COLTUC DINU Digitally signed by COLTUC DINU
Date: 2018.07.18 09:59:33 +03'00'

MINISTERUL EDUCAŢIEI NAŢIONALE

UNIVERSITATEA "VALAHIA" DIN TÂRGOVIŞTE

IOSUD – ŞCOALA DOCTORALĂ DE ŞTIINŢE INGINEREŞTI

Domeniul: Inginerie Electrică

COMPATIBILIZAREA SMART GRID A COMPONENTELOR ELECTRICE DIN SISTEMELE ELECTROENERGETICE

- REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT -

CONDUCĂTOR DE DOCTORAT:

Prof.univ.dr.ing. Nicolae VASILE

DOCTORAND :

Acs.drd.ing.Viorel MIRON-ALEXE

TÂRGOVIŞTE

2018

CUPRINS

Teză de Doctorat + (***pag. Rezumat***)

MULȚUMIRI ..... 4(*5*)

ÎNCADRAREA EPISTEMOLOGICĂ A LUCRĂRII DE DOCTORAT (*CUVINTE CHEIE/OBIECTIVELE ȘI SCOPUL LUCRĂRII DE DOCTORAT*)..... 5(*6*)

CAP. 1 ANALIZA SITUAȚIEI ACTUALE ȘI A SOLUȚIILOR DISPONIBILE ÎN DOMENIUL REȚELELOR ENERGETICE DE TIP "SMART GRID"..... 7(*8*)

1.1. Situația actuală cu privire la rețelele energetice "Smart Grid" în Uniunea Europeană ... 8

1.2. Topologii ale rețelelor "Smart Grid" și tranziția la sistemele energetice descentralizate 14

1.3. Componentele și alcătuirea unui sistem energetic insularizat 16

CAP. 2 ANALIZA OPORTUNITĂȚILOR DE IMPLEMENTARE ALE SISTEMELOR INTELIGENTE OFF-GRID CU SURSE HIBRIDE DE ENERGIE REGENERABILĂ ..... 20(*10*)

2.1. Analiza potențialului energetic actual al surselor regenerabile de energie din România 22

2.1.1 Analiza distribuției rețelei hidrografice pe teritoriul României..... 24

2.1.2 Analiza distribuției radiației solare pe teritoriul României 25

2.2. Aplicații de implementare pentru un sistem off-grid cu surse hibride de energie regenerabilă 27

2.3. Comparație între sursele auxiliare generatoare de energie electrică pentru locuințe insularizate..... 28

2.4. Situația actuală în domeniul tehnologiilor fotovoltaice..... 30

2.5. Situația actuală în domeniul sistemelor IoT 33

CAP. 3 DEZVOLTAREA ȘI COMPATIBILIZAREA UNUI SISTEM INTELIGENT DE MONITORIZARE, MANAGEMENT ȘI CONTROL ENERGETIC OFF-GRID, CU SURSE REGENERABILE HIBRIDE..... 36(*15*)

3.1. Descrierea generală și implementarea sistemului MACHRES într-o locuință off-grid 36

3.2. Descrierea și analiza componentelor sistemului electronic de monitorizare, management și control energetic 44

3.2.1. Microsistemul pentru monitorizare, Arduino YUN(master) 44

3.2.2. Microsistemul pentru managementul și controlul energetic, Arduino MEGA(slave) 47

3.2.3. Modulul de ceas în timp real RTC 51

3.2.4. Modulul de acționări cu relee 53

3.2.5. Senzorul de nivel de apă 54

3.2.6. Senzorul de curent 55

3.2.7. Senzorul de tensiune 58

3.2.8. Adaptorul CA cu mai multe intrări pentru consumatorii electrocasnici 59

3.3. Descrierea și analiza componentelor sistemului fotovoltaic cu stocare în acumulatori 60

3.3.1. Sistemul fotovoltaic insular și modulele fotovoltaice 61

3.3.2. Acumulatorii pentru stocarea energiei fotovoltaice 66

3.3.3. Sistemul BMV pentru monitorizarea acumulatorilor 69

3.3.4. Regulatorul de încărcare în curent continuu al acumulatorilor plumb acid 70

3.3.5. Invertorul sistemului fotovoltaic insular 75

3.4. Descrierea și analiza componentelor sistemului hidroelectric 77

3.4.1. Turnul de apă pentru stocare 77

3.4.2. Pompa de apă centrifugală 80

3.4.3. Grupul turbină-generator 81

3.4.4. Electrovalva 83

3.4.5. Sursele de apă pentru alimentare 84

CAP. 4 ACHIZIȚIA ȘI MODELAREA DATELOR EXPERIMENTALE, MĂSURĂTORI ȘI CALCULE ALE SISTEMULUI OFF-GRID STUDIAT ..... 89(*24*)

4.1. Simularea, achiziția și prelucrarea semnalului analogic de la senzori 89

4.2. Realizarea de măsurători experimentale la un consumator ideal pur rezistiv 93

4.3. Procesarea și reprezentarea grafică a măsurătorilor prin dezvoltarea aplicației software 97

4.4. Constituirea algoritmului de funcționare al sistemului MACHRES în cazul real de exploatare 102

4.4.1. Schema logică de funcționare a microsistemului master (afișarea datelor) 102

4.4.2. Schema logică de funcționare a microsistemului slave (achiziția de date și controlul sistemului hidroelectric) 106

4.5. Realizarea calculelor pentru dimensionarea sistemului energetic hibrid (fotovoltaic și hidroelectric) 109

4.6. Achiziția, reprezentarea și interpretarea datelor cu privire la regimul de încărcare și descărcare al acumulatorilor de la sistemul fotovoltaic 114

4.7. Studiu de caz cu privire la consumul energetic pe timp de noapte și pe timp de zi pentru o gospodărie 120

4.8. Calculul financiar privind investiția în sistemul abordat 122

CAP. 5 CONCLUZII ..... 124(*41*)

5.1. **Contribuții originale** ..... 125**(*43*)**

5.2. **Direcții de cercetare și dezvoltare ulterioară** ..... 126**(*44*)**

ANEXE 129

A1. Algoritmul microsistemului *slave* 129

A2. Algoritmul microsistemului *master* 134

A3. Codul sursă al aplicației HTML 138

A4. Măsurătorile (sumare) achiziționate de la sistemului BMV – platforma fotovoltaică 140

A5. Măsurătorile (sumare) achiziționate de la MACHRES/multimetru (consumator rezistiv ideal) 148

PUBLICAȚII ȘTIINȚIFICE ..... 150(*46*)

BIBLIOGRAFIE ..... 152(*47*)

MULȚUMIRI

Doresc să mulțumesc în mod special domnului profesor universitar dr.ing. Nicolae VASILE, atât prin prisma calităților sale umane deosebite, cât și a calităților profesionale de înaltă clasă, pentru sprijinul moral, dar și cel științific pe care mi l-a acordat de-a lungul perioadei studiilor doctorale. Domnia sa a jucat un rol esențial în modelarea caracterului meu profesional și științific, prin contribuții, sfaturi, idei și abordări pe care eu, ca proaspat doctorand, încă nu le cunoșteam sau nu le înțelegeam pe deplin.

Doresc să transmit sincere multumiri și domnului Christian DeFeo pentru suportul tehnologic prin care am putut realiza prototipul experimental al tezei de doctorat. Actual manager de marketing al revistei Elsevier, dumnealui a activat, în calitate de manager furnizare produse, în cadrul comunității Element14, comunitate afiliată Grupului Premier Farnell, care are ca domeniu de activitate comercializarea de produse tehnologice și soluții pentru ingineri, la nivel global, în consorțiu cu companiile internaționale consacrate în domeniul IT&C de dispozitive electrice și electronice.

În același context, doresc să transmit calde mulțumiri domnului director al Centrului de cercetare DCEM din cadrul ICSTM, profesor universitar dr.ing. Nicolae OLARIU, domnului Decan al Facultății de Inginerie Electrică, Electronică și Telecomunicații, conf.dr.ing. Henri George COANDĂ, domnului profesor universitar dr.ing. Horia Leonard ANDREI, domnului profesor universitar dr.ing. Dinu COLȚUC, doamnei director și conf.univ.dr.ing. Cristiana RĂDULESCU, și nu în ultimul rând, doamnei director științific și profesor universitar dr.ing. Viviana FILIP, pentru sfaturile, încurajările și informațiile furnizate pe durata studiilor doctorale.

Doresc, de asemenea, să mulțumesc colegului meu, Cs.dr.ing Dorin LEȚ, pentru sprijinul acordat în ceea ce privește efectuarea măsurătorilor și datelor furnizate, prin intermediul echipamentelor de cercetare științifică din cadrul ICSTM al Universității “Valahia” din Târgoviște.

În final, doresc să le mulțumesc părinților mei, pentru sustinerea morală, materială și financiară, pe parcursul anilor de studiu.

CUVINTE CHEIE

Smart grid, compatibilizare, componente, on-grid, off-grid, sisteme energetice, surse hibride, energie regenerabilă, fotovoltaic, hidroelectric, acumulatori, echipamente de putere, monitorizare, control, management, eficientizare, consumatori, algoritm, IoT, locuințe, clădiri, microsistem, master, slave, Arduino, shield, I2C, wireless, HTML, server, electronică, achiziție de date.

OBIECTIVELE ȘI SCOPUL LUCRĂRII DE DOCTORAT

- **Obiectivele și scopul cercetării din lucrarea de doctorat constau în:**
  - analiza strategiilor actuale de dezvoltare în domeniul abordat;
  - conceperea unei idei de ansamblu asupra unui sistem automat de monitorizare și management al energiei electrice, care să suplinească necesitățile energetice ale unei locuințe off-grid cu o familie tipică de 3 membri (2 adulți și 1 copil);
  - dimensionarea, compatibilizarea și calcularea echipamentelor necesare ale sistemului global abordat;
  - dezvoltarea unui sistem hardware de monitorizare și management energetic, cu surse hibride de energie alternativă, al unei locuințe;
  - dezvoltarea unui algoritm software de monitorizare și control programat pentru eficientizarea energetică.
- **Cercetarea realizată în cadrul acestei teze de doctorat și-a propus să soluționeze probleme precum:**
  - compatibilizarea pentru utilizare în sistem inteligent și exploatare a diferitelor surse de energie alternativă pentru consumul domestic;
  - asigurarea independenței energetice totale a locuințelor și a clădirilor off-grid, prin compatibilizarea sistemului, utilizând surse multiple de energie regenerabilă;
  - îndeplinirea necesităților energetice ale unei familii pe parcursul fiecărei zile, printr-un program de consum prestabilit și optimizat;
  - preluarea supraconsumului energetic al locuinței prin alternative energetice, pentru evitarea descărcării acumulatorilor sub pragul minim de siguranță și pentru asigurarea unui aport energetic suficient până la reîncărcarea lor pe timpul zilei;
  - analiza stării de încărcare a acumulatorilor care stochează energie electrică furnizată de la panourile fotovoltaice, cu măsurători pentru două sezoane diferite;
  - optimizarea consumului energetic al aparatelor electrice aferente locuinței, printr-o exploatare inteligentă programată;
  - formarea unui model comportamental responsabil și conștient asupra exploatării surselor proprii de energie electrică ale prosumatorului.

