

RAPORT ȘTIINȚIFIC ȘI TEHNIC
privind implementarea proiectului PN-III-P2-2.1-PED-2019-3942
în perioada 9 noiembrie 2020 – 31 decembrie 2021

REZUMAT

Planul de lucru al proiectului a fost organizat pe activități și sub-activități. Detalii despre modul de realizare a acestora sunt prezentate în secțiunea a doua a raportului: *Descrierea științifică și tehnică*. În acest rezumat prezentăm principalele rezultate și concluzii. Citările fac referire la lista de referințe bibliografice de la finalul raportului, care, în prima parte, include o listă a lucrărilor elaborate și în curs de elaborare în cadrul proiectului [1-7]. Conform planului de activități au fost derulate acțiuni în două direcții principale: construcția prototipului instrumentului de prognoză ASIFOR și dezvoltarea algoritmilor numerici pentru creșterea performanței în prognoza pe termen scurt a puterii de ieșire a sistemelor fotovoltaice (PV).

ETAPA I: Proiectarea instrumentului de prognoză (9.11.2020 – 31.12.2020). În această etapă, întinsă pe o perioadă mai scurtă de două luni, au fost întreprinse două activități: elaborarea conceptului/proiectului instrumentului de prognoză și dezvoltarea bazei de date istorice necesară pentru dezvoltarea algoritmilor de prognoză. Pe baza unei documentări ample privind prognoza puterii PV pe termen scurt am concluzionat următoarele: dezvoltarea unui model de prognoză în analogie cu modelul 2-stări dezvoltat de echipa noastră, dar care să opereze direct pe seria măsurată a puterilor de ieșire a centralei PV. Avantajul net al acestei abordări este dat de faptul că singura mărime care va fi direct prognozată este poziția relativă nor/soare. Astfel, în acord cu propunerea de proiect, această prognoză este realizată pe baza procesării informațiilor despre starea cerului furnizate de sky imager. Rezultatele documentării din această etapă a proiectului, completate cu rezultatele documentării din partea a doua sunt urmeaza a fi valorificate într-un articol ce va fi trimis spre publicare în 2022 la un jurnal cu factor de impact). Pe lângă metodologia de prognoză, a fost analizate mai multe variante pentru sistemul hardware al instrumentului de prognoză. În final, opțiunea a fost pentru un sistem compact, în sensul că data loggerul intrgrat oricărui sky imager să admită conectarea senzorilor meteorologici și a cel puțin a unui pyranometru. Astfel, baza de date conține înregistrări simultane ale cu eșantionare la minut ale stării cerului, iradianței solare în plan orizontal și a parametrilor meteorologici. Această bază de date este sincronizată cu baza de date a micro-centralei PV (achiziție la 4 secunde) datorită nevoilor în evaluarea răspunsului modelului PV-2-stări la diferite granulații în seria de date măsurate. Baza de date istorice măsurate și post-procesate a fost dezvoltată pe baza înregistrărilor din 2019 și 2020, rezultate din monitorizarea standului experimental micro-centrală-PV, montat pe Platforma Solară a UVT, astfel încât să satisfacă nevoile pentru dezvoltarea modelului PV-2-stări. Având în vedere că în perioada octombrie 2020 – iunie 2021 Platforma Solară a fost oprită, au fost procesate două seturi de date distincte. Post-procesarea a constatat în calculul unghiului de înălțare a soarelui pe cer, a indicatorului de însorire, a iradianței solare la limita superioară a atmosferei și a indexului de claritate atmosferică. Baza de date generată este salvată în format txt și reprezintă sursa primară de informație pentru elaborarea modelelor de prognoză în proiect.

