

# SISTEM DE MONITORIZARE ȘI DE DIAGNOZĂ ÎN TIMP REAL PENTRU SURSE DE PUTERE DIN CENTRALE FOTOVOLTAICE

ing. Dan Buzuloiu, ing. Theodor Bălan,  
ing. Adela Buzuloiu, Florin Gladenco, ing. Vasile Uță

*Institutul de Cercetări în Informatică*

**Rezumat:** Folosirea unei noi generații de sisteme de monitorizare și diagnoză pentru timp-real este o cerință esențială pentru cercetarea și operarea în domeniul centralelor fotovoltaice de putere medie-mare. Articolul descrie dezvoltarea sistemului pentru sursele de putere (câmpul de panouri fotovoltaice și baterii) de la Zambelli (Italia). Sistemul a fost construit folosind ca hardware Solartron IMP, un PC și modem pentru conectarea la distanță. Windows NT, LabView pentru Windows NT și programele originale, scrise în limbajul de programare grafică al LabVIEW, constituie suportul software. Sistemul achiziționează aproximativ 150 de parametri și calculează alți 500. Toți parametrii se afișează în 29 de ecrane diferite. Parametrii importanți se stochează în fișiere (de minut, oră, zi și lună). Analiza urmărește funcționarea centralei pe o perioadă oarecare de timp și se generează rapoarte. În afară de toate acestea, au fost implementate 16 reguli de diagnoză, pentru a ajuta operatorul să detecteze funcționarea defectuoasă. Regulile de diagnoză creează generează alarme și avertizări, care pot fi vizualizate pe ecran sau salvate în fișiere.

**Cuvinte cheie:** supraveghere și diagnoză procese tehnologice, achiziție date, timp real, LabVIEW.

## 1. Introducere

Obiectivul principal al sistemului este de a crea o nouă arhitectură pentru un sistem de supraveghere și de diagnoză în timp-real, particularizat pentru centrale electrice fotovoltaice, mai precis pentru matricea de panouri solare și baterii. Acest sistem (PMDS - PV-Battery Monitoring and Diagnostic System) va permite o mai bună eficiență și fiabilitate. Un alt țel este cel de a îmbunătăți gestionarea centralei și de a reduce eforturile de analiză pe termen lung.

Procedurile de monitorizare și de diagnoză care se implementează vor avea ca rezultate:

- prevenirea deteriorării componentelor cheie;
- extinderea duratei de viață a componentelor cheie;
- îmbunătățirea performanței și a fiabilității globale;
- minimizarea eforturilor de analiză off-line;
- evaluarea și verificarea la distanță a centralei.

Sistemul a fost deja implementat, iar o primă versiune a fost instalată în septembrie 1995 la centrala electrică fotovoltaică de la Zambelli, Italia.

## 2. Arhitectura generală a sistemului

### 2.1. Arhitectura hardware

Arhitectura hardware este compusă din:

- PC Pentium, 90 MHz cu 32 MB RAM, 530 MB HDD, SuperVGA adaptor video, mouse;
- module Solartron IMP pentru intrări analogice: aceste module sunt interconectate de o rețea de câmp de proprietar, numita S-Net. Conexiunea cu PC se face cu ajutorul unei plăci speciale, furnizată tot de către Solartron;
- modem compatibil cu standardurile CCITT V32 bis și V42 pentru o conexiune la distanță cu un PC, în sediul AGSM - Verona.

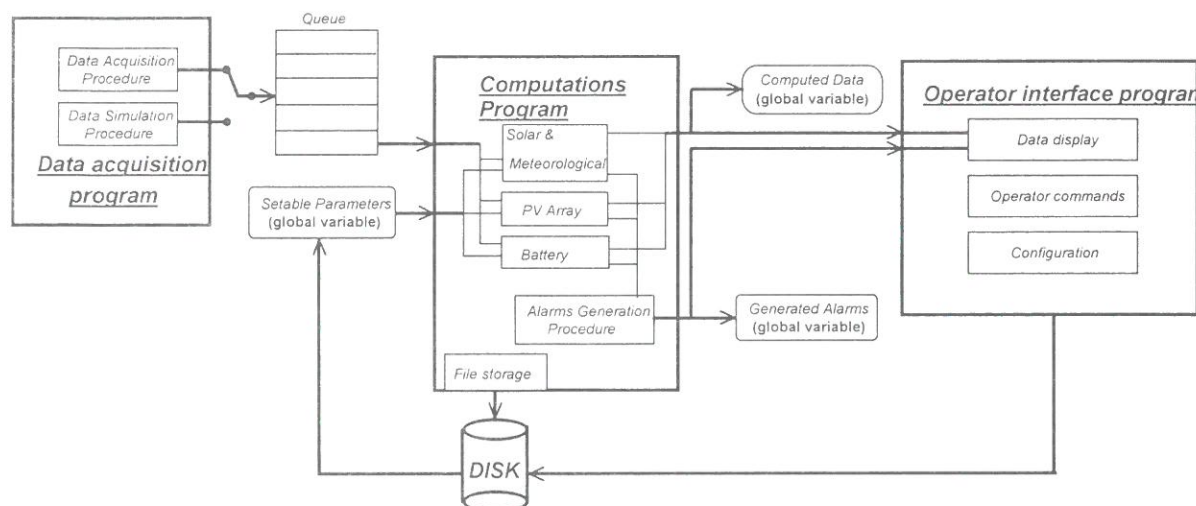


Figura 1. Structura software a sistemului

## 2.2. Arhitectura software

Arhitectura software constă din (figura 1):