SINTEZA STRUCTURII TEZEI DE DOCTORAT

Capitolul 1, intitulat ***ANALIZA SITUAȚIEI ACTUALE ȘI A SOLUȚIILOR DISPONIBILE ÎN DOMENIUL REȚELELOR ENERGETICE DE TIP "SMART GRID"***, prezintă o analiză asupra rețelelor inteligente Smart Grid și implementarea de proiecte cu aplicații inteligente, atât la nivelul Uniunii Europene precum și la nivelul României. De asemenea, sunt luate în calcul și obiectivele și pachetele legislative pe care țările membre UE trebuie să le îndeplinească, pentru o dezvoltare durabilă a sistemului energetic global.

Capitolul 2, intitulat ***ANALIZA OPORTUNITĂȚILOR DE IMPLEMENTARE ALE SISTEMELOR INTELIGENTE OFF-GRID CU SURSE HIBRIDE DE ENERGIE REGENERABILĂ***, abordează oportunitățile și necesitățile compatibilizării și implementării de sisteme hibride energetice în locuințele izolate energetic, pentru a acoperi un anumit deficit de energie electrică pentru consumul domestic, prin eficientizarea programată a echipamentelor aferente surselor generatoare de energie electrică.

Capitolul 3, intitulat ***DEZVOLTAREA ȘI COMPATIBILIZAREA UNUI SISTEM INTELIGENT DE MONITORIZARE, MANAGEMENT ȘI CONTROL ENERGETIC OFF-GRID, CU SURSE REGENERABILE HIBRIDE***, descrie alcătuirea unui sistem electronic inteligent de monitorizare și control (MACHRES), pentru compatibilizarea și managementul componentelor electrice ale unui sistem fotovoltaic și ale unui sistem hidroelectric, pe baza unor algoritmi și a unui orar de operare prestabilit, implementate într-o locuință off-grid.

Capitolul 4, intitulat ***ACHIZIȚIA ȘI MODELAREA DATELOR EXPERIMENTALE, MĂSURĂTORI ȘI CALCULE ALE SISTEMULUI OFF-GRID STUDIAT***, punctează etapele de achiziție și prelucrare ale datelor experimentale necesare, utilizând atât calcule teoretice, cât și măsurători practice, asupra sistemului electronic de monitorizare și control (MACHRES) și asupra sistemului energetic hibrid.

În **Capitolul 5**, intitulat sugestiv ***CONCLUZII***, sunt sintetizate **observațiile și concluziile principale** asupra posibilității reale de implementare a unui astfel de sistem, fiind enumerate de asemenea și **contribuțiile originale** dar și posibilele **direcții de dezvoltare ulterioară** ale sistemului, prin îmbunătățiri și extinderi ale capabilităților acestuia, pentru alte aplicații adiacente la locuințe off-grid, și nu numai.

CAP. 1 ANALIZA SITUAȚIEI ACTUALE ȘI A SOLUȚIILOR DISPONIBILE ÎN DOMENIUL REȚELELOR ENERGETICE DE TIP "SMART GRID"

În contextul modificărilor climatice din prezent, la nivel global, atât guvernele mondiale cât și marile companii din domeniul energetic, au ca agendă comună, atât reducerea poluării și a emisiilor de CO_2, cât și exploatarea surselor alternative de energie electrică, făcându-se treptat o renunțare la energiile convenționale pe bază de combustibili fosili [1].

Avantajele implementării acestei tehnologii "inteligente", atât pentru producători, distribuitori, cât și pentru consumatori sunt [7]:

- Eficiență energetică crescută;
- Siguranță în exploatare;
- Poluare și emisii de CO_2 scăzute;
- Flexibilitate și adaptabilitate.

Uniunea Europeană (UE), cel mai mare promotor al acestui concept, a jucat și încă joacă un rol activ în implementarea proiectelor Smart Grid, în cadrul țărilor membre europene. Conform rapoartelor periodice emise de către Centrul Comun de Cercetare Europeană (JRC – Joint Research Centre), numărul cel mai mare de proiecte Smart Grid, la nivel mondial, implementate, sau în curs de implementare, se regăsește preponderent în Europa [9]. Există însă și probleme cu care se confruntă UE în sectorul energetic, precum: cererea crescândă de energie electrică, impactul sectorului asupra mediului, prețuri oscilante și întreruperi de aprovizionare cu energie electrică.

În consecință, Uniunea Europeană, fiind un mare susținător al energiei "verzi", a început să dezvolte pachete legislative cu măsuri și strategii foarte coerente care vin în întâmpinarea acestor probleme, pentru toate țările membre, și care au ca obiective [10]:

- Durabilitatea;
- Competitivitatea;
- Securitatea aprovizionării.

În prezent, Comisia Europeană a stabilit numeroase **obiective** în materie de energie și mediu, trasate pe câteva decenii, mai precis pentru anul 2020, pentru anul 2030 și pentru anul 2050, dintre care menționăm [13]:

Obiective UE stabilite pentru anul 2020:

- Un procent de 20% să reprezinte energia din sursele regenerabile;
- O reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră cu cel puțin 20% față de nivelurile din anul 1990;
- O creștere cu 20% a eficienței energetice.

Obiective UE stabilite pentru anul 2030:

- Creșterea eficienței energetice cu 27% până la 30%;
- Nivelul de interconectare electrică să ajungă la 15% (adică 15% din energia electrică produsă într-o țară membră să poată fi transportată către alte țări membre);
- Reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră până la 40%;
- Peste 27% din energia electrică din Uniunea Europeană să fie obținută din surse regenerabile.

Obiective UE stabilite pentru anul 2050:

- O reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră cuprinsă între 80% și 95% față de anul 1990.

Conform unui centralizator întocmit de către Asociația Română pentru Smart City și Mobilitate (ARSCM), în cadrul programului pilot de identificare a dezvoltării proiectelor Smart City **în România**, s-a implementat un număr de 129 de proiecte Smart City în 24 de județe. Printre proiectele Smart City analizate de către ARSCM [18], menționăm câteva:

- Monitorizarea consumului de apă;
- Sistem de monitorizare și analiză al veniturilor bugetare;
- Sistem de dispecerizare urgențe;
- Aplicație de programare online a căsătoriilor;
- Sistem de monitorizare al traficului;
- Iluminare inteligentă;
- Stații de încărcare ale vehiculelor electrice;
- Monitorizarea calității aerului;
- Sistem de consultare și informare al cetățenilor pe diverse teme;
- Sistem de management al parcărilor.

CAP. 2 ANALIZA OPORTUNITĂȚILOR DE IMPLEMENTARE ALE SISTEMELOR INTELIGENTE OFF-GRID CU SURSE HIBRIDE DE ENERGIE REGENERABILĂ

La nivel **internațional**, conform rapoartelor prezentate de către: "Agenția Internațională pentru Energiile Regenerabile" (IRENA) [29], ONG-ul "Energii Sustenabile pentru Toți" (SEE4ALL) [30] și "Banca Mondială" (WB) [31], un număr de peste 1,16 miliarde de oameni din toată lumea (15% din populația mondială în 2014) încă trăiește în locuințe deconectate de la rețeaua electrică națională sau chiar fără electricitate.

Un alt raport întocmit de către "Banca Mondială" [32], realizat pentru anul 2014, cu privire la accesul comunităților la electricitate, relevă faptul că rata cea mai scăzută, la nivel mondial, o deține continentul African, cu un procent cuprins între 24% și 40% în funcție de țară.

Conform datelor extrase din rapoartele Băncii Mondiale, menționăm și state din afara continentului African, care au probleme similare și unde se fac eforturi de implementare în ceea ce privește gradul de electrificare, precum: India (mai ales regiunea Tripura), Birmania, Yemen, Cambodia, Bangladesh, Laos, Papua Noua Guinee, Coreea de Nord, Haiti (figura 2.1) [34].

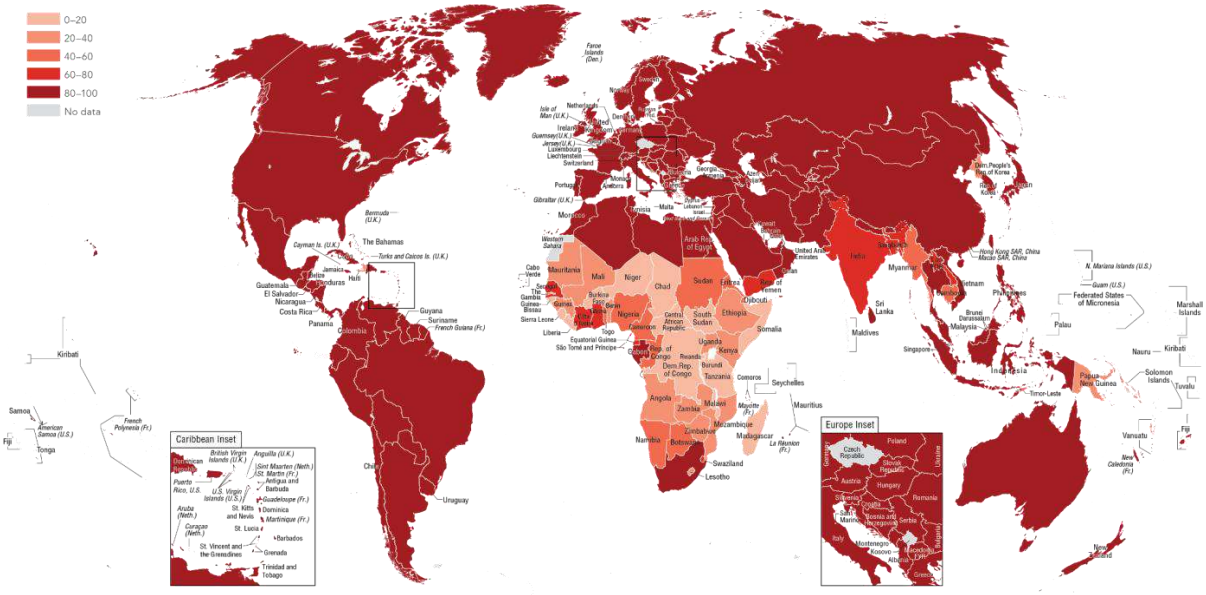


Figura. 2.1. Diagrama geografică cu țările în curs de dezvotlare, care încă au un procent scăzut de electrificare, conform legendei [35].

În **România**, “Agenția Română pentru Dezvoltarea Durabilă a Zonelor Industriale” (A.R.D.D.Z.I.), a întocmit un studiu [37], în care 97.805 de gospodarii aparținând a 2.284 de localități, sunt neelectrificate, unde:

- 2.822 de gospodării amplasate în 97 localități sunt total neelectrificate;
- 60.540 de gospodării amplasate în 2018 localități rurale sunt parțial electrificate;
- 34.443 de gospodării amplasate în 169 localități urbane care necesită extinderi.

Cunoscând faptul că atât procesul de electrificare rurală, cât și cel de electrificare al locuințelor izolate, este deosebit de costisitor pentru companiile de distribuție de energie electrică (necesitând în primul rând infrastructură și logistică), din cauza dispersiei mari a consumatorilor în teritoriu, cât și din cauza consumului relativ mic pentru fiecare consumator (aprox. 5kWh/zi), se pot aborda variante alternative de alimentare cu energie electrică utilizând instalațiile cu surse de energie regenerabilă precum:

- Eoliene;
- Solare;
- Microhidrocentrale;

, sau sisteme hibride adaptate la condițiile specifice locului inițial.

