



Sistem Inteligent de Management al Energiei din surse Regenerabile -SIMER-

Raport de cercetare intermediar, decembrie 2022

Conf. dr. ing. Otilia Elena DRAGOMIR, *director de proiect*

Ș.l. dr. ing. Cătălin DRĂGOI, *membriu echipă*

C.S. dr. ing. Ioan-Valentin GURGU, *membriu echipă*

Drd. Ing. Octavian DUCA, *membriu echipă*

Drd. Ing. Marius PĂUN, *membriu echipă*



Cuprins:

| | |
|--|---|
| Introducere | 2 |
| Obiectivul general al proiectului | 2 |
| Cuvinte cheie..... | 2 |
| Activitatea I.1.3. Modelarea schemelor de monitorizare, supraveghere și control a sistemelor PV | 3 |
| Bibliografie activitatea I.1.3. | 6 |
| Activitatea I.1.4. Modelarea sistemelor PV și a restricțiilor lor de funcționare..... | 6 |
| Activitatea I.1.5. Proiectarea și simularea modelului funcțional al sistemului PV..... | 8 |

Introducere

Rezultatele cercetărilor realizate în prima etapă a proiectului, **Cercetare privind componentele sistemului SIMER**, prezentate în acest raport științific, vizează următoarele activități prevăzute în planul de desfășurare:

Activitatea I.1.3. Modelarea schemelor de monitorizare, supraveghere și control a sistemelor PV

Activitatea I.1.4. Modelarea sistemelor PV și a restricțiilor lor de funcționare

Activitatea I.1.5. Proiectarea și simularea modelului funcțional al sistemului PV

În aceste activități, s-a realizat o **abordare constructivă** (activitatea I.1.3. și activitatea I.1.4.) prin: modelarea, simularea și proiectarea modelului funcțional al sistemelor PV, prin identificarea componentei software bazată pe inteligență artificială care integrată în modelul funcțional al sistemului PV permite monitorizarea la distanță a parametrilor energiei produse, diagnoza și predicția producției (în funcție de parametrii de mediu etc.) și controlul funcționării rețelei. **Abordarea funcțională** din cadrul activității I.1.5. a determinat proiectarea și simularea modelului funcțional al sistemului PV.

Obiectivul general al proiectului

Obiectivul general al proiectului cu titlul "Sistem inteligent de management a energiei din surse regenerabile- SIMER" constă în dezvoltarea și validarea unui sistem informatic deschis, adaptabil și integrabil, ce înglobează instrumente inovative, bazate pe inteligența artificială, dedicat optimizării funcționării sistemelor fotovoltaice pentru producerea de energie electrică, în vederea acoperirii cât mai mult a necesarului de consum și livrării surplusului în rețeaua națională

Cuvinte cheie

Surse regenerabile de energie (SRE); Sistem inteligent; Eficiență energetică; Inteligență artificială ; Energie

Articole științifice publicate/ în curs de publicare

- **Dragomir O.E., Dragomir F., Gurgu V., Paun M., Duca O., Dragoi C.** - Multi-agent System for Smart Grids with Produced Energy from Photovoltaic Energy Sources, *Proceedings of the 2022 14th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI 2022)*, pp. 1-6, 2022, **INSPEC Accession Number:** 21990273, **DOI:** [10.1109/ECAI54874.2022.9847512](https://doi.org/10.1109/ECAI54874.2022.9847512), <https://ieeexplore.ieee.org/document/9847512>
- **Dragomir O.E.** – Modelling and simulation of distributed systems using intelligent multi-agents, *Journal of Science and Arts*, Vol. 22, Issue 2, pp. 471-482, 2022, **Accession Number:** WOS:000828999500019, **ISSN:** 1844-9581, <https://sciprofiles.com/publication/view/c007af755572ea63712822bd2284b3be>
- **Dragomir O.E., Dragomir F.**, Load Shifting Using Scheduling Techniques in the Framework of Renewable Energy Sources, *Journal: Renewable Energy (IF-8.63)*, in review process

Activitatea I.1.3. Modelarea schemelor de monitorizare, supraveghere și control a sistemelor PV

Cercetările referitoare la metodele și tehnicile inteligenței artificiale integrate în managementul sistemelor PV, descrise în activitățile I.1.1. și I.1.2., raportate anterior, au evidențiat existența mai multor abordări ce pot fi folosite în etapele de modelare, proiectare și simulare. În cele ce urmează le voi prezenta metodele de modelare a proceselor de monitorizare, supraveghere și control pe care le-am selectat pentru îndeplinirea obiectivelor specifice.

Pentru modelarea funcțională al unui panou fotovoltaic (PV) de tip SNM-M135, am utilizat un circuit echivalent celui reprezentat în

Figura 3. 1

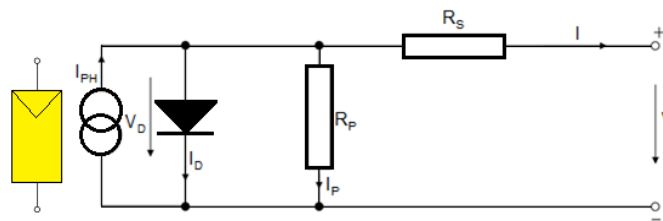


Figura 3. 1. Circuit echivalent pentru un panou PV

În urma simulării funcționării acestuia panou PV , cu ajutorul software-ului Matlab și Simulink, s-au obținut curentul I_{PV} [A] și puterea debitată de panou P_{PV} [W] prezentate în (Figura 3. 2).