- sistem de operare Windows NT;
- LabView pentru Windows NT;
- software original scris în limbajul LabVIEW, implementat de către ICI după specificațiile WIP - München;
- un driver Solartron IMP, care conectează rețeaua de câmp S-Net (care controlează modulele IMP) cu sistemul de dezvoltare LabView.

Sistemul de programe originale constă din trei module (VI - instrumente virtuale, numele specific al programelor în mediul LabVIEW), după cum urmează (figura 1):

a. VI pentru achiziție de date și simulare a achiziției de date. Acest VI are funcțiunile următoare:

- achiziție de date la fiecare 10 secunde din modulele IMP, folosind driverul IMP pentru LabVIEW;
- a fost dezvoltată o componentă specială pentru a simula achiziția periodică a datelor. Valoarea parametrilor este variabilă, urmînd unele curbe (în general parabolice, pentru a simula o zi senină). Mai mulți coeficienți sunt definiți pentru a se permite simularea unor situații speciale, în vederea testării regulilor de diagnoză și generarea alarmelor.

b. Proceduri pentru calculul datelor care au funcțiile următoare:

- calculul parametrilor: se face la fiecare 10 secunde, pe baza datelor achiziționate sau simulate cel mai recent;
- implementarea regulilor de diagnoză: se implementează 16 reguli de diagnoză, referitoare la panourile solare și la baterie;
- generarea alarmelor: în general, regulile de diagnoză generează mesaje de avertizare și de alarme. Depinzând de regula de diagnoză se generează codul, mesajul și data/timpul pentru fiecare alarmă. Toate alarmele generate se înserează într-o tabelă de alarme, care este apoi procesată în vederea afișării de către procedura de afișare;
- stocarea în fișiere a datelor importante: mai multe tipuri de fișiere sunt generate. Acestea conțin date importante (medii, maxime, minime sau valori acumulate,

depinzând de parametru) pentru un minut, oră, zi sau lună.

c. Procedura de interfață cu operatorul are funcțiile următoare:

- afișarea datelor: toate datele achiziționate sau calculate sunt afișate în forma corespunzătoare (valori digitale, indicatoare, grafice y-t, butoane);
- gestiunea comenzilor operatorului: acesta navighează prin diferitele ecrane doar prin apăsarea butoanelor mouse-ului. Doar foarte puține comenzi trebuie inserate de la tastatură;
- configurarea parametrilor: mai multe valori constante și parametri trebuie setați de către operator. Acești parametri sunt apoi stocați în fișiere speciale, putând fi modificați și folosiți în calculul datelor;
- configurarea hardware: echipamentul Solartron IMP trebuie să fie configurat (să se determine tipul fiecărui parametru, precum și intrarea corespunzătoare). Ea se poate face cu ajutorul acestui modul. Diferite configurații pot fi stocate în fișiere diferite, care pot fi apoi utilizate pentru a configura rețeaua S-Net și modulele IMP;
- ștergerea și inserarea alarmelor.

Întreaga interfață grafică a sistemului este alcătuită din 29 de ecrane diferite.

Comunicarea și sincronizarea dintre cele trei VI este realizată folosind mecanisme speciale:

⇒ modulele a. și b. comunică prin intermediul unei cozi FIFO. Procedura de achiziție pune mesaje în coadă, iar procedura de calcul preia mesaje din coadă. Motivul implementării acestei cozi este următorul: procedura de achiziție (care are o prioritate mai mare) achiziționează date la fiecare 10 secunde. În unele cazuri speciale, procedura de calcul poate să nu termine toate calculele pentru setul de date achiziționate anterior. Pentru a nu se pierde date, noul set de date este achiziționate, pus în coadă și procesat doar după ce setul anterior este terminat;

⇒ modulele b. și c. sunt sincronizate prin folosirea de "occurrences", care sunt structuri LabVIEW similare cu semafoarele binare. Procedura de calcul poate procesa un nou set de date doar după ce procedura de afișare a terminat de afișat toate datele din setul anterior;

⇒ aceste mecanisme asigură achiziția, calculul și afișarea corectă a datelor, pentru a se evita pierderea sau vicierea datelor.