Făcând o analogie la sistemul energetic hibrid abordat de către noi în lucrarea doctorală, unde s-au utilizat două surse regenerabile de energie, putem spune că integrarea mai multor surse regenerabile de energie reprezintă o oportunitate pentru eficientizarea consumului energetic la o locuință oriunde în lume.

Conform raportului furnizat de către Autoritatea Națională de Reglementare în domeniul Energiei (ANRE), cu privire la producția de energie electrică a României, pentru anul 2016, s-a realizat **un procent de 42,38% din surse regenerabile** și **un procent de 57,62% din surse convenționale** [40]. Astfel, potrivit datelor, **hidrocentralele** au asigurat un procent de 28,86% din producția de energie electrică din surse regenerabile, 10,13% **instalațiile eoliene**, 2,60% **sistemele fotovoltaice**, 0,75% **centralele cu biomasă** și 0,05% din **alte surse regenerabile**.

Dintre **sursele convenționale** generatoare de energie electrică menționăm: **cărbunele** care a ocupat locul doi cu 24,47% din totalul producției, energia nucleară de la Cernavodă cu

17,49%, **gazele naturale** cu 14,99%, **păcura** cu 0,28% și **alte surse convenționale** care au înregistrat un procent însumat de 0,39%.

Tot în 2016, conform aceluiași raport, s-a înregistrat la nivel național o producție de energie electrică de 61,80TWh, în scădere cu un procent de 1,3% față de anul 2015.

În urma generării de energie electrică, în ceea ce privește media emisiilor de CO_2, a rezultat o valoare de 287,11g/kWh în timp ce deșeurile radioactive au înregistrat o valoare medie de 0,003g/kWh. În concluzie, emisiile de CO_2 din sectorul energetic, la nivel național, au ajuns la o valoare de 17.743.398 de tone.

România ocupa un loc fruntaș în Europa în ceea ce privește resursele de apă și raportul de distribuție al apelor în teritoriu, astfel, la momentul actual, România deține un număr de 11 bazine hidrografice din care menționăm: bazinul Cerna-Jiu, bazinul Olt, bazinul Argeș-Vedea, bazinul Ialomița-Buzău, bazinul Dobrogea, bazinul Prut, bazinul Siret, bazinul Someș-Tisa, bazinul Crișuri, bazinul Mureș și bazinul Banat.

Conform măsurătorilor realizate în intervalul anilor 2010-2016 de catre ANM (Administrația Națională de Meteorologie), pentru radiația solară incidentă anuală pe teritoriul României, rezultă că media se situează la aproximativ 3,56kWh/m^2/zi. Așadar România este o țara cu potențial energetic solar notabil, dat fiind faptul că aproximativ 210 zile pe an sunt însorite, înregistrând astfel un flux energetic solar anual cuprins între 1200-1600kWh/m^2/an în funcție de regiunea radiată [46]. Trebuie menționat faptul că potențialul solar maxim pe teritoriul României este atins în luna iulie, înregistrând valoarea de aproximativ 6,41kWh/m^2/zi, în timp ce potențialul solar minim este atins în luna decembrie, cu pragul de aproximativ 1,12kWh/m^2/zi [48].

Prin flexibilitatea și modularitatea sa, sistemul de monitorizare și management energetic cu surse hibride de energie regenerabilă, propus în lucrare, poate face obiectul de implementare în multiple aplicații precum:

- Gospodării izolate;
- Stații de încărcare ale vehicule electrice;
- Baze militare;
- Campusuri sau tabere;
- Teatre de operațiune;
- Spitale de campanie;

- Zone calamitate;
- Laboratoare mobile de cercetare;
- Stații de observare și colectare de date;
- Zone inaccesibile sau sărace;
- Case de vacanță.

Avantajele reale ale unui astfel de sistem cu **componentă** hidroelectrică, constau în: **costurile scăzute** ale echipamentelor hidroelectrice, **infrastructură minimală**, **implementare ușoară și rapidă** prin modularitate, **consum electric mic** pentru umplerea bazinului cu apă, **utilizare și în alte aplicații** care necesită un flux de apă.

Sistemul hidroelectric cu stocare în rezervor la înălțime al apei, poate fi adaptat să funcționeze și în regim utilitar, în gospodăria proprie, pentru diverse aplicații adiacente, dintre care menționăm:

- Irigații;
- Stingerea incendiilor din proximitate;
- Apă menajeră și potabilă;
- Sisteme care necesită răcire/spălare cu apă sau acționări hidraulice.

O abordare foarte dezbătută în mediul stiințific și academic la momentul actual, în domeniul surselor regenerabile de energie electrică la locuințele izolate, este reprezentată de sistemele de tip HRES (Hybrid Renewable Energy Sistem), care au rolul de a compensa și eficientiza consumul electric. Deși în foarte multe lucrări științifice, care au ca abordare pico-hidrocentralele integrate în HRES [50], se promovează ideea construcției unui sistem pe bază de căderi de apă cu surse în amonte (în special în zone sărace/inaccesibile) [51], singurul avantaj fiind reprezentat de continuitatea furnizării de electricitate, totuși existând numeroase probleme ridicate de abordarea unui astfel de sistem.

Noutatea din lucrarea noastră este reprezentată de o **soluție alternativă ieftină de energie regenerabilă**, prin integrarea unui sistem HRES (solar și hidro), care **surclasează sistemul clasic, pe bază de combustibili fosili**, al generatoarelor electrice insulare sau al generatoarelor eoliene, urmărindu-se în același timp **înlocuirea** acestor surse.

Un alt avantaj al sistemului hidroelectric cu stocare de apă în rezervor, față de celelalte sisteme energetice auxiliare insulare, este că **poate furniza o energie electrică constantă** (în funcție de dimensionarea sa) **timp de aproximativ 3 ore** (3,81kWh), dacă bazinul este plin.

Principalele provocări care trebuie depășite **în domeniul tehnologiei fotovoltaice** sunt: **reducerea costurilor** și **creșterea eficienței de conversie** a radiației solare în energie electrică [56].

Deși companiile mari precum Google, Mircosoft și Amazon dețin în portofoliile lor soluții IoT și Cloud pentru monitorizarea dispozitivelor, controlul locuințelor și stocarea de date, **pe bază de abonamente** lunare sau anuale, pentru toate segmentele de consumatori, **aceste servicii sunt** în totalitate **dependente de o conexiune la internet** pentru a opera prin intermediul clientului API (Application Programming Interface) între server și utilizator [65].

Sistemul MACHRES utilizează un serviciu de externalizare al datelor cu privire la măsuratorile consumului casnic spre un server de tip API, dar cu **abonament gratuit**, aceasta fiind doar o funcție auxiliară, care poate fi oricând dezactivată pentru a folosi serviciul intern de date care **nu necesită conexiune la internet**. Astfel, avantajele sistemului MACHRES identificate de către noi sunt:

- Nu există costuri implicate pentru abonamentul serviciilor IoT externe;
- Dacă este necesar un serviciu extern de monitorizare, sistemul necesită doar un cont online gratuit pe serverul API, ThingSpeak (sau orice alt server API similar);
- Sistemul are implementată și funcția offline de monitorizare a consumului casnic printr-un server HTML, dezvoltată de către noi, atunci când o conexiune la internet nu este valabilă pentru monitorizarea online;
- Toate datele de monitorizare sunt stocate pe serverul offline HTML, într-un fișier CSV, pe un card micro-SD, oricând la dispoziția prosumatorului;
- Sistemul a fost conceput astfel încât să afișeze în timp real datele de monitorizare, pe portul serial, la un calculator, atunci când nici funcția de server online sau server offline nu funcționează, din cauza unei probleme de firmware sau din lipsa operării unui echipament de rețea, precum un switch sau router;
- Sistemul este compatibil atât cu PC-urile care funcționează cu sistemele de operare Windows și Linux cât și cu sistemele mobile Android și IOS pentru telefoane și tablete, prin limbajul HTML 4.0 și mediul JavaScript/jQuerry;
- Consumul total al sistemului este mai mic de 2,5Wh;
- Sistemul este foarte flexibil prin faptul că poate fi modularizat și echipat cu senzori analogici sau digitali adiționali, pentru funcții suplimentare precum: monitorizarea meteo, monitorizarea scurgerilor de gaze sau monitorizarea incendiilor domestice.

CAP. 3 DEZVOLTAREA ȘI COMPATIBILIZAREA UNUI SISTEM INTELIGENT DE MONITORIZARE, MANAGEMENT ȘI CONTROL ENERGETIC OFF-GRID, CU SURSE REGENERABILE HIBRIDE

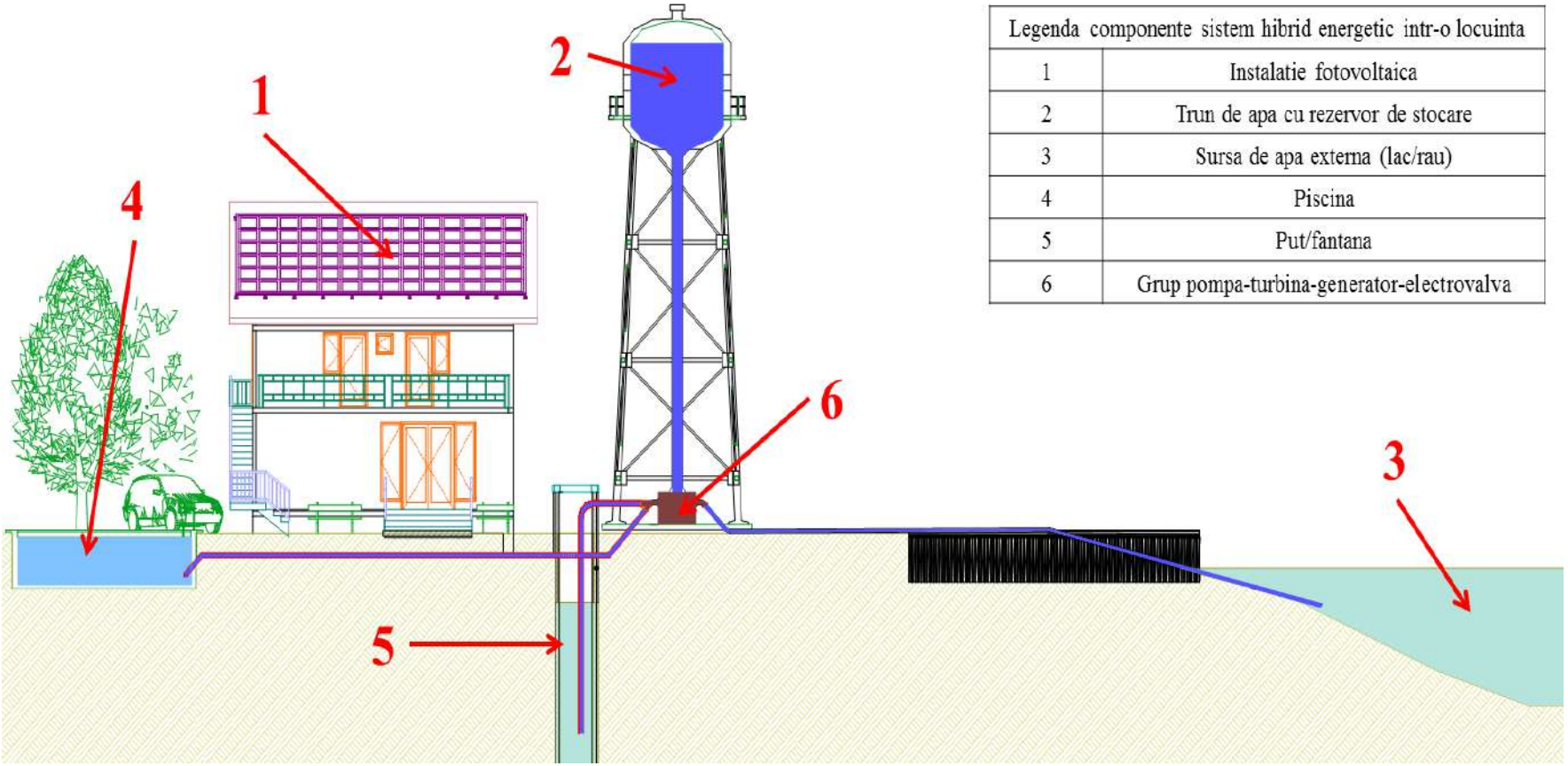
Sistemul MACHRES (Monitoring And Control of Hibrid Renewable Energy System), dezvoltat de către noi, este definit ca un sistem electronic pentru eficientizarea consumului electric al unei locuințe izolate, prin managementul surselor de energie regenerabilă solară și hidroelectrică și prin managementul consumatorilor mari. Sistemul electronic de monitorizare, management și control energetic, permite compatibilizarea între diverse entități generatoare de energie electrică, utilizând algoritmi de decizie, bazați atat pe informațiile primite de la senzori cat și pe parametrii prestabiliți deja dar și prin intermediul echipamentelor electrice selectate special pentru a îndeplini sarcina de comutare între cele două surse energetice.