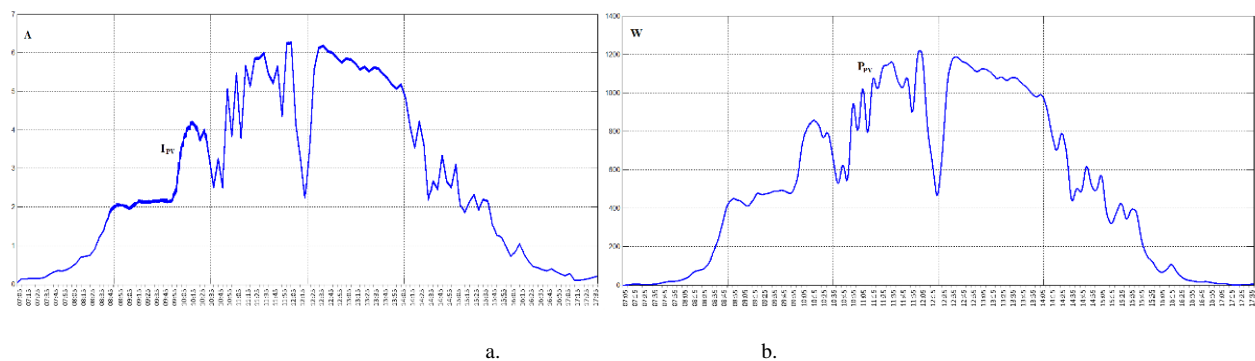


Figura 3. 2. Reprezentarea simulărilor a. I_{PV} [A] b. P_{PV} [W]

Caracteristicile sistemului PV proiectat și simulat să genereze maximum 3,3 kW la o intensitate a radiației solare de 1000W/m^2 , instalat în smart home, sunt prezentate în Figura 3. 3. Acesta este format din panourile PV de tip Luxor, policristaline, conectate în serie, cu P_{PVs} - 3,3 kW, U_{PV} = 31,42 V și I_{PV} =8,77 A. Interfața acestuia cu rețeaua națională de energie este realizată de un inverter Huawei SUN 2000- 3KTL, monofazat, de putere maximă 4,5 kW peak, randament 98,3%, curent de intrare maxim 12,5 A, tensiune de intrare maximă 600 V, curent de ieșire maxim 15A și tensiune nominală de intrare de 360 V.

| Centrale PV | Date tehnice |
|---|--|
| Panouri PV, Luxor, 275W, Policristaline | 12 panouri, legate in serie $P_{PVs} = 3,3 \text{ kW}$ $U_{PV} = 31,42\text{V}; I_{PV} = 8,77\text{A}$ |
| Invertor Huawei SUN2000-3KTL, monofazat | Invertor on-grid Putere invertor = 3 kW, Putere maxima invertor = 4,5 kW peak Randament 98,3% Curent intrare maxim 12,5A Tensiune intrare maxim 600V Curent iesire maxim 15A Tensiune nominala de intrare 360V |

Figura 3. 3. Caracteristicile centralei PV

Ulterior, am extrapolat rezultatele obținute la un sistem de panouri fotovoltaice instalat într-o smart home, cu capacitatea de aproximativ 3,3 kW. Pentru simularea modului de funcționare al acestui sistem PV s-a folosit modelul Simulink din Figura 3. 4

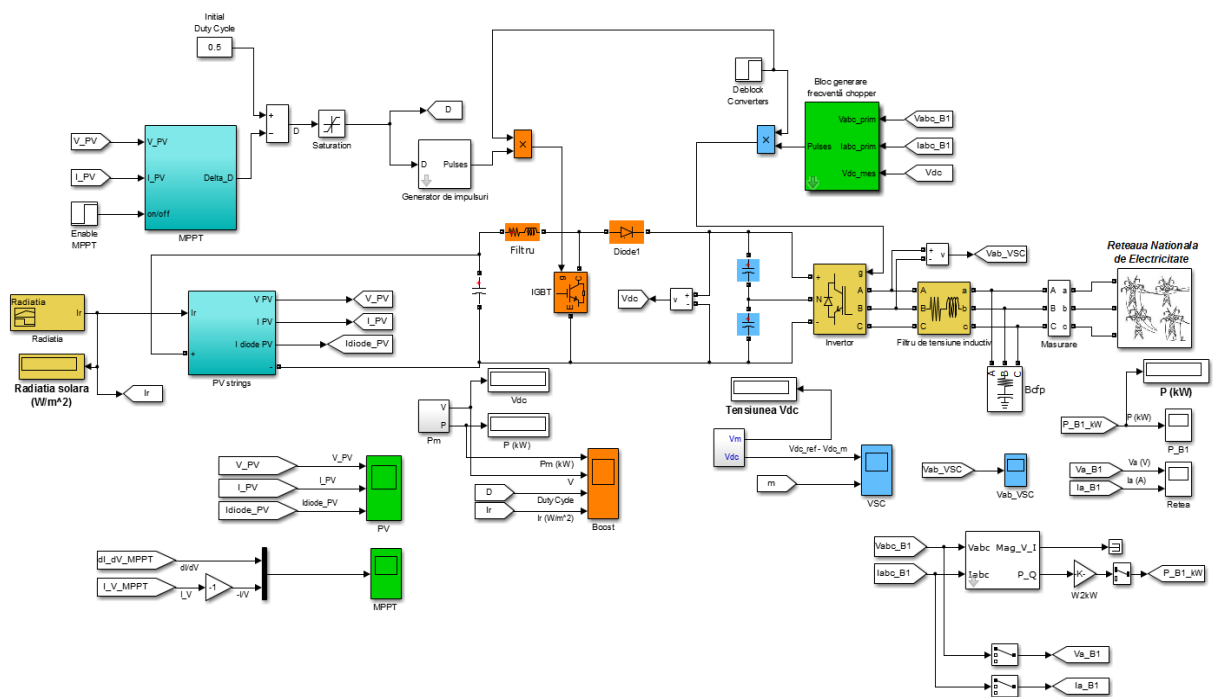


Figura 3. 4. Modelul în Matlab/Simulink al sistemului PV

Caracteristicile curent-tensiune și putere-tensiune obținute, prin simulare, pentru diferite valori ale radiației solare, sunt reprezentate în Figura 3. 5 pentru conexiunea serie a panourilor PV.