### 3.1. Parametrii monitorizați

Trei tipuri de parametri sunt monitorizați: solari & meteorologici, referitori la câmpul fotovoltaic și referitori la baterie. Fără a intra în detalii, parametrii cei mai inovativi și inteligenți vor fi subliniați în cele ce urmează:

În ceea ce privește monitorizarea parametrilor solari, caracteristica cea mai importantă este implementarea unui model "de cer senin", corespunzător locației centralei electrice fotovoltaice de la Zambelli.. Acesta include parametri cum ar fi **unghiul de incidență solară și iradianța de cer senin pe planul câmpului fotovoltaic**. Pe baza acestora, se pot calcula unii parametri calitativi precum **indexul solar sau factorul energiei solare**.

Printre parametrii referitori la câmpul de panouri solare, poate cei mai interesanți parametri calculați sunt capabilitatea în putere pentru întregul câmp, cât și pentru fiecare dintre cele 18 șiruri de celule solare, unde:

$$P_c = P_t \cdot K_{sa} \cdot n_t \cdot P_{mo} \cdot [1 + \beta \cdot (TMOD - 25)] \cdot \frac{HPOA}{HSTC}$$

$K_{sa}$  = factor de pierderi și eficiență

$n_t$  = număr de module

$P_{mo}$  = puterea corespunzătoare unui singur modul

TMOD = temperatura modulului (măsurată)

HPOA = iradianța măsurată la nivelul planului câmpului de panouri solare

HSTC = iradianța la STC

Pe baza capabilității în putere, **factorul de utilizare, capabilitatea în putere la ieșire, factorul de utilizare energetic și alți parametri** sunt calculați.

În ceea ce privește bateria, parametrii următori sunt probabil cei mai utili și interesanți :

- **identificarea** celor mai slabe/puternice celule, în fiecare ciclu;
- **starea absolută de încărcare**, calculată pentru fiecare șir al bateriei:

$$ASOC_n = ASOC_{n-1} + IBAT \cdot T / SCF \text{ pentru } IBAT > 0 \text{ și}$$

$$ASOC_n = ASOC_{n-1} + IBAT \cdot T \text{ pentru } IBAT < 0,$$

unde

SCF = Factor de încărcare (ajustabil 1...1.3).

- **adâncimea de descărcare:**

$$DOD = \frac{CAPDDOD}{RC} \cdot 100\%$$

unde:

CAPDDOD = capacitatea descărcată în cadrul unui ciclu

RC = capacitatea elementară

- **fracția de reîncărcare:**

$$RFAh = \frac{CAPC}{CAPD}$$

unde:

CAPC = capacitatea încărcată pe durata unui ciclu

CAPD = capacitatea descărcată pe durata unui ciclu

- **numărul de cicluri** al fiecărui șir al bateriei pe durata unei perioade de raportare: folosind o combinație a parametrilor de mai sus, starea de funcționare a bateriei poate fi determinată.

### 3.2. Reguli de diagnoză și programe de generare a mesajelor de eroare

Mai multe reguli de diagnoză au fost implementate on-line. Fiecare regulă de diagnoză implică îndeplinirea uneia sau mai multor condiții, pentru a detecta o funcționare eronată a centralei fotovoltaice. Rezultatul procesului de diagnosticare este un mesaj de alarmă sau de atenționare, depinzând de impactul pe care evenimentul îl are asupra centralei. Tabelul 1 arată parametrii considerați în vederea diagnosticării, precum și concluziile rezultate din reguli.

Tabelul 1.

Parametru considerat	Concluzie
Factor de utilizare al întregului câmp de celule fotovoltaice	Șir degradat
Tensiunea pe jumătate de șir și factorul de utilizare al întregului câmp de celule fotovoltaice	2 sau mai multe module din șir sunt șuntate
Puterea șirului de celule fotovoltaice în condiții standard	Șirul are două sau mai multe module defecte
Starea de încărcare a bateriei (SOC)	- det. celule cu capacitate redusă - ajustarea SOC - bateria este aproape descărcată
Tensiunea bateriei	- defecțiunea încărcătorului - capacitate redusă
Curenții bateriei	- celule degradate
5 celule cu cele mai reduse tensiuni	- celule neîncărcate suficient - det. celulelor cu cea mai redusă tensiune
Toate tensiunile pe celule	- celule inversate - capacitate redusă

Componenta programului de diagnosticare a câmpului de celule fotovoltaice este folosită pentru a determina existența unei funcționări defectuoase a subcâmpurilor, șirurilor sau a modulelor fotovoltaice. Spre exemplu, un mesaj de tipul "2 sau mai multe

grupuri de module din subșirul superior au fost șuntate" este generat dacă tensiunea semișirului este cu 10 Vdc mai mare decât valoarea calculată, iar factorul de utilizare este cu x% (ajustabil) mai mare decât media.

Regulile pentru baterie se folosesc pentru analiza stării și performanței bateriei și pentru a identifica imediat funcționarea improprie a acesteia. Următoarele exemple descriu două rutine de diagnoză pentru sistemul de baterii și pentru componentele sale. Pentru sistemul de baterii:

- dacă curenții bateriei diferă cu mai mult de x%, concluzia este "posibile celule degradate într-o baterie", iar rutina va genera un mesaj de avertizare. Parametrul x este ajustabil de către operator.