Acest sistem (figura 3.2) este împărțit în trei subsisteme distincte:

- Sistemul electronic de monitorizare, management și control energetic;
- Sistemul fotovoltaic insularizat cu stocare în acumulatori;
- Sistemul hidroelectric insularizat cu multiple surse de alimentare cu apă.

Sistemul hidroelectric a fost elaborat să funcționeze doar pe timp de noapte pentru a suplini carențele energetice la momentul respectiv. Fiind reprezentat în principal de un bazin de stocare al apei, sistemul hidroelectric va acumula apă în bazin pe timp de zi, utilizând o parte din energia solară produsă, în timp ce noaptea, apa eliberată din bazin catre grupul hidro-generator va furniza o energie electrică de aproximativ 3,81kWh, pentru un total de trei ore. Acesta poate fi configurat să lucreze în două regimuri:

- Ca sistem de generare energie electrică în paralel pentru acumulatorii care au depășit 30% din procentul de descărcare;
- Ca sistem de preluare al consumului al unui aparat electrocasnic cu consum ridicat, utilizat în momentul respectiv, indiferent de starea de descărcare a acumulatorilor (ex: o mașină de spălat, un fier de călcat sau o plită electrică).



Legenda componente sistem hibrid energetic intr-o locuinta	
1	Instalatie fotovoltaica
2	Trun de apa cu rezervor de stocare
3	Sursa de apa externa (lac/rau)
4	Piscina
5	Put/fantana
6	Grup pompa-turbina-generator-electrovalva

Figura. 3.2. Secțiunea în plan a unei locuințe izolate cu elementele sistemului energetic hibrid și sursele de apă pentru sistemul pico-hidroelectric.

Pentru achiziționarea, stocarea și afișarea datelor cu privire la consumul electric al locuinței, microsistemul *master* a fost configurat să comunice cu microsistemul *slave* prin protocolul I2C. Microsistemul master a fost programat astfel încât să stocheze datele pe un card microSD local și să afișeze simultan aceste date prin portul serial de comunicație la un calculator, pe pagina locală a serverului HTML și în contul serverului client ThingSpeak [66] prin functia API [67]. Astfel proprietarii locuinței vor fi informați în timp real cu privire la consumul electric domestic, prin mijloace multiple. În figura 3.3 este reprezentată o diagramă de interfațare a server-ului master și comunicația realizată între mediul hardware și software.

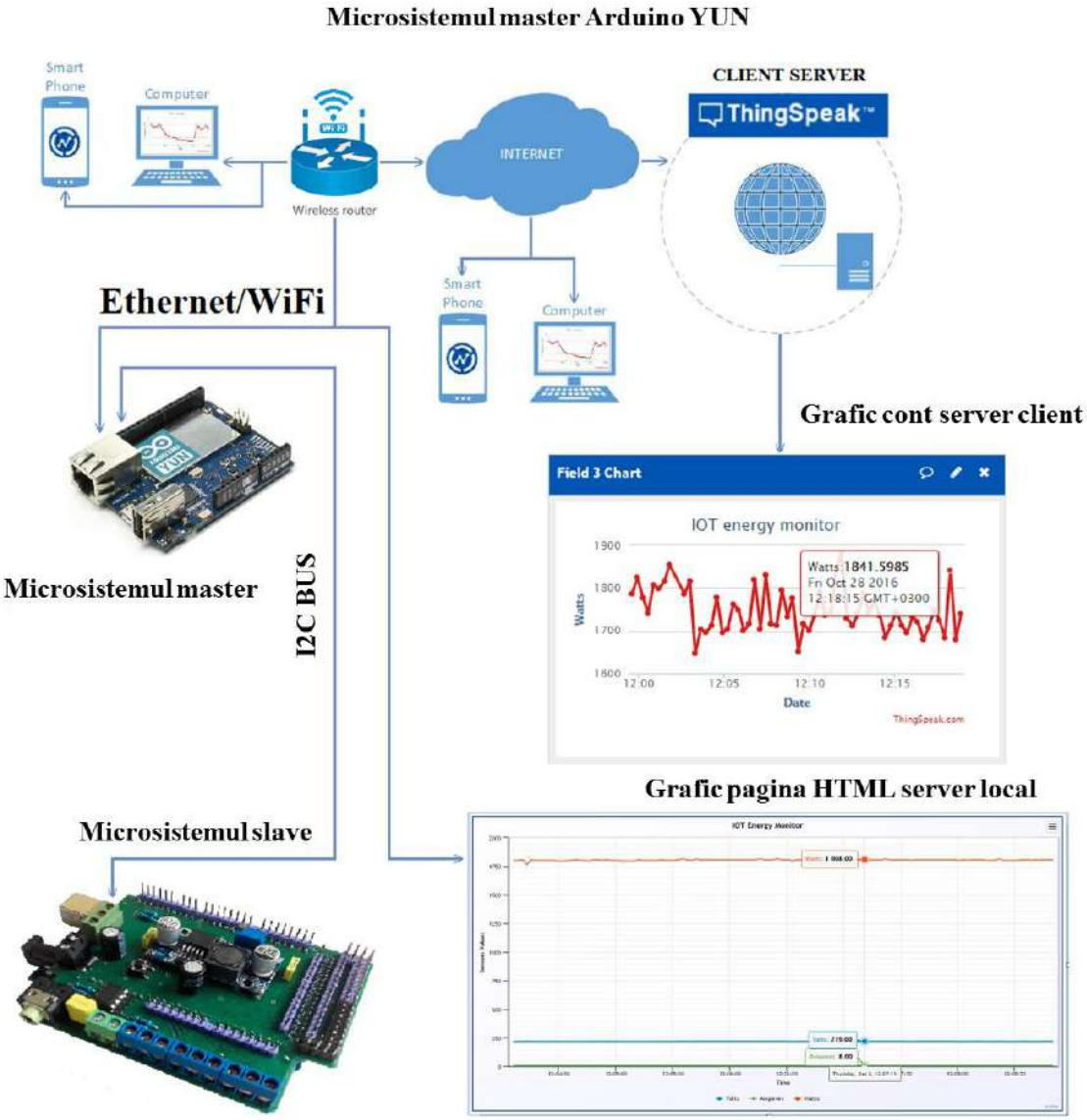


Figura. 3.3. Diagrama de interfațare hardware-software între microsistemul master și echipamentele ethernet pentru transmisia de date (afișare tensiune, curent și putere).

În figura 3.4 este descrisă o diagramă cu interfațarea echipamentelor și a senzorilor cu microsistemul slave, în care distingem două categorii de echipamente.

Echipamente cu date de intrare în microsistemul slave (achiziție de date):

- **CT (Current Transformer)** – reprezintă transformatorul de curent;
- **VT (Voltage Transformer)** – reprezintă transformatorul de tensiune;
- **WS (Water Sensor)** – reprezintă senzorul de nivel de apă al turnului WT;
- **RTC (Real Time Clock)** – reprezintă modulul de ceas în timp real pentru afișarea *timestamp*-ului (dată/oră/minut/secundă);
- **CC (Charge Controller)** – reprezintă încarcatoarele în curent continuu pentru acumulatori de la sistemul fotovoltaic și sistemul hidroelectric.

Echipamente cu date de ieșire de la microsistemul slave (execuție de proceduri):

- **LC (Large Consumer)** – reprezintă un consumator (ex: o mașină de spălat);
- **WP (Water Pump)** – reprezintă pompa de apă pentru umplere;
- **EV (Electrovalve)** – reprezintă electrovalva pentru eliberarea apei din turn;
- **RA (Relay Array)** – reprezintă modulul pentru comanda releelor pentru: LC, WP și EV.

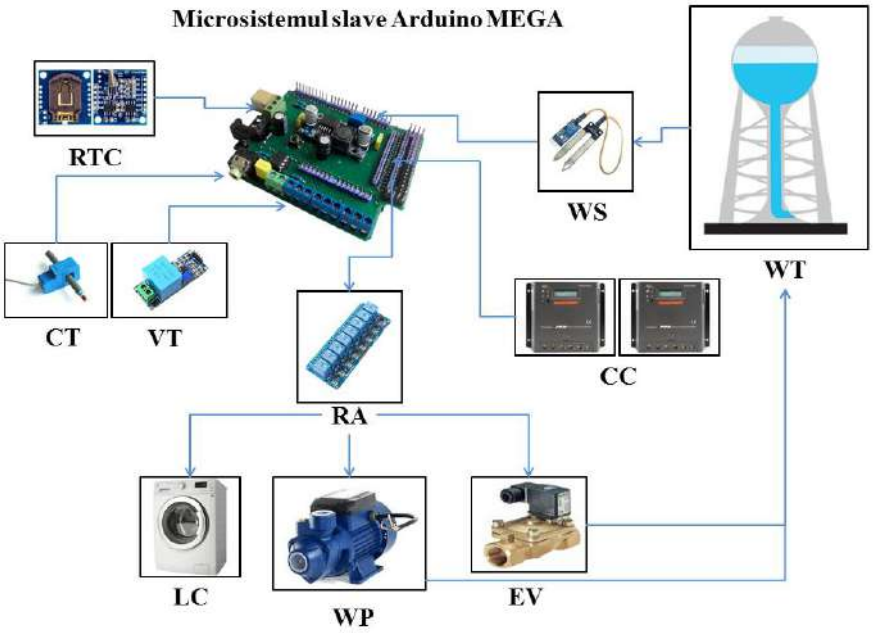


Figura. 3.4. Diagrama de interfațare hardware-hardware între microsistemul slave, echipamentele electrice și senzori.

Prin configurarea echipamentelor de monitorizare și control la nivel logic, și a sistemului fotovoltaic cu cel hidroelectric și echipamentele de putere aferente, va rezulta o schemă cu rol orientativ, de interfațare și funcționare a întregului sistem (figura 3.5).