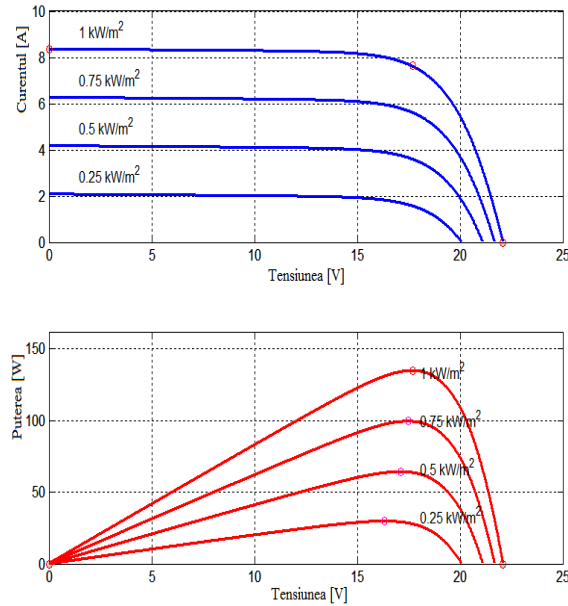


Figura 3. 5. Caracteristicile I-V și P-V pentru conexiune serie

Pentru determinarea prin simulare a valorii puterii generate de către sistemele PV am folosit modelul matematic este cel propus de Yona [1] descris în ecuația 3.1. de mai jos

$$P_s = \eta SI[1 - 0.005(t_0 + 25)] \quad (3.1)$$

unde: η reprezintă randamentul de conversie al celulei (%); S reprezintă suprafața instalată a panourilor PV (m^2); I este radiația solară (kW/m^2); t_0 este temperatura exterioară ($^{\circ}C$). El se aplică însă doar panouri PV fixe.

Cantitatea de energie generată din surse de energie regenerabilă este influențată de o serie de factori , dintre care menționăm: radiația solară, latitudinea locației unde este înstate sistemul PV, longitudinea, etc. Astfel, radiația solară globală, indiferent de momentul din an, prezintă un mers diurn ascendent în prima parte a zilei, până la amiaza, când se ating de regulă, valorile maxime. În a doua parte a zilei, radiația luminoasa prezintă un trend descendent. Lumina suferă fenomenele de transmisie, absorbție și difuzie la nivelul atmosferei. Cantitatea de radiație solara care ajunge pe suprafața solului depinde de: latitudine, longitudine, altitudine, calendar astronomic, temperatura panourilor, gradul de transparentă atmosferică, absorbția atmosferică datorată unghiului de incidență față de zenit, umiditatea, nebulozitatea, ceața, istoricul meteorologic etc. Pentru funcționarea panourilor PV, radiația directă este cea mai importantă. În cazul unui cer senin, aceasta are cea mai mare intensitate atunci când soarele se găsește la punctul său de maxim spre Sud în cazul nostru (emisfera nordică). Totodată intensitatea radiației solare este o funcție de unghiul zenital și starea atmosferei, incluzând conținutul de ozon, de vapori de apă, de aerosoli, de praf și de nori.

Ecuția care face corelația între radiația proiectată pe panoul PV, radiația orizontală și radiația incidenta este:

$$\text{Radiație Orizontală} = \text{Radiația Incidentă} * \sin\alpha \quad (3.2)$$

$$\text{Radiație Modul} = \text{Radiația Incidentă} * \sin(\alpha + \beta) \quad (3.3)$$

unde: α este unghiul elevației și β este unghiul de înclinare al panoului măsurat față de orizontală

Unghiul de elevație este descris ca:

$$\alpha = 90 - \varphi + \delta \quad (3.4)$$

unde: φ reprezintă latitudinea și δ este unghiul de înclinare descris ca:

$$\delta = 23.45^{\circ} \sin \left[\frac{360}{365} (284 + d) \right] \quad (3.5)$$

unde: „d” este numărul zilei din an.

Cu ajutorul acestor ecuații determinam relația între radiația proiectată pe panou PV și radiația orizontală astfel:

$$\text{Radiația Proiectată pe panou} = (\text{Radiația Orizontală} * \sin(\alpha + \beta)) / (\sin \alpha) \quad (3.6)$$

Unghiul de înclinare are un impact major asupra radiației solare incidente pe o suprafață. Pentru un unghi de înclinare fix, puterea maximă pe parcursul unui an este obținută când unghiul de înclinare este egal cu latitudinea acelei locații. Cu toate acestea un unghi de înclinare mai abrupt este folosit pentru zone cu o iarnă mai lungă, în timp ce pentru locațiile în care vara este mai lungă se folosește un unghi de înclinare mai mic.