Pentru celulele individuale:

- dacă oricare dintre cele 5 celule cu tensiunea cea mai mică la sfârșitul descărcării este printre cele 10 celule cu cea mai mică tensiune pe durata încărcării precedente, concluzia diagnozei este că cele 5 celule cu tensiunea cea mai mică sunt

subîncărcate, iar mesajul generat este o avertizare.

\* Rutinele de diagnoză vor fi activate doar dacă tensiunea medie a celulelor este mai mare de 2.1Vdc pe durata încărcării.

## 4. Prezentarea sistemului software

Componentele sistemului vor fi prezentate pe baza funcțiilor lor în cadrul sistemului:

### 4.1. Programe de achiziție de date

Un număr de valori măsurate este achiziționat din câmp la o rată de scanare de 2.5 sec., de la un sistem cu rețea de câmp S-Net. Patru asemenea eșantioane sunt mediate (se realizează astfel o filtrare) și constituie un eșantion de 10 sec. care este apoi folosit de către sistem pentru calcule și afișare.

### 4.2. Programe de simulare

În vederea testării, toate măsurătorile care se obțin în mod normal din câmpul fotovoltaic sunt simulate prin generarea la o viteză ajustabilă a unui set complet de măsurători.

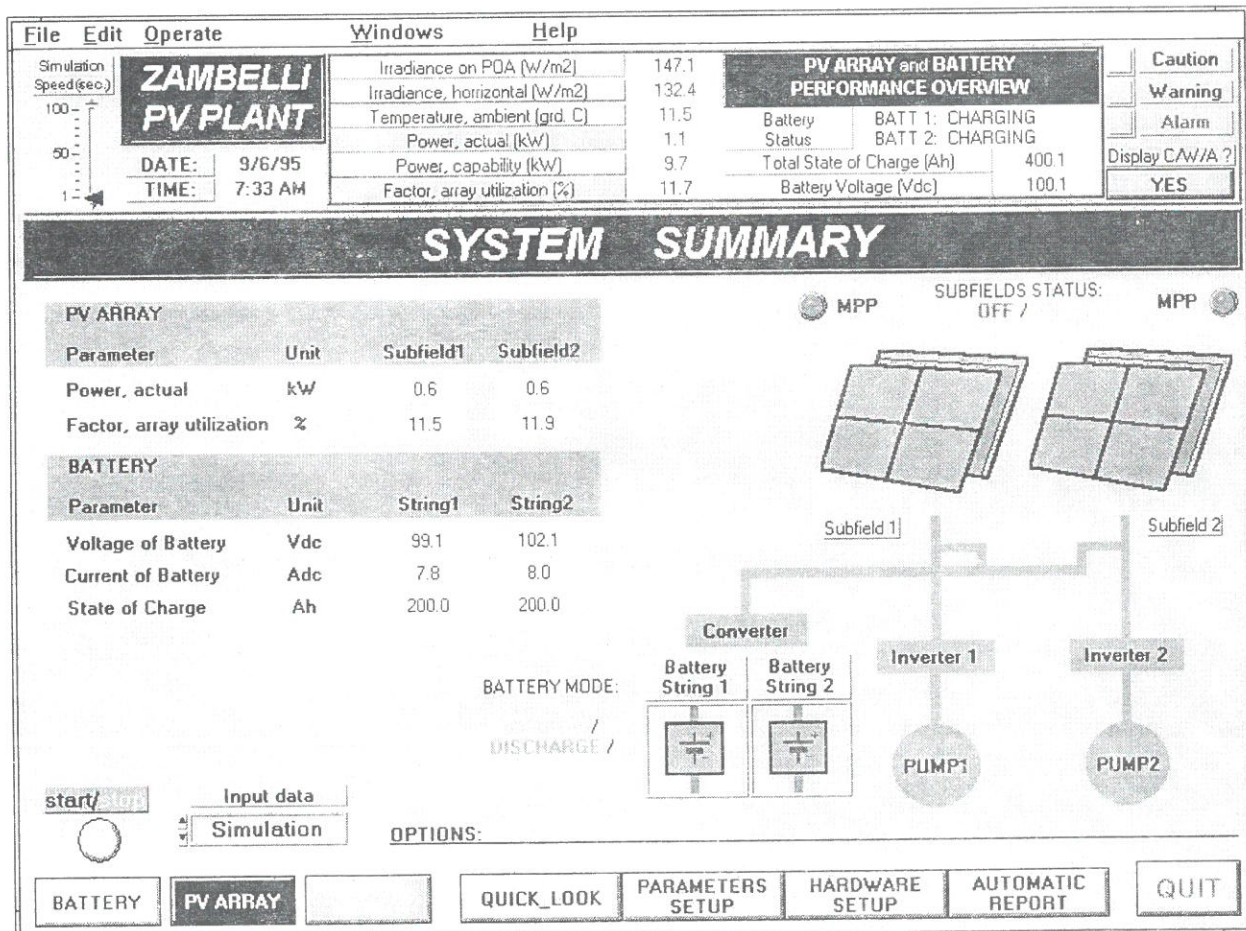


Figura 2. Ecranul principal al aplicației



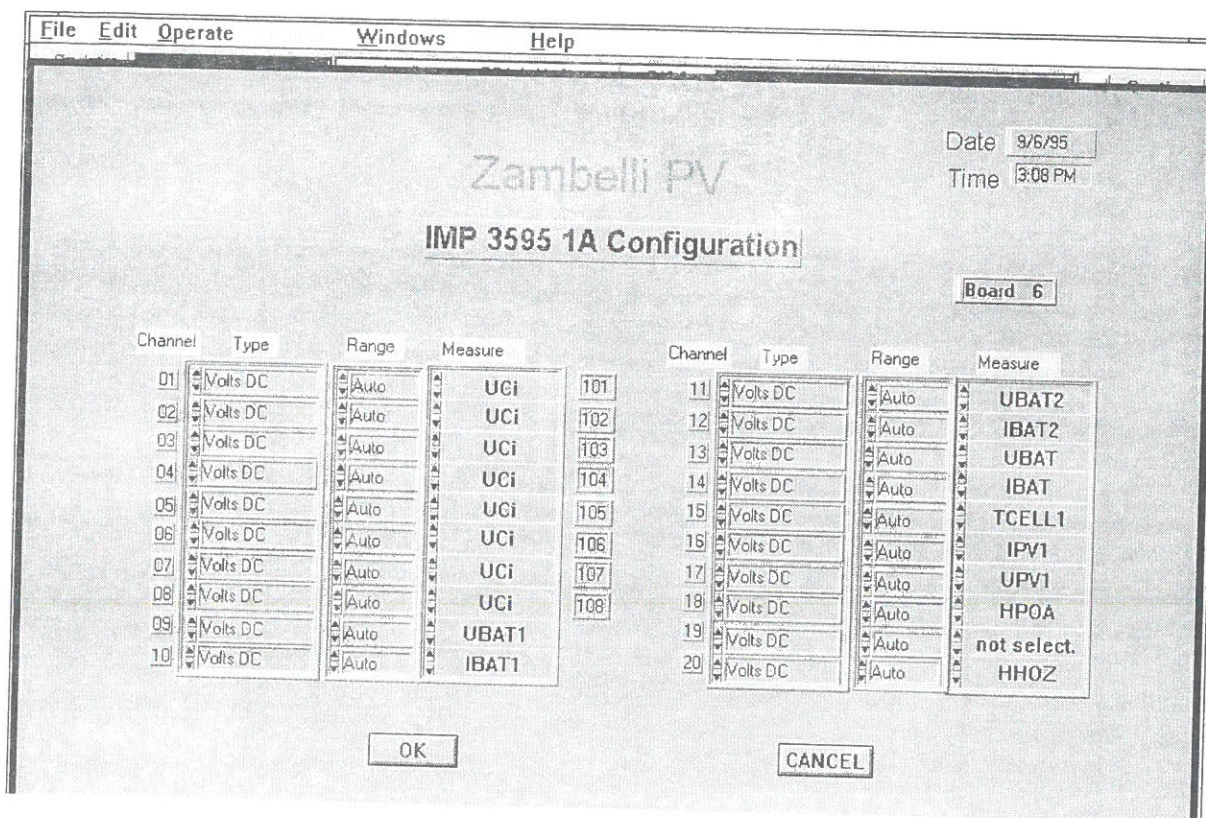


Figura 3. Ecran de configurare hardware

