

REZUMAT TEZA ABILITARE

Conf. univ. dr. Eugenia Paulescu

Studiul radiatiei solare a devenit un subiect fascinant datorita retelelor globale de observatii radiometrice detaliate si interesului crescut pentru domeniul energiilor regenerabile. Tema prioritara a activitatii mele de cercetare o constituie estimarea energiei transportate de radiatia solara.

Estimarea energiei radiatiei solare se realizeaza cu diverse clase de modele: (1) modele de transpozitie (2) modele de cer senin (3) modele spectrale si (4) modele de separare.

Modelele de transpozitie estimeaza energia incidenta pe suprafete plane inclinate in baza cunostintelor despre radiatia solara globala masurata in plan orizontal si radiatia solara directa masurata intr-un plan perpendicular pe directia razelor de soare. Aceste modele sunt importante in ingineria solara. Modelul *Perez et al. Solar Energy 36 (1986) 481* a ramas o referinta remarcabila pana in prezent.

Modelele de estimare ale iradiantei solare in conditii de cer senin sunt mai numeroase decat cele de transpozitie. Acestea pot fi impartite in doua subclase: modele fizice (care iau in considerare fizica atmosferei) si modele parametrice (care nu iau in considerare fizica atmosferei). Prin expresia "cer senin" intelegem un cer fara nori, constituentii atmosferici fiind prezenti. Aerosolii, vaporii de apa si unele gaze din atmosfera pot afecta cantitatea de radiatie solara care ajunge la suprafata Pamantului. Un model fizic performant este capabil sa contabilizeze efectele constituentilor atmosferici asupra radiatiei solare, avand la baza modelarea fizica a transferului radiativ in atmosfera. Modelele parametrice mediaza transmitanta atmosferica dupa lungimea de unda si, prin fitare, asociaza transmitante independente fiecarui constituent atmosferic. In general, in termeni de acuratete, modelele parametrice sunt inferioare modelelor fizice. Data fiind importanta cruciala a modelelor de estimare a iradiantei solare in conditii de cer senin la evaluarea si prognoza resursei solare, exista multe studii de validare si comparatie a acestora. De exemplu, studiul *Sun et al. Renewable and Sustainable Energy Reviews 135 (2021) 110087* examineaza 95 de modele de estimare a componentelor difuza si directa ale iradiantei solare in conditii de cer senin, in 100 de locatii de pe glob, acoperind cele 5 zone climatice. In acest studiu, modelul REST2 (*Gueymard, Solar Energy 82 (2008) 272*) este considerat cel mai bun model parametric pentru estimarea componentei directe, la nivel global. Modelul dezvoltat de grupul nostru, SIMv2 (*Calinoiu et. al., Energy Conversion and Management, 164 (2018) 175*) este pe primul loc la estimarea componentei difuze, in zona temperata.

Modelele de transpozitie si de cer senin, estimeaza componentele iradiantei solare in banda spectrala larga, adica putere incidenta pe unitatea de arie. Totusi, natura radiatiei solare este fundamental spectrala, iar iradiantele spectrale au multe aplicatii in ingineria solara, fotobiologie si fotochimie. Cea de-a treia clasa, clasa modelelor spectrale, ia in considerare dependenta de lungimea de unda a radiatiei solare. Cel mai reprezentativ model de estimare a iradiantei spectrale este modelul SMART2 (*Gueymard, Rep. FSEC-PF-270-95 1995*).

Ultima clasa de modele de estimare a iradiantiei solare este clasa modelelor de separare. Acestea au ca scop estimarea fractiei difuze, indexul care normalizeaza componenta difuza a iradiantiei solare. Odata estimata fractia difuza, se pot evalua componentele difuza si directa ale iradiantiei solare, cunoscand valoarea masurata a componentei globale. Diversele modele de separare au ca parametri de intrare: componenta globala a iradiantiei solare sub forma indexului de claritate atmosferica si, eventual, unghiul zenital si/sau diversi parametri meteorologici. Parametrul de iesire este fractia difuza. Necesitatea modelelor de separare este argumentata astfel: (1) spre deosebire de iradianta globala care poate fi masurata cu piranometre stationare, masuratorile de iradianta difuza si directa necesita dispozitive mult mai costisitoare decat piranometrele; (2) componentele difuza si directa sunt necesare in modelele de transpozitie, utilizate in proiectarea centralelor fotovoltaice si termosolare. Din punct de vedere tehnic, spre deosebire de modelele de transpozitie si de cer senin, aproape toate modelele de separare sunt empirice, deci usor de realizat daca dispunem de serii de date radiometrice de calitate. Modelul de separare considerat cvasi-universal este Engerer2 (*Engerer Solar Energy 116 (2015) 215*). In 2022, Yang publica un studiu (*Yang Renewable and Sustainable Energy Reviews 159 (2022) 112195*), in care compara performantele modelului Engerer2 cu alte noua modele de separare care au pretins a fi mai bune decat Engerer2. Analiza foloseste date masurate cu frecventa de 1 minut, in 126 de locatii de pe toate cele 7 continente si insule din toate cele 4 oceane. In acest studiu este cuprins si modelul nostru de separare (*Paulescu si Blaga, Solar Energy 180 (2019) 75*). In ierarhia celor zece modele, modelul nostru ocupa pozitia a cincea la estimarea componentei directe si pozitia a patra la estimarea componentei difuze, unde depaseste performanta modelului Engerer2.