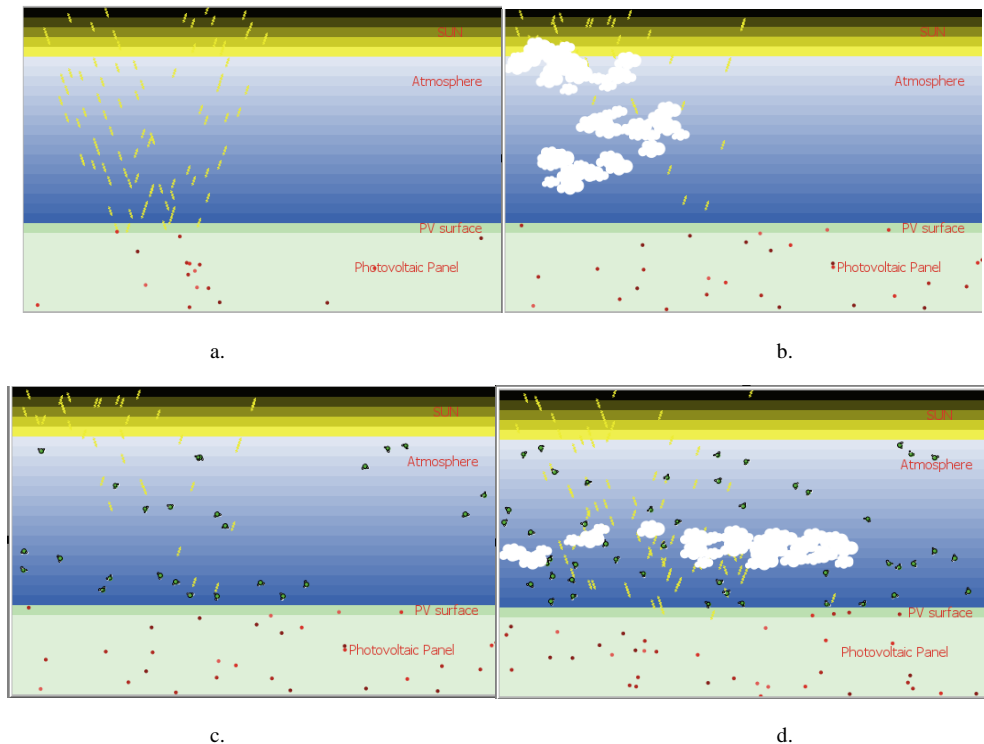


Figura 3. 6. Interfața NetLogo bazată pe agenților inteligenți, pentru diverse scenarii, în [2]

Se au în vedere condițiile meteorologice favorabile producerii de energie în scenariul 1- Figura 3. 6 a., condițiile meteorologice cu cer înnorat în scenariul 2- Figura 3. 6 b., un mediu poluat cu un nivel ridicat de dioxid de carbon în atmosferă în scenariul 3- Figura 3. 6 c. și condițiile meteorologice cu cer înnorat și poluare în scenariul 4- Figura 3. 6 d. . Pentru fiecare dintre acestea, au fost luate în considerare două tipuri constructive de panouri solare, monocristaline și policristaline.

Bibliografie activitatea I.1.3.

- [1] Yona A., Senjyu T., Funabashi T., Application of recurrent neural network to short-term – ahead generating power forecasting for photovoltaic system, power engineering society general meeting, IEEE, 2007, pp. 1-6.
- [2] Dragomir O.E., Dragomir F., Gurgu V., Păun M., Duca O., Drăgoi C. - Multi-agent System for Smart Grids with Produced Energy from Photovoltaic Energy Sources, Proceedings of the 2022 14th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI 2022), pp. 1-6, 2022, INSPEC Accession Number: 21990273, DOI: 10.1109/ECAI54874.2022.9847512

Activitatea I.1.4. Modelarea sistemelor PV și a restricțiilor lor de funcționare

Schema bloc a rețelei de tip smart grid considerată în cadrul SIMER este prezentată în Figura 4. 1 a fiind formată din: module fotovoltaice, invertor cu posibilități de conectare on- grid, consumatori controlabili, necontrolabili, ficsi și/ sau intreruptibili și sistem inteligent de management al energiei. Pentru modelarea funcțională a sistemului considerat dar și a restricțiilor acestuia am ținut cont de fluxul informațional din Figura 4. 1 b.

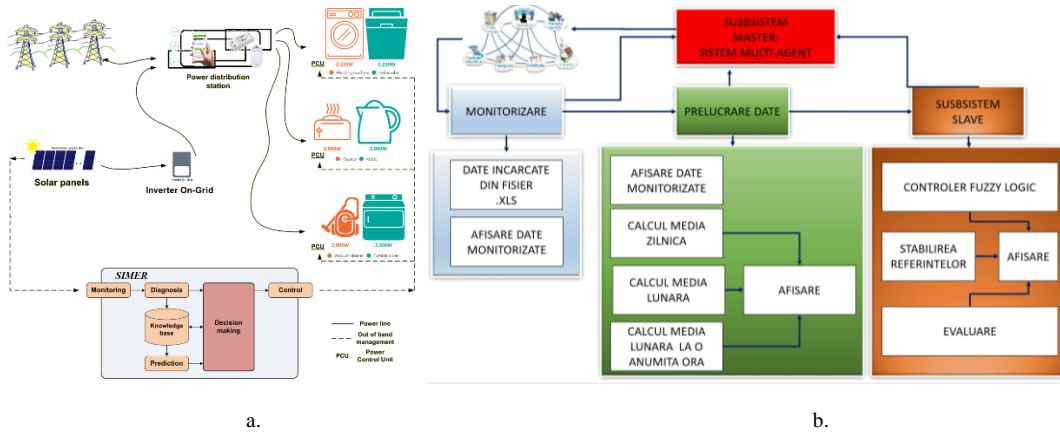


Figura 4. 1. SIMER a. schema bloc b. flux informațional

La nivelul subsistemului “master” se asigură implementarea strategiilor necesare atingerii obiectivelor specifice propuse, prin intermediul diferitelor metode și tehnici de decizie și control (în cazul nostru modelul considerat este un sistem expert). Subsistemul “slave” se bazează de asemenea pe tehnici specifice inteligenței artificiale, respectiv controlerile fuzzy, care integrate oferă informații necesare asistării deciziilor și controlului. Putem observa în Figura 4. 1 b că întregul ansamblu este format din patru subsisteme distincte, dedicate: monitorizării datelor măsurate , prelucrării acestora, diagnozei cu ajutorul controlerelor de tip fuzzy logic a stării de funcționare a rețelei și modulului de repartizare a energiei pe bază de scenarii. Variației temporale energiei produse poate fi reprezentată în panelul de monitorizare (Figura 4. 2), sub forma unui grafic tridimensional.