ETAPA II: Construcția și configurarea instrumentului de prognoză (01.01.2021 – 31.12.2021). Prototipul ASIFOR constă din trei componente fizice interconectate: (1) Stația radiometrică -RS- formată dintr-un piranometru de clasă A conform ISO 9060:2018 de tip MK80 și senzori pentru măsurarea parametrilor atmosferici (temperatură, presiune, umiditate), (2) Sistemul de monitorizare a stării cerului -SMS- incluzând camera automată fisheye EKO ASI-16 cu un unghi de vedere de 180° și (3) Unitatea de calcul CS unde sunt implementate modelele de prognoză dezvoltate în proiect. RS și SMS furnizează în timp real date radiometrice, meteorologice și poziția norilor pe cer, date necesare pentru rularea aplicațiilor de prognoză. CS joacă mai multe roluri: controlul în timp real al procesului de monitorizare a stării cerului, procesarea imaginilor fisheye, managementul bazei de date, rularea algoritmilor și emiterea prognozelor. Toate cele trei componente ale prototipului ASIFOR au fost realizate și începând din Iulie 2021 sunt operaționale, Astfel cerința de a construi partea hardware a instrumentului de prognoză a fost îndeplinită cu succes. La data redactării prezentului raport, decembrie 2021, instrumentul de prognoză ASIFOR se află în faza de testare a modelului de prognoză dezvoltat în proiect. Testarea se efectuează pe Platforma Solară a Universității de Vest din Timișoara (UVT). În acest scop a fost reconfigurată monitorizarea micro-centralei PV existentă pe platformă (măsurarea puterii de ieșire, iradianței solare totale în planul modulelor fotovoltaice și a indicatorului de însorire, conectarea bazei de date a platformei cu CS). Testarea ASIFOR este un proces complex desfășurat offline în care se urmărește în principal optimizarea algoritmilor de prognoză a poziției relative dintre soare și nori.

Creșterea performanței în prognoza puterii de ieșire a sistemelor PV la un orizont de timp de până la o oră reprezintă obiectivul central al proiectului. În abordarea clasică prognoza puterii PV implică în primul rând o prognoză adecvată a iradianței solare incidentă pe modulele fotovoltaice. Calitatea acestei prognoze determină în cea mai mare măsură acuratețea prognozei producției de energie. (e.g. [8]). Alături de temperatură iradianța solară prognozată este utilizată ca parametru de intrare într-un model matematic al centralei PV [9]. Alături de această abordare tradițională conform propunerii din proiect noi am orientat cercetarea spre procesarea directă a seriei de timp formată din valorile măsurate ale puterii PV. Pentru optimizarea soluției au fost analizată acuratețea diverselor modele raportate în zeci de lucrări științifice publicate în reviste cotate WoS, modele de prognoză intra-hour din toate categoriile (statistice, inteligență artificială, bazate pe date rezultate din monitorizarea stării cerului, hibride) și testate în locații din întreaga lume. Rezultatele acestui studiu constituie baza unei lucrări științifice de amploare care este în curs de elaborare.

Pentru prognoza pe timp scurt (intra-orar) extrapolarea seriei de măsurători a puterii și a mărimilor derivate din măsurători cu frecvență ridicată a mărimilor radiometrice (index de claritate atmosferică, indicator de însorire) poate asigura o acuratețe rezonabilă pentru aplicații practice. Astfel pentru realizarea prognozei pe timp scurt, pe baza rezultatelor comparative și a experienței noastre [10] am decis să dezvoltăm un model cu două stări [4] (*PV-2-stări*, descris pe scurt în secțiunea următoare a raportului) și care implementat software și se află în curs de optimizare. Întrucât *PV-2-stări* se bazează pe prognoza indicatorului de însorire SSN și estimarea iradianței solare în condiții de cer senin, această activitate a generat o lucrare științifică referitoare la creșterea acurateții estimării iradianței solare în condiții de cer senin, lucrare publicată de prestigiosul jurnal *Renewable Energy* [2].

Astfel, activitățile propuse în planul de realizare a proiectului referitoare la dezvoltarea unui model de prognoză a puterii de ieșire a unui sistem PV au fost realizate: (1) A fost dezvoltat modelul cadru *PV-2-stări* pentru prognoza puterii (2) A fost elaborat un algoritm