Măsurătorile sunt descrise de funcții matematice (parabolice sau sinusoidale) care descriu în mod aproximativ comportarea sistemului în situația reală. Modelarea presupune că ziua simulată este senină, însorită, cu exact 12 ore de soare (de la 7 A.M. la 7 P.M.), și 12 ore de noapte. În formulele de simulare, au fost introduse constante cu ajutorul cărora se pot modifica variația fiecărei mărimi separat, creând astfel situații de funcționare anormală a centralei și situații posibile de alarmare/avertizare.

#### 4.3. Programe de calcul

Sunt calculați în jur de 500 parametri, pe baza datelor achiziționate din câmp. Acestea se divid în mai multe categorii:

- date solare și meteorologice
- date din câmpul de panouri fotovoltaice
- date ale sistemului de baterii

Cei mai importanți parametri calculați au fost prezentați în secțiunea a 3-a.

#### 4.4. Programe de diagnoză și de gestionare a alarmelor

Aceste programe implementează regulile prezentate în secțiunea 3.2. și gestionează sistemul de alarme. În afară de alarmele/avertizările generate

de către regulile de diagnoză, alte mesaje de alarmă/avertizare sunt generate dacă unii parametri achiziționați sunt în afara limitelor normale, dacă au apărut probleme hardware sau dacă au apărut probleme în sistemul de generare a fișierelor.

#### 4.5. Programe de interfață cu operatorul

Programul de interfață cu operatorul este proiectat într-o formă grafică și oferă utilizatorului ușurință în folosire și un răspuns prompt la comenzi.