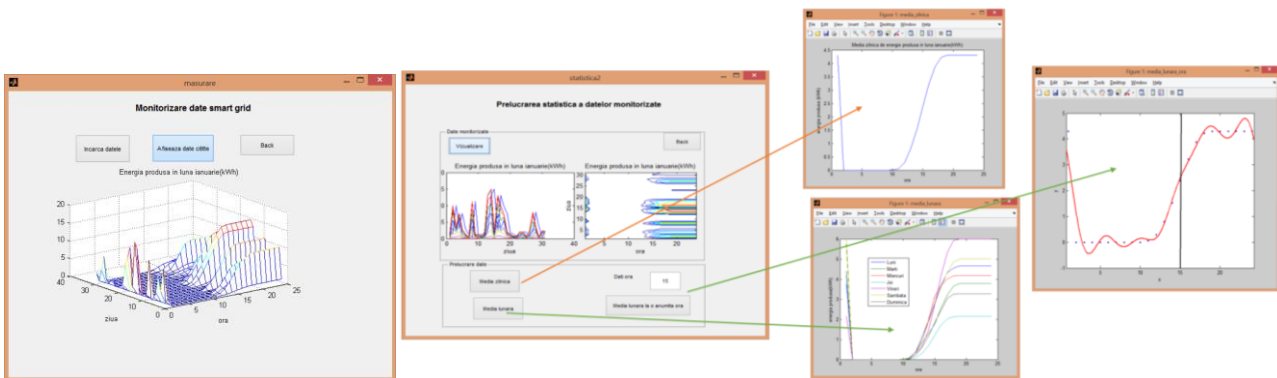


Figura 4. 2. Panelul și prelucrare a datelor monitorizate referitoare la energia produsă din surse regenerabile

Datele de intrare sunt supuse unei prelucrări preliminare în scopul optimizării procesului. Acest lucru este posibil datorită integrării celui de-al doilea panel în instrumentul software propus (numit SIMER), dedicat prelucrării statistice a datelor. Astfel datele disponibile sunt grupate pe baza unor coeficienți de corelație și sunt eliminate astfel, pe cât este posibil, datele eronate sau cele afectate de diferite surse de perturbații. În urma acestui proces se determină mai întâi profilul zilnic al energiei produse. Deoarece în funcție de energia produsă/ disponibilă în rețea sunt formulate diferite strategii de consum, am considerat necesară introducerea în sistemul construit a posibilității de a determina un profil al energiei consumate, în funcție de tipul zilei sau la o anumită oră.

Diagnoza stării de funcționare a rețelei se bazează pe elemente specifice controlerilor fuzzy. Cu ajutorul acestora valorilor numerice măsurate li se atribuie semnificații lingvistice și funcții de apartenență pentru a putea fi modelate ulterior prin mecanisme de inferență specifice logicii fuzzy. Prin mecanismele specifice logicii fuzzy, mai precis prin fuzzyficare, intrării reprezentată de diferența dintre energia produsă și cea consumată având semnificația semnificatia energiei provenite din surse regenerabile, disponibilă la un moment dat în smart grid, îi sunt asociate funcții de apartenență. Numărul, forma acestora (triunghiulară, trapezoidală sau Gaussiană) și universul de discurs pot fi stabilite în mod interactiv de către utilizatorul interfeței grafice a SIMER. În Figura 4. 3 sunt reprezentate trei funcții de apartenență, de tip triunghiular, Gaussian și trapezoidal, pe un univers de discurs ales aleator de [-10 10].

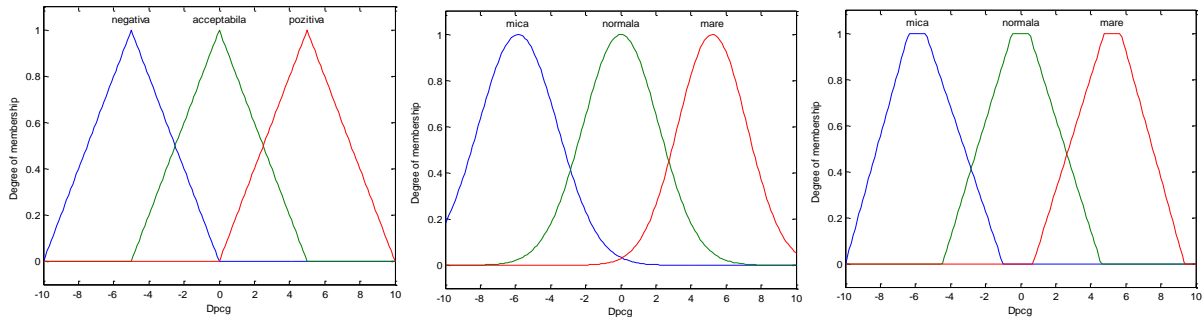
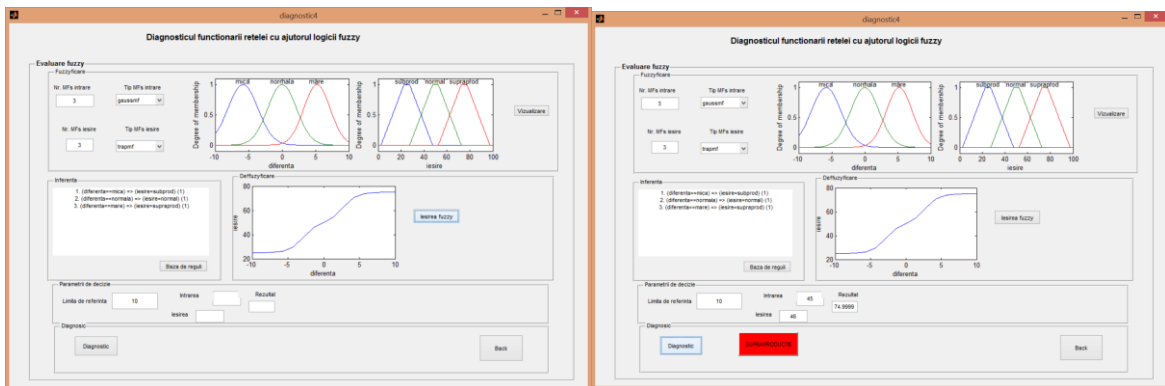