Teza de abilitare este construita plecand de la un ansamblu de lucrari din domeniul estimarii energiei radiatiei solare. Lucrarile se incadreaza in doua dintre clasele de modele anterior mentionate: modele empirice de separare si modele parametrice de estimare a iradiantiei solare in conditii de cer senin. Dupa tehnica folosita la dezvoltarea acestora, modelele de estimare a iradiantiei solare prezentate in aceasta teza pot fi grupate astfel: (1) algoritmi fuzzy, (2) regresii liniare simple, multiple si segmentate, (3) medieri dupa lungimea de unda si fitari neliniare cu unul sau doi predictori.

Teza este structurata in cinci capitole. In primul capitol am realizat o trecere in revista a carierei universitare, analizand atat activitatea didactica, cat si activitatea de cercetare. Am analizat evolutia publicatiilor stiintifice si cresterea progresiva a vizibilitatii acestora. Astfel, in perioada post-doctorala, am publicat, in calitate de autor sau coautor, un numar de 29 de articole in reviste cu factor de impact. Dintre acestea, 13 articole sunt publicate in reviste din prima quartila a domeniului WoS Energy and Fuels, precum *Renewable Energy* (IF = 8.634), *Energy Conversion and Management* (IF = 11.533), *Solar Energy* (IF = 7.188) sau *Renewable & Sustainable Energy Reviews* (IF = 16.799). O parte dintre rezultatele obtinute au fost incluse in monografia *Wheater Modeling and Forecasting of PV Systems Operation*, pe care am publicat-o in calitate de coautor, la editura Springer, in anul 2013. Cartea este prezenta pe rafturile a peste o suta de biblioteci universitare din intreaga lume (www.worldcat.org), printre care si bibliotecile unor universitati de renume, precum: MIT in USA sau ETH-Bibliothek Zurich in Europa. Interesul suscitit de lucrarile mele stiintifice este atestat de cele 345 de citari (fara auto-citari), insumad un index Hirsch egal cu 12.

Al doilea capitol este dedicat notiunilor teoretice vehiculate in lucrarile stiintifice descrise in teza: radiatia electromagnetica, radiatia termica, definitiile variabilelor radiative si calculul radiatiei solare la suprafata Pamantului.

Capitolul trei este dedicat modelelor empirice de estimare a energiei radiatiei solare. Majoritatea modelelor empirice prezentate face parte din clasa modelelor de separare. Aceste modele estimeaza fractia difuza si sunt dezvoltate tehnic folosind regresii liniare simple sau multiple, cu si fara segmentare. Dintre acestea se remarca modelul de estimare al fractiei difuze realizat cu date de iradianta solara cu frecventa de un minut, publicat in prestigioasa revista *Solar Energy* (*Paulescu si Blaga, Solar Energy 180 (2019) 75*). Acest capitol cuprinde si o parte dedicata modelelor construite cu tehnica fuzzy, deoarece aceasta tehnica face parte din sfera inteligentei artificiale, care se bucura de o popularitate deosebita in randul aplicatiilor stiintifice contemporane.

Cel mai consistent capitol din aceasta teza este capitolul patru. Modelele din acest capitol apartin clasei modelelor parametrice pentru estimarea radiatiei solare in conditii de cer senin. Grupul nostru de cercetare are preocupari in aceasta directie inca din anii 2007/2008. Radiatia solara este de natura fundamental spectrala. In practica se folosesc frecvent aproximatiile de banda larga pentru a evita calculele dificile si laborioase care necesita resurse computationale remarcabile. O abordare comuna pentru a ocoli modelarea spectrala consta in parametrizari in banda larga pentru transmitantele atmosferice asociate fiecarui constituent, din care, ulterior, se evalueaza iradianta solara. Parametrizarile se realizeaza, in general, in doua etape: mediere dupa lungimea de unda si fitare. Modelul parametric SIMv1, publicat de grupul nostru (*Calinoiu et al., Energy Conversion and Management, 70 (2013) 76*) este un model de banda larga, de cer senin, care mediaza si fiteaza transmitantele din modelul spectral SMART2. Modelul parametric SIMv2, din lucrarea (*Calinoiu et al., Energy Conversion and Management 164, (2018) 175*) este o versiune imbunatatita a modelului SIMv1. Reamintesc ca lucrarea Sun et al., *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 135 (2021) 110087, care compara performantele a 95 de modele de cer senin, in 100 de locatii din cele 5 zone climatice majore, plaseaza modelul SIMv2 pe primul loc la estimarea iradiantei difuze in zona climatica temperata. In lucrarea *Paulescu si Paulescu Renewable Energy, 179 (2021) 2094* am dezvoltat un nou model parametric, abreviat PEM, care parametrizeaza transmitantele unui model spectral mai simplu, modelul Leckner, si aduce o noutate in domeniu: medierea si fitarea sunt realizate in trei benzi spectrale.

Ultimul capitol contine perspectiva de dezvoltare a carierei mele universitare. Doresc sa imi continui activitatea in domeniul estimarii energiei transportate de radiatia solara. Tinta este perfectionarea modelelor asupra carora m-am concentrat si pana in prezent. Am speranta ca in curand imi voi extinde expertiza si in domeniul modelelor spectrale, avand in vedere recenta achizitie a unui spectrofotometru solar de inalta performanta. De asemenea, alaturi de viitorii doctoranz, imi propun sa fiu un membru activ in colectivul Solar Energy Research Group constituit in jurul Platformei Solare a UVT.