Ecranele sunt organizate în forma unui arbore, iar utilizatorul poate naviga prin acesta cu ajutorul unui set de butoane, folosind pentru aceasta un mouse. Datele sunt afișate sub formă de indicatoare digitale, bar-grafuri indicatoare analogice sau grafice. Culoarea și ele o semnificație aparte în display. De exemplu, imaginea bateriei este colorată cu verde în modul "încărcare", cu portocaliu în modul "descărcare" și alb în modul "conexiune liberă".

#### 4.6. Programe de stocare a datelor în fișiere

Datele importante sunt stocate în fișiere. Se pot genera mai multe tipuri de fișiere. Ele conțin date importante (maxime, minime, medii sau valori acumulate, depinzând de fiecare parametru) pentru minut, oră sau lună.



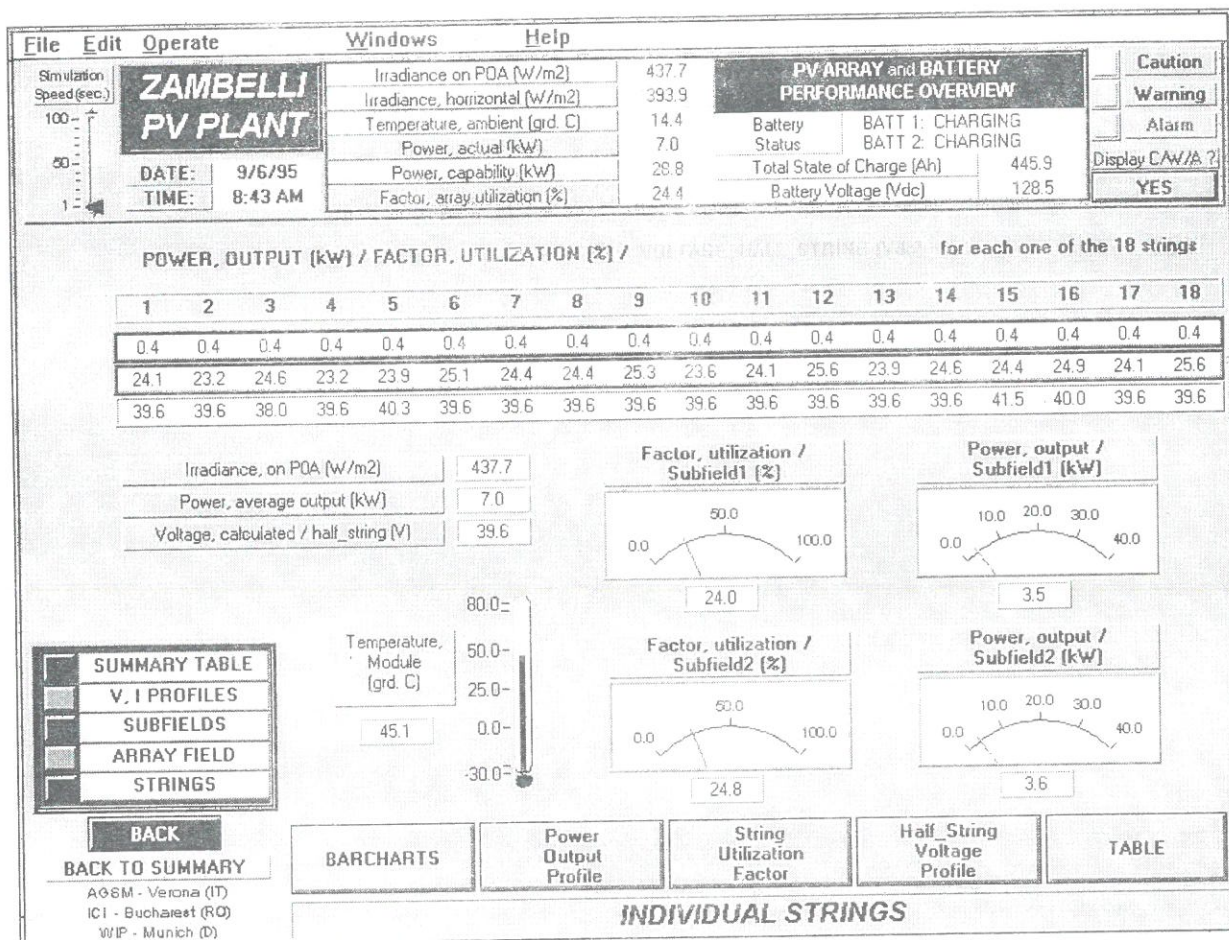


Figura 4. Ecran de afișare pentru șirurile individuale de celule fotovoltaice

a. Fișiere de minut: toate datele achiziționate și calculate sunt stocate la interval de un minut ca valori medii. Fișierele au numele aallzoo.min și nu sunt în format ASCII, ci în forma de *clusters*, care reprezintă echivalentul din LabVIEW pentru structuri. Un fișier conține datele corespunzătoare unei ore de funcționare. În afara cazului că sunt preluate de utilizator și copiate în alt subdirector, aceste fișiere sunt șterse automat după 10 zile de la generare. Motivul pentru care aceste fișiere sunt generate este următorul: operatorul are posibilitatea să revadă funcționarea centralei fotovoltaice pe baza acestor fișiere. Datele conținute de aceste fișiere pot fi re-afișate, ca și cum totul s-ar petrece în timp real. Această operație este foarte utilă, în special atunci când o regulă de diagnoză a generat un mesaj de alarmă și când operatorul dorește să vadă mai exact ceea ce s-a întâmplat.