Figura 4. 3. Funcțiile de apartenență asociate intrării controlerului fuzzy

Ieșirea controlerului fuzzy construit pentru diagnosticarea stării rețelei de tip smart grid reprezintă starea în care se află rețeaua în momentul analizei: stare de subproducție (asociată cu scenariul în care cantitatea de energie produsă din SER este mai mică decât cererea de energie existentă), de supraproducție (asociată cu scenariul în care cantitatea de energie produsă din SER este mai mare decât cererea de energie existentă) sau de echilibru (asociată cu scenariul în care cantitatea de energie produsă din SER este egală cu cererea de energie existentă). Si acestea i se poate atribui, într-o manieră interactivă, un număr de funcții de apartenență, tipul acestora și universul de discurs.



a.

b.

Figura 4. 4. Baza de reguli și mecanismul de diagnoză a stării rețelei

Scopul etapei de fuzzyficare este acela de a permite construirea unei baze de reguli care să integreze cunoștințele referitoare atât la modul de funcționare al smart grid cât și la metodele de control centralizat al energiei produse, pe care vrem să le integrăm. În etapa de inferență a fost construită într-o manieră indexată baza de reguli a controlerului fuzzy logic de tip Mamdani. Regulile sunt afișate în interfața în format simbolic. Defuzzyficarea este procesul invers fuzzyficării, care transformă ieșirea din domeniul fuzzy direct în domeniu crisp. Unele metode de defuzzyficare tind să producă o ieșire integrală luând în considerare toate rezultatele reglajelor fuzzy cu ponderea corespunzătoare. În SIMER-ul construit am folosit metoda de defuzzyficare Center-of-Gravity (centrul de greutate al suprafeței). Baza de reguli rezultată în urma implementării mecanismului inferenței precum și rezultatul defuzzyficării sunt reprezentate în Figura 4. 4.a

Urmare a procesului de diagnoză a stării de funcționare a rețelei, realizat la nivelul subsistemului “slave” al sistemului de management al distribuției de energie, etapa cea mai dificil de proiectat și implementat a reprezentat-o configurarea modulului “master”, construit. Dacă valoarea furnizată în urma procesului de defuzzyficare este mai mică decât limita stabilită drept referință, “starea” rețelei este apreciată ca fiind de “subproducție”. Dacă valoarea calculată este mai mare decât limita stabilită, situația este apreciată ca fiind de “supraproducție” de energie provenită din SER (Figura 4. 4.b). Informațiile furnizate de către “slave” completează baza de cunoștințe inițială a sistemului expert. Repartiția energiei în cadrul smart grid se face în funcție de “starea” diagnosticată a rețelei inteligente și în raport cu șapte scenariile de funcționare integrate în SIMER.

Activitatea I.1.5. Proiectarea și simularea modelului funcțional al sistemului PV

În cadrul acestei activități ne-am concentrat asupra definirii unor scenarii de funcționare a sistemului PV în care să luăm în considerare restricțiile identificate în cadrul activității I.1.4., în urma diagnozei rețelei.

Primul scenariu propus ce este destinat consumatorilor casnici neconectați la rețea națională de electricitate (Figura 5. 1 a) , dacă este necesară alimentarea unui dispozitiv sau a unui consumator mic poate fi folosit ca și sursă alternativă de alimentare un generator fotovoltaic. Aceste module standard sunt dimensionate sa aibă o tensiune nominală între 15-17V astfel încât să fie capabile să încarce un acumulator cu o tensiune nominală de 12 V. Acumulatorul înmagazinează energia produsă de generatorul fotovoltaic în timpul zilei și o poate furniza consumatorului în caz de vreme rea sau pe timpul nopții sau atunci cand rețeaua de energie este în incapacitate de a alimenta consumatorul respectiv.

Scenariul al doilea este destinat consumatorilor de putere medie și mare, neconectați la rețea națională de electricitate (Figura 5. 1 b). Acesta ia în calcul consumatorii care nu sunt conectați la rețeaua națională de electricitate sau sunt în zone izolate, ce au puteri medii și mari. Dacă aceștia folosesc aparate electrocasnice sau industriale mari, au nevoie de sisteme care să le furnizeze tensiuni de 230 V c.a. Acestea pot fi asigurate de generatoare fotovoltaice, atunci când radiația solară are valori mari sau de turbine eoliene, în zonele geografice cu vânt. Energia din aceste surse regenerabile, produsă în exces va fi stocată în acumulatori, noaptea, sau pe timp de vreme rea, și o vor furniza consumatorilor în caz de necesitate. Când acumulatorii sunt în pericol de a se descarca, un motor generator- Diesel sau cu gaz lichefiat, pornește pentru a acoperi necesitățile de alimentare și, în același timp, pentru a-i reîncarca.

