Robinson, I. and Sporea, D., 2018. Optimized spectrometers characterization procedure for near ground support of esa flex observations: Part 1 spectral calibration and characterisation. *Remote Sensing*, 10(2), p.289.



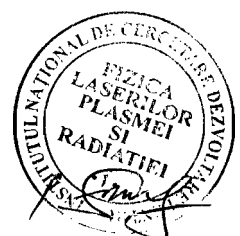
REVENDICĂRI

1. Aparat **ValGEOS** pentru validarea etalonării radiometrice a unui spectroradiometru (19) având rezoluție spectrală ridicată cu optică dublă pentru colectarea radiației optice directe și indirecte pe senzor, **caracterizat prin aceea că** este alcătuit din sursă de radianță spectrală uniformă (4), **cValRad**, conform **figurilor 3, 7**; sursa spectrală cu linii de emisie multiple (11) (**cValSpec**); spectroradiometru cu rezoluție spectrală ridicată cu optică dublă de colectare a semnalului optic, utilizat ca standard de transfer (ST) (16); sistem de încălzire/răcire (2); sistem de alimentare cu energie electrică (18) cu posibilitatea de încărcare la (20) panou solar; unitate de transport rezistentă la șocuri și factori de mediu (T și RH), ce respectă standardul IP67 (1); senzori de temperatură (12) și senzori de umiditate (13) pentru monitorizarea continuă a condițiilor de lucru din interiorul aparatului și din exteriorul acestuia; unitate de calcul portabil pentru controlul și achiziția continuă a datelor (13) înregistrate de către (2), (17), (16), (15).
2. Aparat **ValGEOS** conform revendicării 1, **caracterizat prin faptul că** utilizează un spectrometru pentru a monitorizarea sistemului, care este menținut la aceeași temperatură și în același mediu ca și sistemul care este etalonat și/sau validat.
3. Aparat **ValGEOS** conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** utilizează o sursă de alimentare de precizie pentru lampa de emisie (5) integrată în sfera integratoare (4), acordabilă, cu un control al tensiunii de ieșire în gama de 0,5%, indiferent de sarcina și temperatură de funcționare, obținută dintr-o sursă în comutație ce asigură o precizie de 4% controlată suplimentar de un microsistem în buclă închisă ce mărește controlul parametrilor de ieșire la o precizie de 0,2%.
4. Aparat **ValGEOS** conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** utilizează o metodă de corectare a diferențelor de etalonare a radianței și iradianței spectrale a aparatului ValGEOS, conform revendicării 1, în raport cu standardele primare de radianță și iradianță spectrală din laborator.
5. Aparat **ValGEOS** conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** utilizează o metodă de corectare a etalonării radianței și iradianței spectrale a spectroradiometrul (19), pentru condițiile de măsurare din locația în care este utilizat (19), față de cele în care a fost etalonat (din laborator).
6. Metodă pentru validarea etalonării radiometrice a unui spectroradiometru având rezoluție spectrală ridicată cu optică dublă pentru colectarea radiației optice directe și



indirecte pe senzor, **caracterizată prin aceea că** permite măsurarea și corectarea etalonării radianței / iradianței spectrale a aparatului conform revendicării 1, în raport cu standardele primare din laborator.

7. Metodă pentru validarea etalonării radiometrice a unui spectroradiometru având rezoluție spectrală ridicată cu optică dublă pentru colectarea radiației optice directe și indirecte pe senzor, **caracterizată prin aceea că** permite măsurarea și corectarea etalonării radianței și iradianței spectrale a spectroradiometrul (19), în raport cu condițiile de măsurare din locația în care este utilizat (19), față de cele în care a fost etalonat (din laborator).