Figura. 3.5. Schema simplificată de interfațare hardware-hardware între sistemul de monitorizare, management și control și sistemele energetice cu echipamentele aferente.

Astfel pentru dezvoltarea unui algoritm decizional automatizat care să asigure atât o funcționare corectă a sistemului, dar și o îmbunătățire vizibilă a eficientizării energetice a unei locuințe, am realizat o schemă-cadru cu blocurile tuturor echipamentelor care trebuie compatibilizate și care sunt interdependente (figura 3.6).

Pentru distingerea componentelor sistemului energetic global, s-au utilizat blocuri de diverse culori, astfel: **componentele** hardware de putere (blocurile roșii/portocalii), **componentele** hardware logice (blocurile albastre), **componentele** software (blocurile verzi).

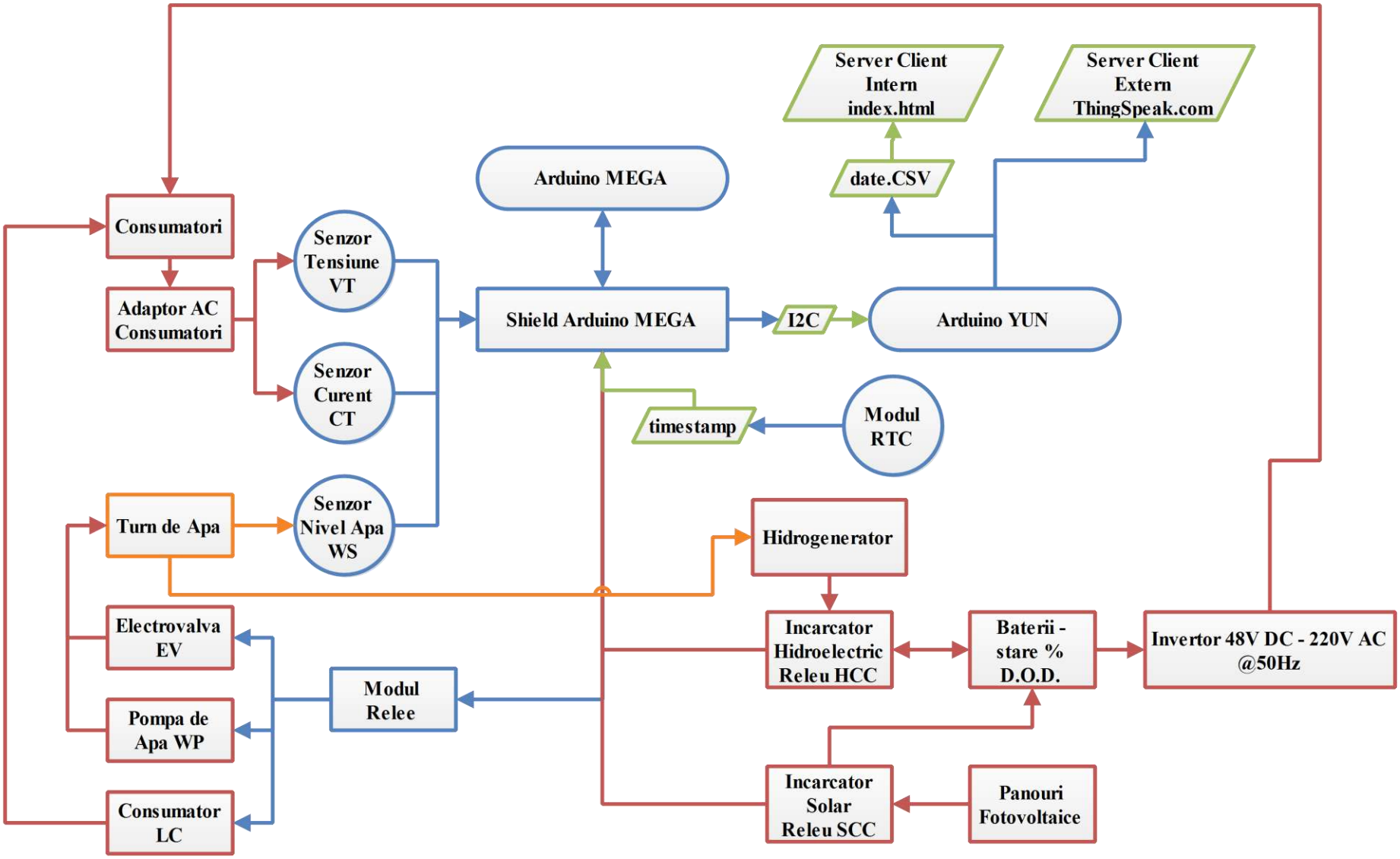


Figura. 3.6. Diagrama generală cu blocurile aplicației de monitorizare și management energetic pentru sistemul solar și hidroelectric.

În urma proceselor de documentare, cercetare și evaluare în laboratoarele din cadrul ICSTM [68], am dezvoltat un prototip electronic, optimizat pentru monitorizarea consumului electric și controlul sistemului hidroelectric compatibilizat cu un sistem energetic fotovoltaic (MACHRES), instalat la o locuință off-grid, alcătuindu-se astfel:

- Platforma electronică de monitorizare a puterii electrice înregistrate de la consumatorii electrocasnici ai locuinței (platforma reprezentată de microsistemul embedded Arduino YUN, cu rolul de unitate "**master**");
- Platforma electronică de management și control al sistemului hidroelectric și al consumatorilor electrocasnici mari, precum o masină de spalat (platforma reprezentata de microsistemul embedded Arduino MEGA, cu rolul de unitate "**slave**");
- Senzorii: de apă, de tensiune și de curent;
- Modulul RTC și modulul cu releele de comandă.

Microsistemul master poate fi configurat ca punct de acces, router sau server atât prin limbajul de programare open-source Arduino IDE [69], cât și prin pagina PHP cu panoul de administrare. În aplicația noastră, acesta a fost configurat să îndeplinească două roluri, ca server offline și server online, după cum urmează în descriere:

- **ca server offline**, acesta stochează datele primite de la terminalul slave pe un card SD, în fisiere CSV, după care citește aceste date din fișiere și le afișează în timp real sub formă de grafice pe o pagină HTML locală, care poate fi accesată atât de pe un PC, cât și de pe un telefon mobil sau tabletă;
- **ca server online**, acesta trimite datele în timp real de la terminalul slave direct către un server client extern, gratuit (ThingSpeak), ce poate fi accesat online de oriunde din lume, pentru a vizualiza valorile citite sub formă de grafice.

Potențialul ***microsistemului slave***, este exploatat aproape în limitele maxime, având roluri multiple, precum:

- citirea datelor prin ADC [75] de la senzorul de curent și tensiune;
- citirea datelor prin porturile digitale de intrare de la senzorul de apă, încărcătorul CC solar cu releu programabil (SCC), încărcătorul CC hidroelectric cu releu programabil (HCC);
- transmisia de informații prin protocolul I2C la microsistemul master;

- citirea datelor prin protocolul I2C a modulului RTC;
- controlul releelor pentru electrovalva turnului de apă, pompa de apă, consumator electrocasnic cu consum mare (mașina de spălat).

Pentru a beneficia de toate avantajele acestui microsistem, am proiectat și dezvoltat în cadrul laboratorului pentru prototipare de cablaje imprimate electronice al [76], un *shield* modular, specializat, care să faciliteze o interfațare mai usoară cu modulele externe, dar și o filtrare a datelor citite de la senzori (figura 3.9). Acest circuit electronic a fost proiectat într-un program de tip Cad Design (EagleCAD [77]) pentru cablaje imprimate și debitat cu masina CNC de prototipare cablaje imprimate de la LPKF , modelul Protomat S103 [78].

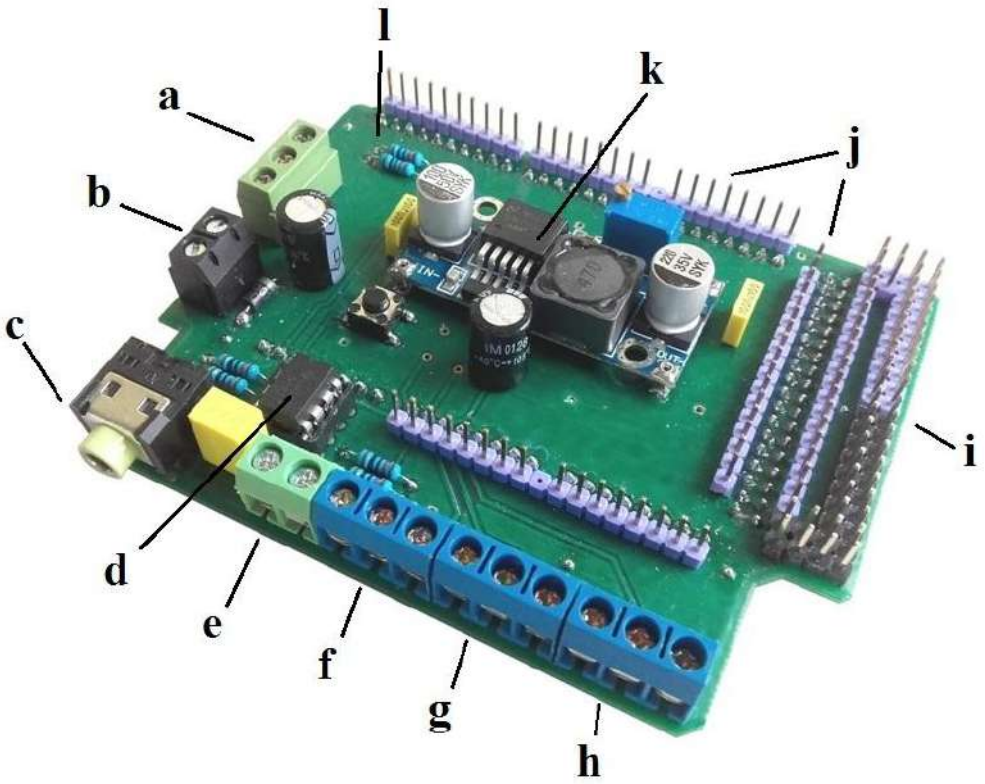


Figura. 3.9. Figura descriptivă a modulelor și a conectorilor de pe shield-ul dedicat: **a**-conector port I2C (SDA, SCL si GND) la microsistemul master; **b**-conector alimentare externă CC dedicată; **c**-conector jack transformator de curent CT; **d**-amplificator operațional cu filtrarea semnalului al senzorului de curent; **e**-conector opțional ptr. senzorul analogic cu offset la 2,5V_{CC}; **f**-conector transformator de tensiune VT; **g**,**h**-conectori opționali senzori analogici fără offset; **i**-conectori 5V_{CC} si GND; **j**-conectori pini digitali I/O; **k**-modul sursă reglabilă în comutație externă de tensiune CC; **l**-rezistențe pull-up pentru portul I2C.

Sistemul fotovoltaic insular pe care s-au realizat achizițiile de date, măsurătorile și testele, este alcătuit din următoarele echipamente:

- Modulele fotovoltaice integrate în clădire;
- Acumulatorii pentru stocarea energiei fotovoltaice, localizați la subsolul clădirii;
- Sistemul BMV pentru monitorizarea acumulatorilor;
- Regulatorul de încărcare CC al acumulatorilor plumb acid;
- Invertorul sistemului fotovoltaic insular.