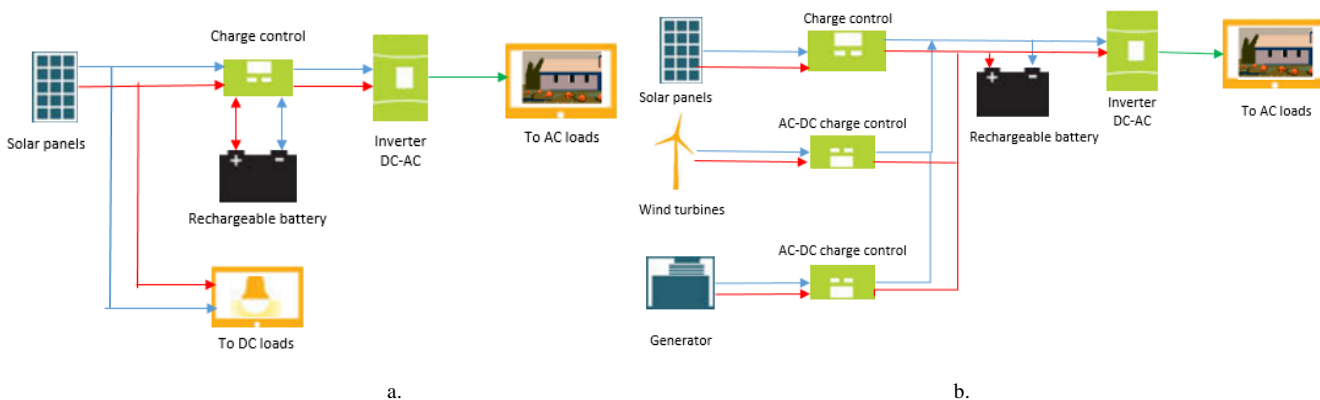


Figura 5. 1.Scenariile 1 și 2 integrate în SIMER

Sistemele de producere a energiei regenerabile în acest scenariu sunt: generator fotovoltaic și turbina eoliană. Ei pot debita energie în rețeaua publică, fără a mai fi necesară stocarea ei. Acest lucru face ca energia să poate fi folosită oriunde și ca urmare reduce încărcarea rețelei convenționale. În zilele însorite sau cu vânt puternic, aceste sisteme furnizează energie consumatorilor iar surplusul este livrat în rețeaua națională de energie și este contorizată. Dacă vremea este nefavorabilă, consumatorul va lua necesarul din rețeaua convențională. Puterea unui astfel de sistem de generare a energiei neconvenționale bazate pe sisteme de producere a energiei din surse regenerabile este de câțiva kW. Aceste aspecte au fost luate în considerare în definirea scenariului 3, al consumatorilor conectați la rețeaua națională de electricitate (Figura 5. 2 a.).

În scenariul al consumatorilor conectați la rețea (Figura 5. 2 b.) , necesarul de consum este asigurat, în principal, prin conectarea la rețeaua națională de energie a consumatorilor. În situația în care consumul în totalitate sa nu poate fi asigurat prin energie furnizată de rețeaua națională de electricitate. În acest caz, surselor alternative de producere a energiei le va fi permis să debiteze energie în rețeaua națională în vederea echilibrării consumului cu producția. Aceste surse pot fi: generatoare Diesel, generatoare fotovoltaice sau turbine eoliene. Conectarea acestora este temporară și durează până când capacitatea de satisfacere a cererii de către sursa primară de energie este refăcută. Dacă în urma acestui demers, rețeaua nu se echilibrează, vor fi deconectați în mod automat toți consumatorii. În acest caz rețeaua este în stare de avarie

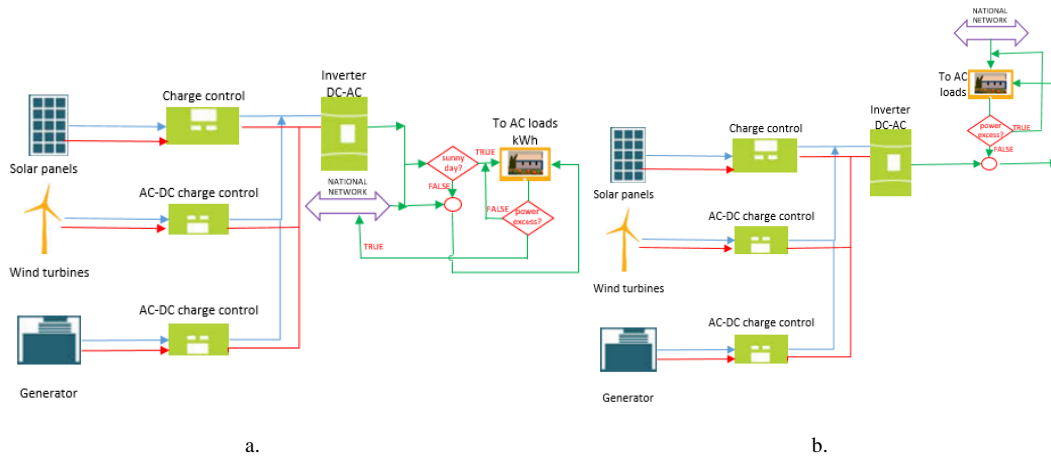


Figura 5. 2. Scenariile 3 și 4 integrate în SIMER

Consumatorii în cazul scenariului 5, numit consumatori prioritari 1 (Figura 5. 3 a.), sunt împărțiți în consumatori prioritari (critici) și consumatori fără prioritate (casnici). În acest scenariu se urmărește asigurarea cu energie din rețeaua națională, în mod prioritar, a consumatorilor prioritari. Având în vedere acest obiectiv, în momentul în care consumul în totalitatea sa nu poate fi asigurat prin energie furnizată de rețeaua națională de electricitate, vor fi deconectați în mod automat consumatorii casnici.