original [5] pentru prognoza poziției relative soare nori bazat pe procesarea imaginilor bolții cerești furnizate de modulul SMS echipat cu camera fisheye ASI-16. De calitatea acestei prognoze depinde în mare măsură calitatea prognozei puterii PV. De notat că de-a lungul timpului au fost depuse eforturi mari pentru îmbunătățirea prognozei SSN (e.g. [11]) Rezultatele preliminare obținute în cercetarea din proiect privind prognoza SSN pe baza imagisticii stării cerului, indică un potențial progres semnificativ în domeniu (3) Într-o abordare inovativă, au fost dezvoltate modele de estimare a resursei solare și puterii PV în condiții de cer senin [1-2, 4-5]. (4) Au fost elaborate studii referitoare la îmbunătățirea modelării matematice a unui convertor PV [3,6] (5) Au fost elaborate aplicațiile software necesare pentru rularea algoritmilor de estimare și prognoză. La data redactării raportului, modelul de prognoză PV-2-stari se află în faza de testare și optimizare pe Platforma Solară a UVT.

Din punct de vedere al managementului proiectului au fost respectate angajamentele din propunerea de proiect și clauzele contractuale. S-a respectat punctul din contract privind realizarea și actualizarea paginii web a proiectului. Această pagină a fost lansată în decembrie 2020 și poate fi accesată la adresa <http://solar.physics.uvt.ro/asifor>. S-au respectat angajamentele privind diseminarea rezultatelor. Au fost publicate trei articole indexate ISI în reviste de reputație și o parte dintre rezultatele obținute a fost prezentată la două conferințe internaționale. Toate lucrările publicate respectă clauza din contractul de finanțare privind menționarea numelui finanțatorului.

BIBLIOGRAFIE

Lucrări elaborate în cadrul proiectului

Articole publicate in reviste indexate ISI

- [1] Blaga R, Calinoiu D, Paulescu M (2021) A one-parameter family of clear-sky solar irradiance models adapted for different aerosol types. Journal of Renewable and Sustainable Energy 13(2), Article Number: 023701 (IF = 2.219 @ JCR 2021).
- [2] Paulescu E, Paulescu M (2021) A new clear sky solar irradiance model. Renewable Energy 179, 2094-2103 (IF = 8.001, Q1 @ JCR 2021)
- [3] Sabadus A, Paulescu M (2021) On the Nature of the One-Diode Solar Cell Model Parameters. Energies 14, 3974 (IF = 3.004 @ JCR 2021)

Lucrari prezentate la conferinte

- [4] Paulescu M, Stefu N, Sabadus A, Dughir C, Bojin S. PV 2-STATE: a simple but accurate short-term PV power forecasting tool. In Proc. of 38th European PV Solar Energy Conference (EUPVSEC), pp 1161 - 1164 (2021).
- [5] Blaga R, Paulescu M. Intra-hour solar irradiance forecasting based on all sky-image-derived sunshine number. Oral presentation at TIM 20-21 Physics Conference, online, 11-13 November 2021. To be published by American Institute of Physics Conference Proceedings (Indexed by WoS).
- [6] Sabadus A, Paulescu M. Extraction of the diode saturation current and ideality factor from the PV module datasheet. Oral presentation at TIM 20-21 Physics Conference, online, 11-

13 November 2021. To be published by American Institute of Physics Conference Proceedings (Indexed by WoS).

Lucrari in pregătire

[7] Paulescu M, Stefu N, Andreea S, Dughir C, Calinoiu C, Blaga R, Badescu V (2021) A new very short-time PV power forecasting model. To be submitted to a journal indexed by WoS.

Bibliografie generală

- [8] Bacher P, Madsen H, Nielsen HA (2009) Online short-term solar power forecasting. Solar Energy 83, 1772 – 1783.
- [9] Paulescu M, Mares O, Dughir C, Paulescu E (2018) Nowcasting the output power of PV systems. In Proc. of the International Conference of Renewable Energy, Barcelona, 25-27 April 2018 (Editor Safdarian A) E3S Web Conference 61, 00010 (2018).
- [10] Paulescu M, Mares O, Paulescu E, Stefu N, Pacurar A, Calinoiu D, Gravila P, Pop N, Boata R (2014) Nowcasting solar irradiance using the sunshine number. Energy Conversion and Management 79, 690 – 697.
- [11] Paulescu M, Badescu V, Brabec M (2013) Tools for PV (photovoltaic) plant operators: Nowcasting of passing clouds. Energy 54, 104-112.