Sistemul hidroelectric (figura 3.35) are rolul auxiliar de a suplimenta deficiențele energetice pe timp de noapte la o locuință independentă din punct de vedere energetic. Sistemul hidroelectric implementat în cadrul sistemului energetic general insular, este complementar sistemului energetic fotovoltaic și este alcătuit din următoarele **componente**:

- Turnul de apă pentru stocare;
- Pompa de apă centrifugală;
- Grupul turbină-generator;
- Regulatorul de încărcare CC pentru acumulatori;
- Electrovalva;
- Surse de apă pentru alimentare.

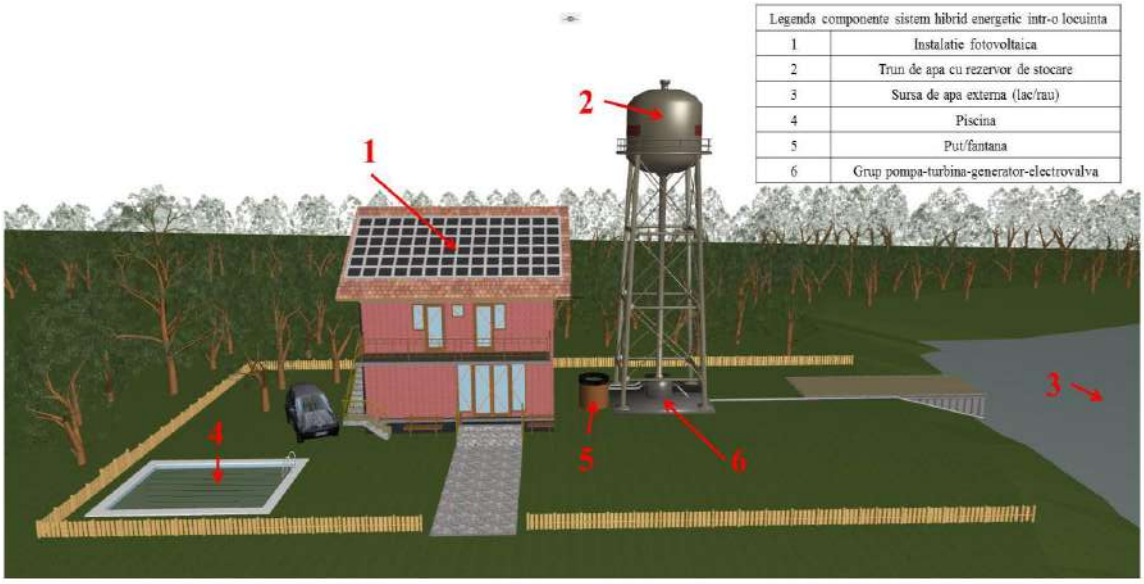


Figura. 3.35. Imaginea de ansamblu a unei locuințe/clădiri ce are integrată un sistem energetic hibrid, compus dintr-o platformă fotovoltaică cu stocare în acumulatori și un sistem pico-hirdoelectric care se alimentează din trei surse cu apă: lac, piscină și puț.

CAP. 4 ACHIZIȚIA ȘI MODELAREA DATELOR EXPERIMENTALE, MĂSURĂTORI ȘI CALCULE ALE SISTEMULUI OFF-GRID STUDIAT

Pentru a valida posibilitatea de implementare și funcționalitate a sistemului de monitorizare, management și control energetic cu surse regenerabile hibride (MACHRES), s-au realizat mai multe procese de simulare, experimentare, cercetare și analiză, în condiții reale, asupra elementelor cheie constitutive precum:

- Propunerea unui model de circuit de simulare a semnalului analogic și de interpretare a rezultatelor obținute;
- Reprezentarea și modelarea matematică a semnalului analogic;
- Realizarea de măsuratori experimentale la un consumator electrocasnic rezistiv și calculele aferente;
- Compararea datelor achiziționate în paralel de la sistemul hardware dezvoltat și de la un multimetru industrial de măsurare a puterii active;
- Reprezentarea grafică a măsurătorilor prin aplicațiile software dezvoltate;
- Construcția algoritmilor pentru modul de funcționare în caz real al sistemului MACHRES;
- Calcule utilizate în dimensionarea sistemului fotovoltaic și hidroelectric;
- Achiziția, reprezentarea și interpretarea datelor colectate de la sistemul BMV cu privire la regimul încărcării/descărcării acumulatorilor, în funcție de sezon;
- Bilanțul energetic al aparatelor electrocasnice într-o clădire rezidențială off-grid;
- Studiu de caz (profilul energetic al prosumatorului): un exemplu tipic de familie compusă din doi adulți și un copil;
- Calculul financiar privind investiția în componentele sistemului.

Dezvoltarea prototipului MACHRES a presupus mai multe etape secvențiale, ***prima etapă*** debutând cu simularea sofware teoretică și caracterizarea semnalului analogic de la senzorul CT, utilizând un circuit electronic de condiționare. Aceasta a reprezentat o etapă esențială pentru dezvoltarea aplicației de măsurare a puterii electrice la locuința respectivă, prin intermediul mircosistemului slave.

În figura 4.1 este reprezentată o captură cu simularea software a circuitului electronic de condiționare pentru parametrizarea semnalului analogic a transformatorului de curent, în vederea procesării în valori numerice de microsistemul slave. Punctul forte al simulării îl

reprezintă amplificatorul operațional LM358 în configurație, mai putin tipică, de neinversor-sumator-atenuator [123]. Aceasta configurație specifică a fost preferată pentru minimizarea spațiului și a componentelor electronice de pe shield-ul microsistemului slave, dar și pentru a îndeplini cele trei criterii necesare pentru prelucrarea semnalului analogic:

- modificarea offset-ului semnalului analogic la 2,5V_{CC} pentru încadrarea valorilor minime si maxime ale semnalului, in limitele ADC-ului plăcii de achiziție;
- diminurea amplitudinii semnalului de ieșire în marja maximă de sub 5$V_{vf\text{-}vf}$ pentru a-l încadra în specificațiile electrice ale portului de intrare analogic aferent plăcii de achiziție;
- filtrarea semnalului analogic cu componente pasive (condensatori ceramici) pentru a elimina zgomotul și vârfurile de tensiune nedorite la achiziția de date.

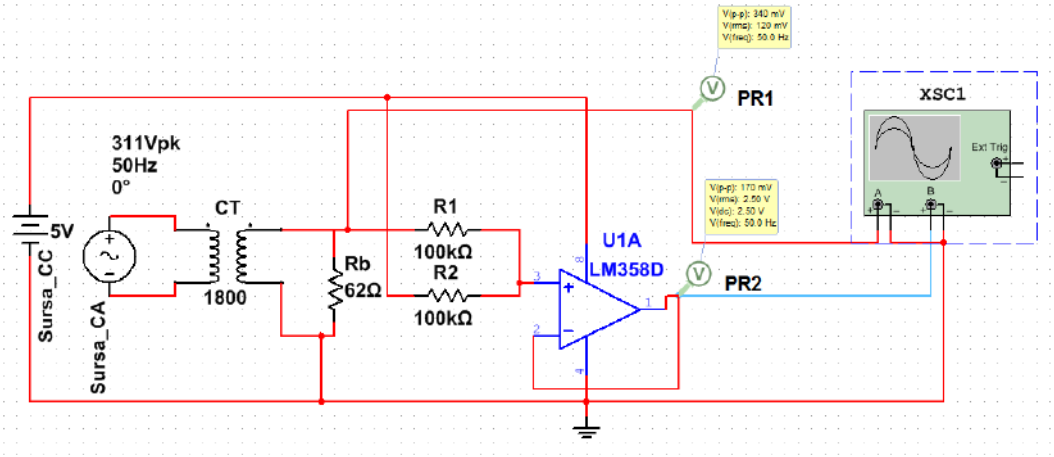


Figura. 4.1. Simularea software teoretică în Multisim, a unui circuit electronic care generează, prelucrează și masoară valoarea *rms* a unui semnal sinusoidal.

În simularea circuitului de condiționare, s-a utilizat o sursa de curent continuu de 5V, o sursă de curent alternativ de 220V și un transformator de curent *CT*, cu parametri similari celui real, conectat în paralel cu rezistorul de sarcină R_b. Pentru realizarea offset-ului, rezistoarele R1 și R2 au fost conectate în circuit ca divizor de tensiune între cele două tipuri de surse, având valori mari pentru a minimiza consumul de la placa de achiziție.

Achiziția semnalelor de intrare (rosu) și de ieșire (albastru) din circuitul electronic de condiționare sunt afișate cu ajutorul osciloscopului virtual XSC1 într-o perioadă de 50ms. De asemenea se poate observa offset-ul dintre cele două semnale, care confirmă funcționarea conform cerințelor noastre, a circuitului dezvoltat (figura 4.2).

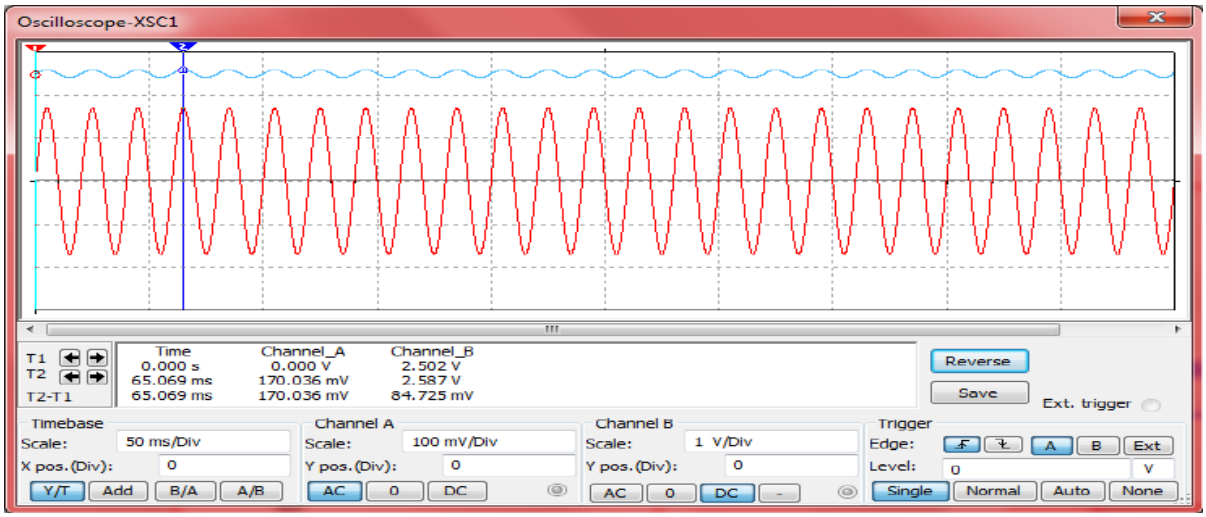


Figura. 4.2. Graficul cu rezultatele simulării teoretice în Multisim pentru semnalul de intrare (roșu) în circuit și cel de ieșire (albastru) din circuit, capturate de instrumentul virtual XSC1.

Cea de-***a doua etapa*** experimentală este marcată de realizarea de măsurători în condiții de laborator cu sistemul MACHRES, asupra unui consumator ideal pur rezistiv (setat la treapta maximă), pentru verificarea și eventuala calibrare a parametrilor de citire și calcul din algoritmul de procesare.