DESENE/FIGURI

Figura 1

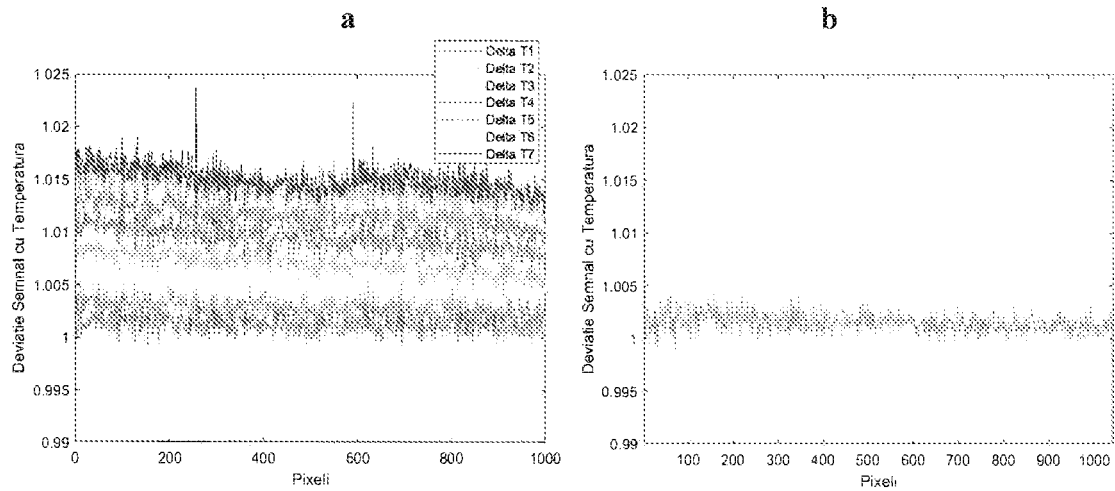


Figura 2

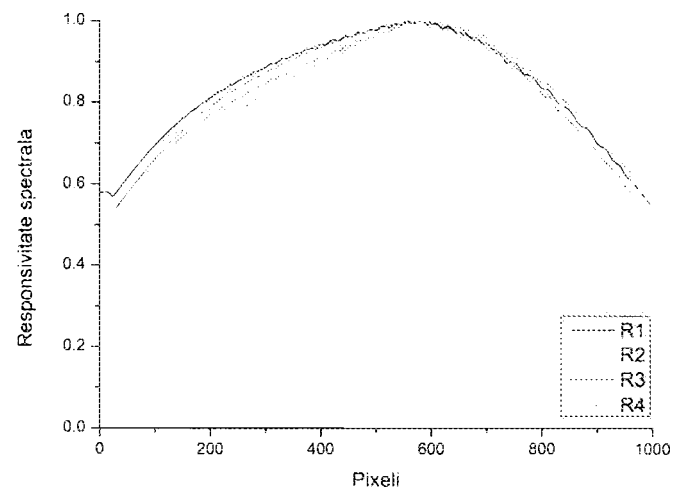


Figura 3

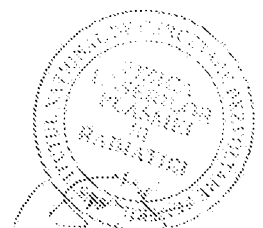
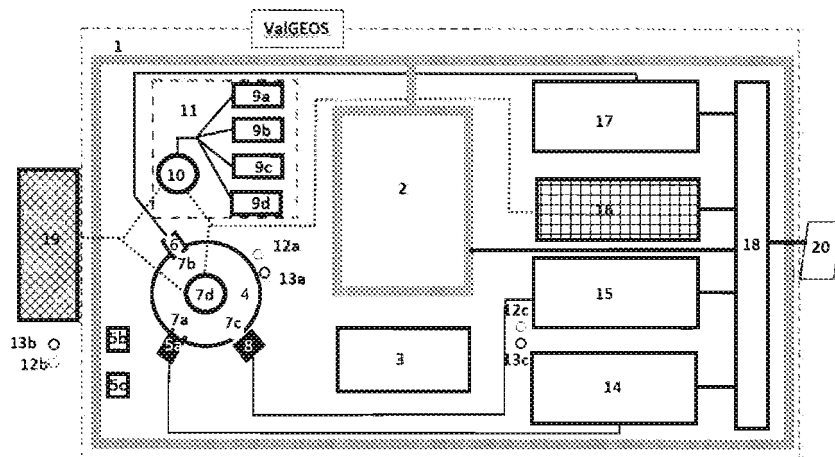