b. Fișiere de test: acestea sunt fișiere care conțin valorile medii pentru 1-59 minute (ajustabil), pentru un set de parametri selectabil de către utilizator. Aceste fișiere au numele aazz.asc și sunt în format ASCII, importabil de către programe de calcul tabelar.

c. Fișiere de oră: se generează două tipuri de fișiere care conțin medii, maxime, minime și/sau

valori acumulate pe durata unei ore pentru câmpul de celule fotovoltaice și baterie. Numele lor este aalizz.pv și, respectiv, aallz.bt. Un asemenea fișier conține valori orare corespunzând unei zile întregi. Datele sunt în format ASCII, importabil de către programe de calcul tabelar.

d. Fișiere de 24 ore: un tip de fișier având structura ASCII și numele aall.day este generat pentru a stoca valorile medii, maximă, minimă și/sau valori acumulate pe durata a 24 de ore, pentru unii dintre parametri.

e. Generarea automată de rapoarte: se generează pentru o perioadă plasată între începutul lunii și data curentă. Are numele aall.rep și este în format ASCII.

f. Fișiere conținând informații referitoare la ciclurile de încărcare/descărcare ale bateriei: aceste cicluri nu sunt sincrone (pot exista mai multe asemenea cicluri pe durata unei singure zile), deci datele nu pot fi inserate în fișiere de oră sau zi. Există două tipuri de fișiere ASCII de încărcare/descărcare, conținând date pentru o lună:

- *aall.chg*, conținând parametri referitori la bancurile bateriei



• *aall.cel*, conținând parametri referitori la celulele bateriei

telefonice publice, folosind echipamentele menționate la caracteristicile hardware ale sistemului.