O astfel de măsurătoare preliminară a fost elaborată cu un osciloscop conectat la ieșirea semnalului din înfășurarea secundară a senzorului de curent CT și la ieșirea semnalului din circuitul de condiționare către portul ADC de pe placa de achiziție a sistemului MACHRES (figura 4.3).

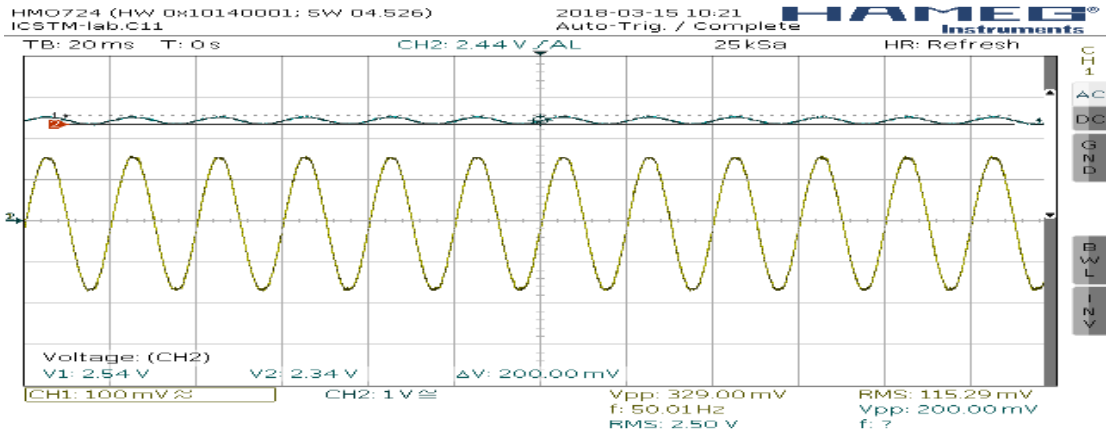


Figura. 4.3. Măsuratoarea practică cu osciloscopul de laborator a semnalului de intrare (fără offset, 329 $mV_{vf\text{-}vf}$) și a semnalului de ieșire (cu offset 2,5V și atenuat, 200 $mV_{vf\text{-}vf}$), al senzorului de curent SCT-013-030 conectat la un consumator pur rezistiv.

Analiza semnalului realizată pe mai multe perioade într-o bază de timp de 20ms, confirmă rezultatele teoretice discutate anterior în ceea ce privește corectitudinea valorii rms, prin calcule.

Măsuratorile realizate cu sistemul MACHRES, pe un consumator ideal pur rezistiv, au fost confruntate în paralel (perechi per unități de măsură) cu măsurătorile unui multimetru industrial de categoria IV, certificat și calibrat conform standardului IEC 61010 [125], în tabelul 4.1.

Tabelul 4.1. Măsurători paralele cu multimetrul Chauvin Arnoux F607 versus MACHRES.

n	***Măsurători paralele-perechi (Curent, Tensiune și Putere)***					
	(a) – eșantioane multimetru, (b) – eșantioane MACHRES (slave)					
	I_{ef}		U_{ef}		***P***	
-	***a***	***b***	***a***	***b***	***a***	***b***
1	*8.19*	*8.186*	*217*	*217.6*	*1777*	*1781*
2	*8.2*	*8.19*	*217*	*217.8*	*1779*	*1783*
3	*8.19*	*8.185*	*218*	*218.2*	*1785*	*1785*
4	*8.19*	*8.185*	*218*	*218.3*	*1785*	*1786*
5	*8.19*	*8.185*	*217*	*217.9*	*1777*	*1783*
6	*8.19*	*8.186*	*217*	*217.8*	*1777*	*1782*
7	*8.19*	*8.186*	*217*	*217.7*	*1777*	*1782*
8	*8.19*	*8.185*	*217*	*217.7*	*1777*	*1781*
9	*8.18*	*8.178*	*218*	*218.1*	*1783*	*1783*
10	*8.18*	*8.178*	*218*	*218.2*	*1783*	*1784*
11	*8.18*	*8.178*	*218*	*218.1*	*1783*	*1783*
12	*8.18*	*8.177*	*217*	*217.9*	*1775*	*1781*
13	*8.19*	*8.186*	*218*	*218*	*1785*	*1784*
14	*8.19*	*8.185*	*217*	*217.9*	*1777*	*1783*
15	*8.18*	*8.181*	*217*	*217.8*	*1775*	*1781*
16	*8.18*	*8.184*	*218*	*218.1*	*1783*	*1784*
17	*8.18*	*8.183*	*218*	*218.3*	*1783*	*1786*
18	*8.18*	*8.183*	*218*	*218.4*	*1783*	*1787*
19	*8.18*	*8.182*	*218*	*218.2*	*1783*	*1785*
20	*8.18*	*8.184*	*218*	*218.4*	*1783*	*1787*
SSD	***0.006***	***0.003***	***0.51***	***0.244***	***3.606***	***1.959***

Deși măsurătorile au fost efectuate pe un interval de câteva ore, am sintetizat datele înregistrate sub forma a 20 de eșantioane relevante pentru evaluarea nivelului de abatere de la media setului de date, utilizând metoda SSD (*Sample Standard Deviation*), conform relației (4.9):

$$SSD_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \qquad (4.9)$$

, unde n este numărul de eșantioane, $\bar{x}$ este media fiecărui eșantion, iar x_i este valoarea fiecărui eșantion.

În figura 4.4, este descris un grafic comparativ cu o serie de 60 de eșantioane reprezentative din măsuratorile realizate cu cele două echipamente menționate anterior, cu privire la puterea electrică măsurată în circuit.

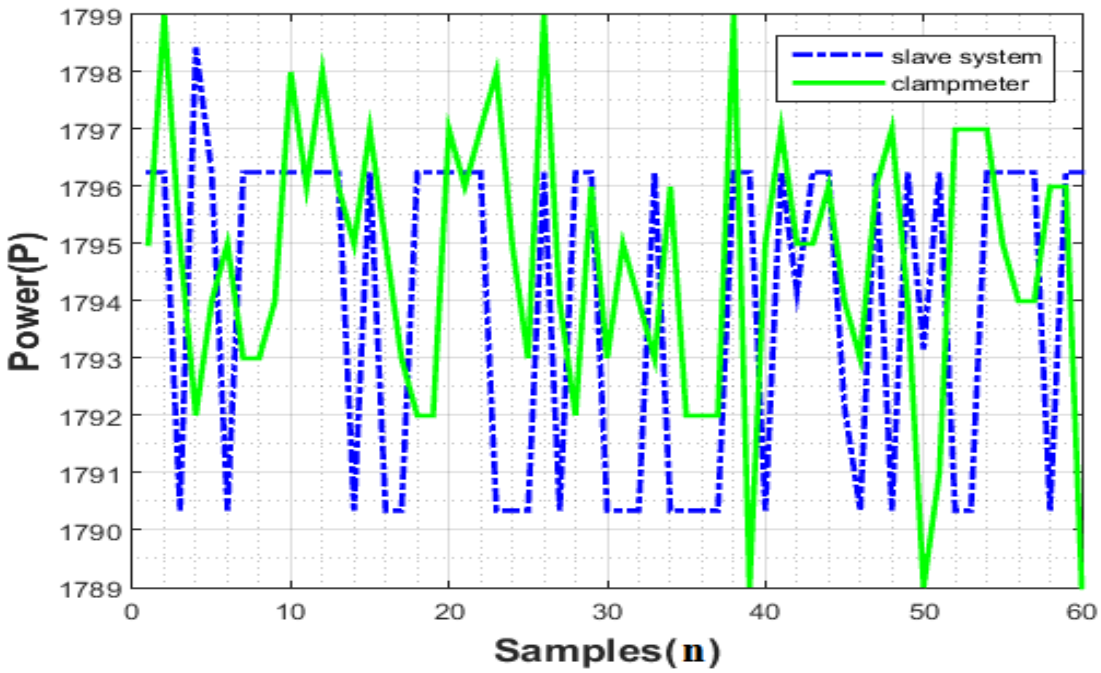


Figura. 4.4. Graficul comparativ între puterea măsurată cu sistemul slave și multimetru.

Atât din grafic, cât și din tabel, concluzionăm că măsurătorile înregistrate sunt foarte apropiate, luând ca reper reprezentativ de calibrare, multimetrul profesional industrial.

Măsuratorile prezentate au caracter intermediar, fiind reluate prin testări succesive și corecții de eroare operate în algoritmul de prelucrare al informațiilor, pentru o îmbunatatire a rezultatelor afișate, ca dezvoltare ulterioară a sistemului.

A treia etapa de dezvoltare a sistemului, este reprezentată de calculul matematic al sistemului asupra puterii active, bazat pe măsurătorile efectuate și afișarea datelor achiziționate pentru accesul și informarea prosumatorului în timp real, asupra puterii electrice active absorbite în circuit, la momentul respectiv.

În concluzie, puterea activă poate fi exprimată ca [127]:

$$P_{med} = \frac{1}{T}\int_0^T p(t)dt = \frac{U_{vf} I_{vf}}{2} cos\varphi = U_{rms} \cdot I_{rms} \cdot cos\varphi = U \cdot I \cdot cos\varphi \qquad (4.14)$$

, astfel în sistemul abordat unde consumatorul este rezistiv ideal și atât tensiunea (*U*) cât și curentul (*I*) sunt în fază, iar factorul de putere este 1, valoarea puterii aparente în cazul de față este egală cu valoarea puterii active, relația finală fiind:

$$S = P = U \cdot I \quad (4.15)$$

După cum am discutat în capitolele anterioare, sistemul MACHRES dispune de mai multe opțiuni de afișare a datelor, fie în serverul intern offline fie în serverul client online [128].

În figurile 4.6(**a**),4.6(**b**) și 4.6(**c**) sunt plotate pe serverul online pe un interval de 15 minute, valorile (tensiunii, curentului și puterii calculate) trimise de către microsistemul master, valori care sunt achiziționate de la microsistemul slave, în timp real. Pornirea consumatorului este evidențiată în grafice, unde observăm o creștere bruscă de la valoarea 0 citită, la cea inițială de funcționare.

Avantajul serverului offline este că aceste date rămân permanent stocate și pot fi accesate oricând de prosumator, în timp ce datele online afișate pe serverul client, sunt volatile și nu oferă opțiunea stocării acestora, decât contra cost.

Pe pagina HTML a sistemului offline, unde sunt afișate cele trei valori înregistrate, am implementat opțiunea de salvare a graficului ca fișier cu format jpeg sau pdf, astfel utilizatorul nu este nevoit să caute manual, după dată, un set specific de valori în fisierul datalog (CSV) din microsistemul master.