Figura 4

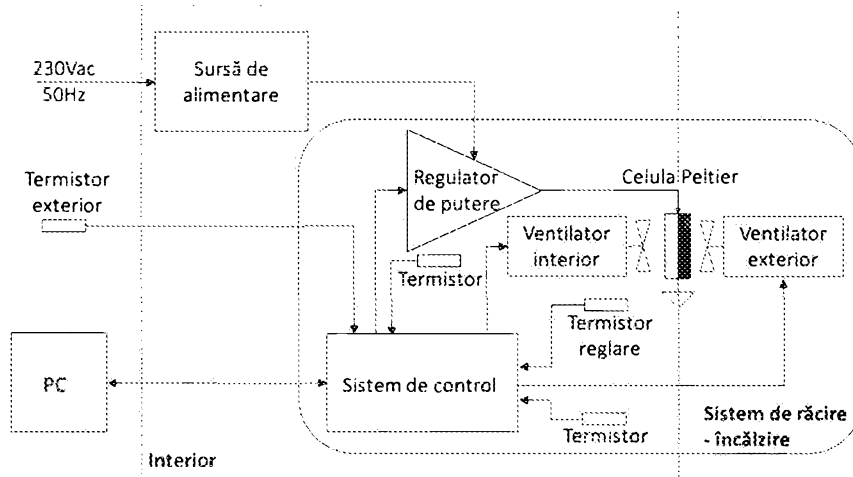


Figura 5

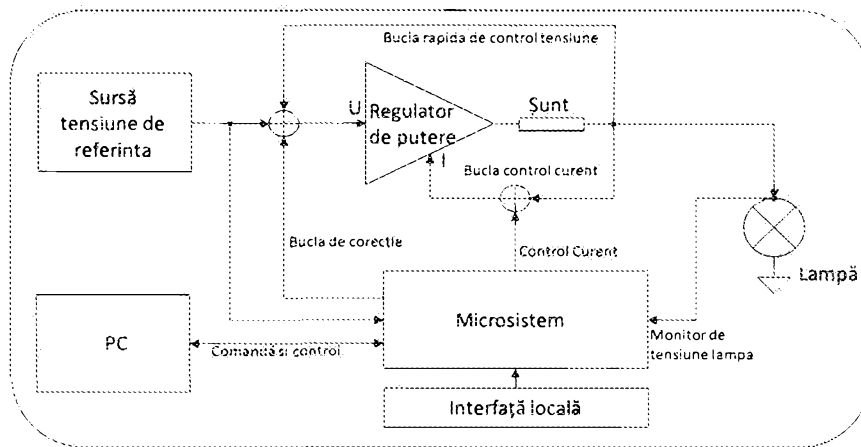


Figura 6

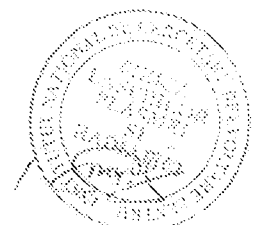
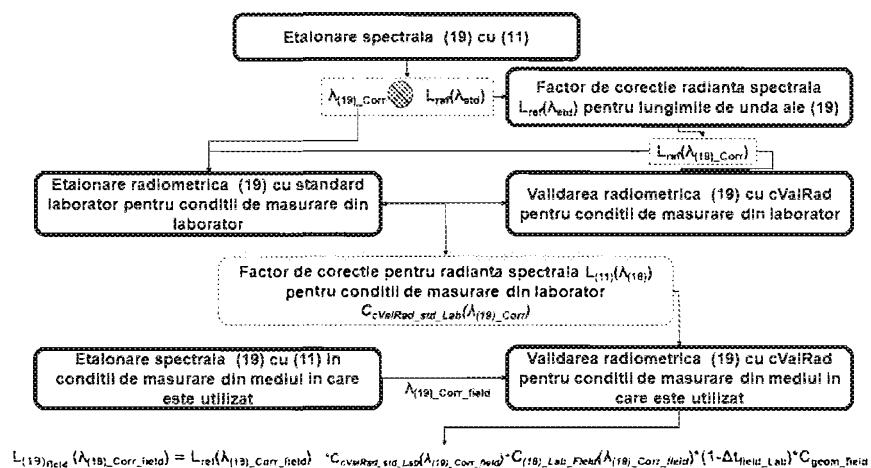


Figura 7