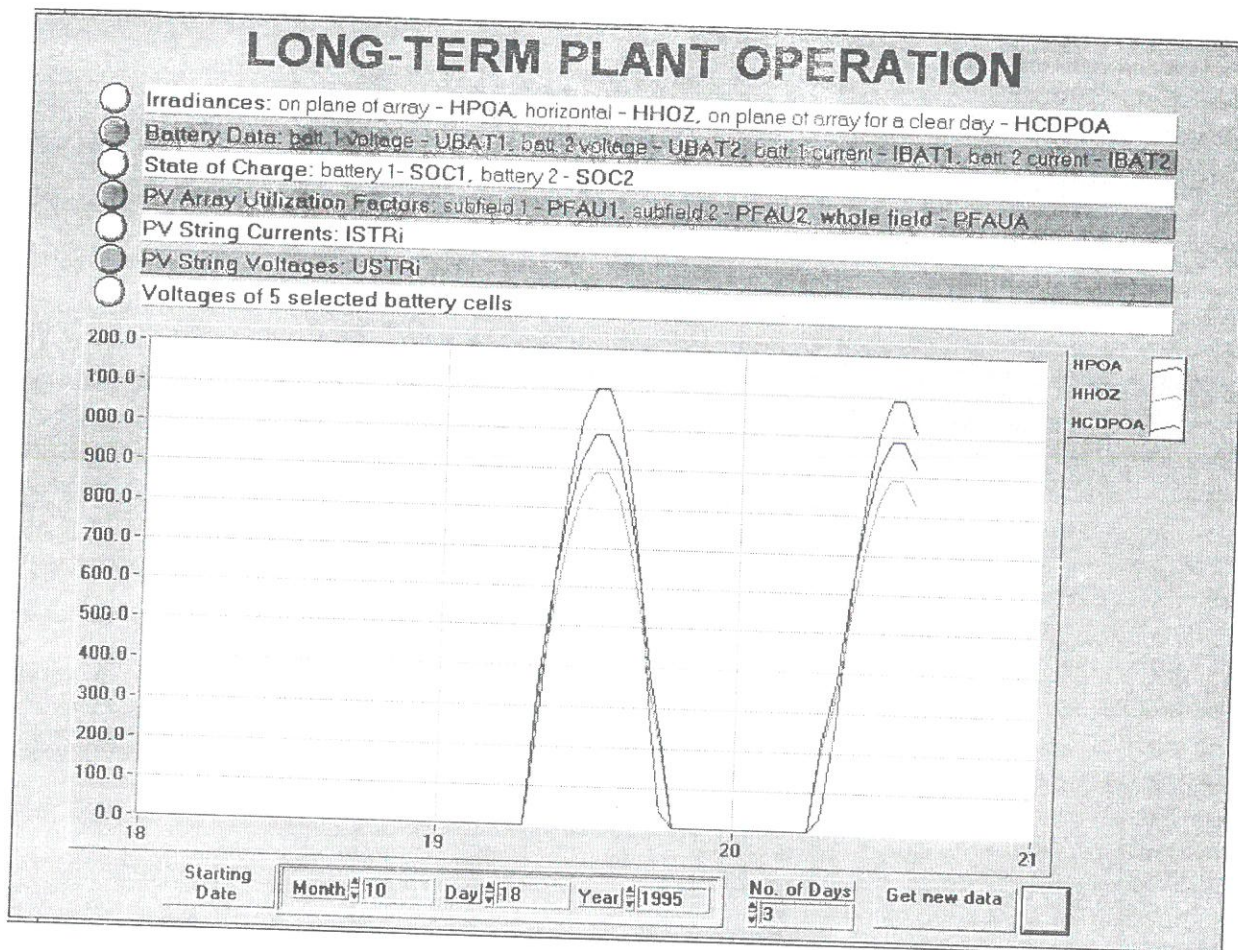


Figura 5. Exemplu de vizualizare cu ajutorul programului "Operarea pe termen lung a centralei". Cu ajutorul controalelor din partea superioară a ecranului se pot selecta grupurile de mărimi care se pot vizualiza, în cazul de față fiind setate trei iradianțe (pe planul normal al celulei fotovoltaice, orizontală, și în condiții standard de mediu)

g. Fișiere de alarme: toate mesajele de alarmă, conținând codul, mesajul, data/timpul și tipul alarmei (avertizare sau alarmă) sunt stocate în format ASCII într-un fișier numit *aall.alr*. Fiecare fișier conține mesajele de alarmă ale lunii respective.

În ultima versiune a programului, instalată în decembrie 1995, s-a adăugat o componentă nouă, care poate fi rulată independent de restul sistemului. Această componentă se numește "Operarea pe termen lung a centralei" (Long-term Plant Operation) și permite vizualizarea evoluției unor mărimi pe durate setabile de timp de la 1 la 30 de zile. Datele sunt preluate din fișierele de minut, deci se face astfel o filtrare prealabilă a datelor.

Tot în această versiune, a fost instalată și componenta programului care permite comunicarea la distanță a rezultatelor. S-au făcut teste care au verificat posibilitatea urmăririi funcționării centralei fotovoltaice de la sediul AGSM - Verona (la distanță de aproximativ 30 km.) prin intermediul liniei

## 5. Concluzii

Sistemul de monitorizare și diagnostic în timp real, dezvoltat pentru centrala electrică fotovoltaică de la Zambelli este foarte exhaustiv. Sunt achiziționați aproximativ 150 parametri, iar alți 500 sunt calculați. În afară de aceștia, se generează 16 reguli de diagnostic.

Sistemul a fost realizat folosind limbajul grafic LabView (pentru sistemul în sine) și Visual C++ pentru "driver-ul" IMP. Totuși, munca de implementare a fost mult mai dificilă decât echipa se aștepta la început, având în vedere și facilitățile oferite de LabVIEW. LabView este foarte folositor în ceea ce privește realizarea interfeței grafice (grafice, indicatoare, butoane etc.). În ceea ce privește partea de calcule, volumul de muncă a fost comparabil cu un program similar executat în C++.

În afara avantajelor derivate dintr-o asemenea abordare, există și unele dezavantaje, cum ar fi:

- modificările într-un program LabView (în special când acesta este foarte mare) sunt greu de realizat: deoarece programarea este grafică, introducerea de cod implică deplasarea restului de cod, pentru a se face loc. Uneori acest lucru este mult mai greu de realizat decât într-un cod scris în C;
- documentarea programului se face mult mai greu decât într-un program scris în maniera clasică (text), în special dacă se adaugă comentariile după ce codul a fost scris (cum este cazul de obicei).

Totuși considerăm experiența programării în limbajul LabVIEW ca fiind utilă.

## Bibliografie

1. **BÄCHLER, M., IMAMURA, M.S.:** Specifications for Real-Time Monitoring System for Zambelli PV Plant, WIP, October, 1994.
2. **BUZULOIU, D., BĂLAN, TH., BUZULOIU, A., GLADCENCO, F., UȚĂ, V.:** Real-Time Plant Diagnostic and Management of Dispersed PV and Battery Grid-Connected Systems in Remote Areas, ICI Third Report, May, 1995.
3. **IMAMURA, M.S., HELM, P., PALZ, W. :** Photovoltaic PV Technology, Commission of the European Communities, 1992.
4. **ZAMBONI, G. :** Zambelli Solar Energy Station. New Plant Configuration, AGSM Verona, September, 1993.
5. \* \* \* LabView for Windows v. 3.1.1., Technical Documentation, National Instruments, 1995.
6. \* \* \* Windows NT 3.5. Installation Guide, Microsoft Press, 1994.