Scenariul al șaselea (Figura 5. 3 b.) se referă la situația în care consumul în totalitatea sa nu poate fi asigurat prin energie furnizată de rețeaua națională de electricitate. În acest caz, surselor alternative de producere a energiei le va fi permis să debiteze energie în rețeaua națională în vederea echilibrării consumului cu producția. Dacă în urma acestui demers, rețeaua se echilibrează, vor fi deconectați în mod automat consumatorii casnici, urmând ca să fie asigurată funcționarea doar a consumatorilor prioritari. Consumatorii casnici vor fi reconectați atunci când rețeaua trece pe supraproducție de energie.

Ultim scenariu definit (Figura 5. 4) se referă la situația în care consumul în totalitatea sa nu poate fi asigurat prin energie furnizată de rețeaua națională de electricitate. În acest caz, surselor alternative de producere a energiei le va fi permis să debiteze energie în rețeaua națională în vederea echilibrării consumului cu producția. Dacă în urma acestui demers, rețeaua nu se echilibrează, vor fi deconectați în mod automat toți consumatorii. În acest caz rețeaua este în stare de avarie.

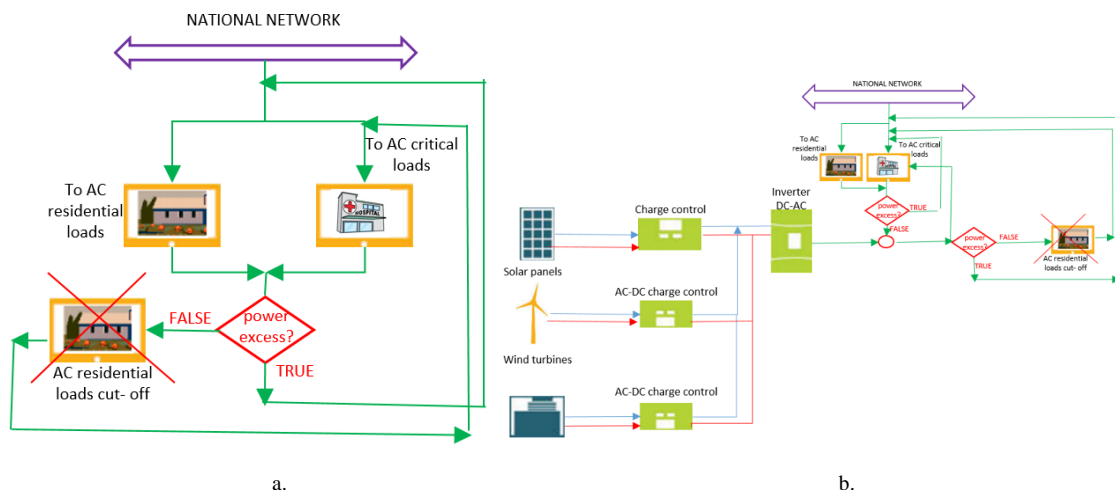


Figura 5. 3. Scenariile 5 și 6 integrate în SIMER

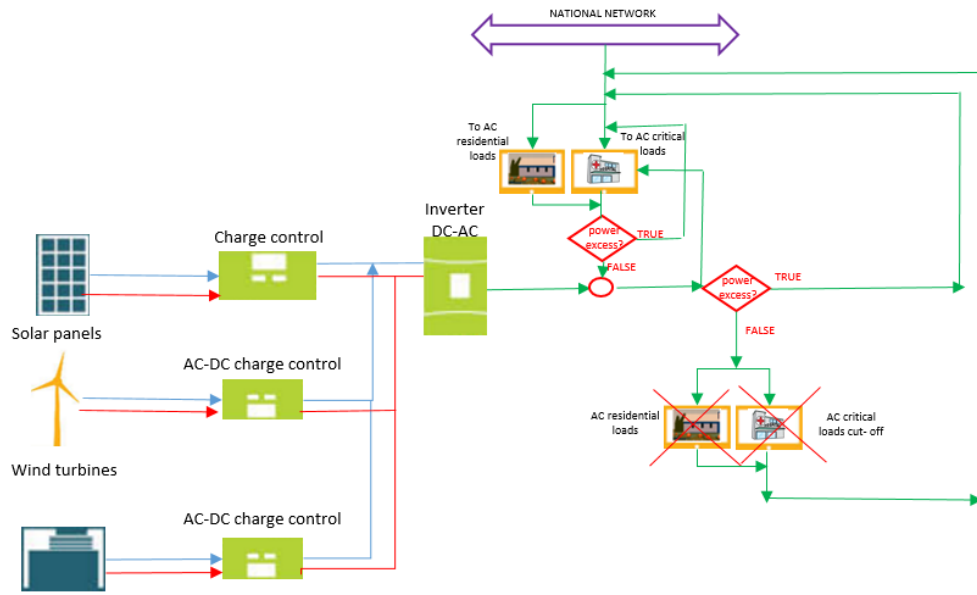


Figura 5. 4. Scenariul 7 integrat în SIMER