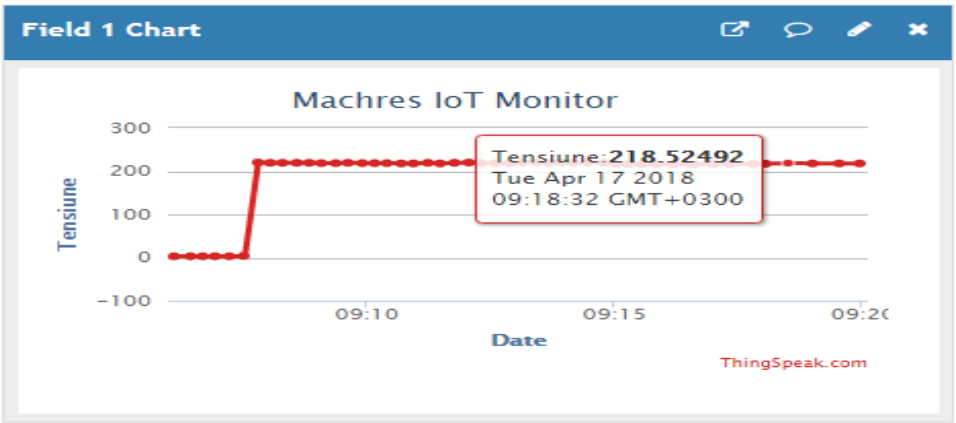


Figura. 4.6(a). Afișare server ThingSpeak, câmpul cu valorarea tensiunii (V) înregistrate.

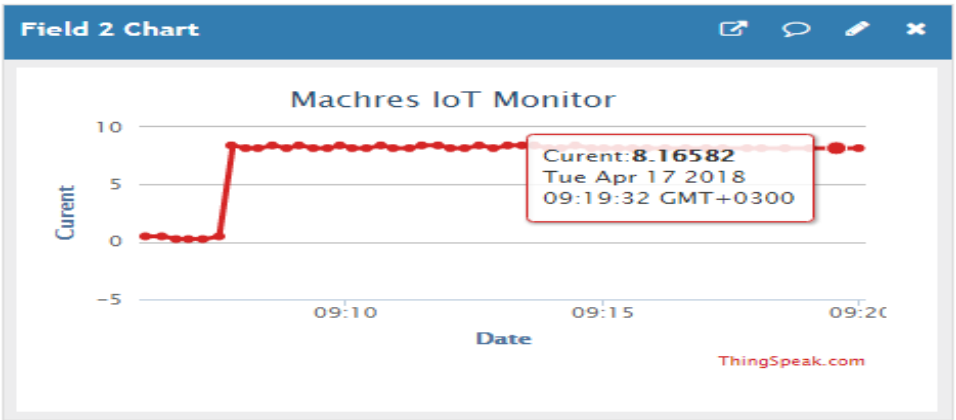


Figura. 4.6(b). Afișare server ThingSpeak, câmpul cu valorarea curentului (A) înregistrat.

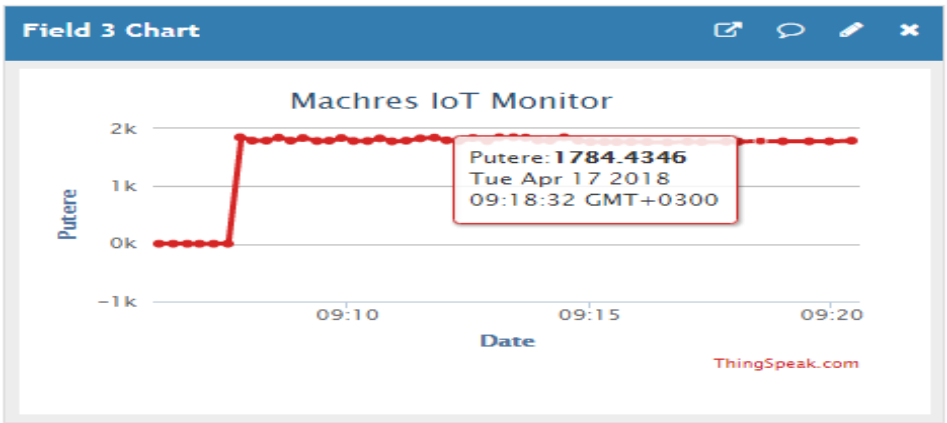


Figura. 4.6(c). Afișare server ThingSpeak, câmpul cu valorarea puterii (W) înregistrate.

În paralel este prezentată o captură (figura 4.7) cu monitorizarea și afișarea furnizată de serverul master offline, pe o pagină HTML care poate fi accesată fie de pe un calculator, fie de pe un telefon mobil, sau tabletă. (figura 4.8).

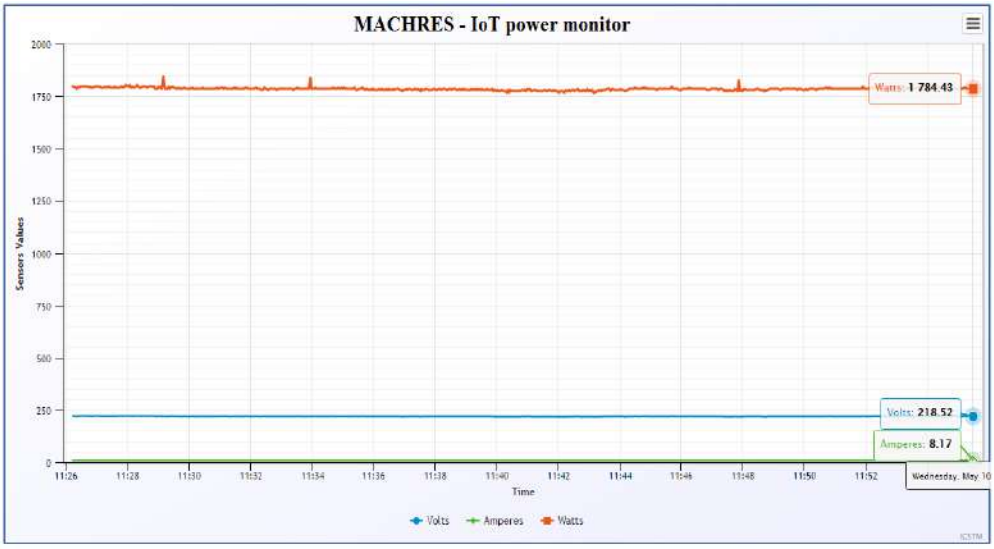


Figura. 4.7. Afișare pe pagina HTML a serverului master offline, cu valorile citite de la microsistemul slave (interogare server cu calculator).

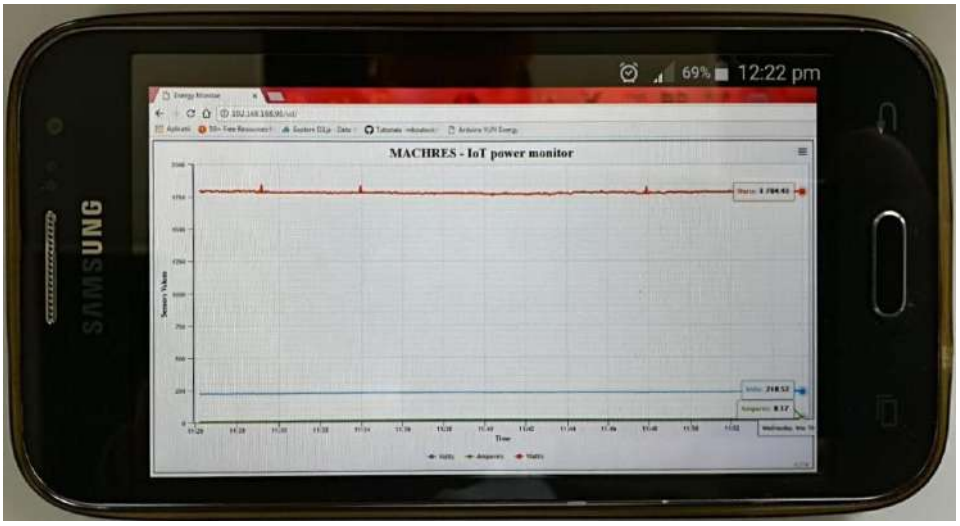


Figura. 4.8. Afișare pe pagina HTML a serverului master offline, cu valorile citite de la microsistemul slave (interogare server cu telefon mobil).

Microsistemul master a fost configurat să îndeplinească cinci funcții principale:

- să achiziționeze datele binare prin portul I2C de la microsistemul slave și să le transforme în date numerice (putere, tensiune și curent);
- să stocheze pe un card SD datele numerice sub forma fișierelor CSV cu *timestamp*-ul înregistrărilor;
- să afișeze grafic pe o pagină web locală cele trei valori citite din fisierele CSV;

- să afișeze datele numerice de la senzorii de curent și de tensiune pe portul serial (9600 bps);
- să trimită datele numerice, în timp real, pe un server client extern (ThingSpeak) care să afișeze aceste date sub formă de grafice separate accesibile oriunde online.

Aceste funcții au fost implementate de către noi pentru a veni în ajutorul prosumatorului (care produce și consumă în același timp energie electrică), informându-l cu privire la consumul aparatelor electrocasnice din propria gospodărie. Acest lucru ajută la responsabilizarea, modelarea și conștientizarea rezidenților din clădirea off-grid asupra obiceiurilor de consum electric zilnic, pentru necesitățile umane, versus energia electrică produsă.

Microsistemul slave a fost configurat să îndeplinească șapte funcții principale:

- să achiziționeze datele analogice de la senzorii de curent și de tensiune;
- să achiziționeze datele digitale de la senzorul de nivel de apă;
- să achiziționeze datele digitale de la încărcătorul CC solar cu releu programabil (SCC) și de la încărcătorul CC hidroelectric cu releu programabil (HCC);
- să achiziționeze data și timpul de la modulul RTC, prin protocolul I2C;
- să trimită datele numerice de la senzorii de curent și de tensiune prin protocolul I2C, la microsistemul master;
- să controleze electrovalva (EV), pompa de apă (WP) și un consumator mare (LC);
- să afișeze datele numerice de la senzorii de curent și de tensiune pe portul serial (9600 bps).

Microsistemul slave reprezintă piesa de rezistență a sistemului electronic global și a sistemului energetic. Rolul acestuia este unul foarte important și anume de a procesa toate informațiile primite de la dispozitivele de intrare, și de a executa anumite proceduri din algoritm, prin dispozitivele de ieșire, condiționate de informațiile primite.

Pentru execuția funcțiilor automate în timpul zilei/nopții, s-au constituit în algoritmul microsistemului slave, patru cazuri condiționale distincte.

- **Cazul 1** – dacă la ora prestabilită din RTC există radiație solară sesizată de încarcatorul CC solar cu releu programabil (SCC) și dacă senzorul de nivel de apă (WS) sesizează că turnul de apă este gol – atunci electrovalva (EV) este închisă și

consumatorul mare (LC) dezactivat, iar pompa de apă (WP) va porni până când senzorul de nivel de apă (WS) va sesiza umplerea toatală a turnului de apă;

- **Cazul 2** - dacă la ora prestabilită din RTC există radiație solară sesizată de încărcătorul CC solar cu releu programabil (SCC) și dacă senzorul de nivel de apă (WS) sesizează că turnul de apă este plin – atunci va porni doar consumatorul mare (LC), implicit mașina de spălat;
- **Cazul 3** - dacă la ora prestabilită din RTC nu există radiație solară sesizată de încărcătorul CC solar cu releu programabil (SCC) și dacă senzorul de nivel de apă (WS) sesizează că turnul de apă este gol – atunci toate dispozitivele sistemului hidroelectric vor fi dezactivate pentru a facilita doar încarcarea acumulatorilor sistemului fotovoltaic pe parcursul întregii zile;
- **Cazul 4** - dacă la ora prestabilită din RTC nu există radiație solară sesizată de încărcătorul CC solar cu releu programabil (SCC) și dacă senzorul de nivel de apă (WS) sesizează că turnul de apă este plin – atunci toate dispozitivele sistemului hidroelectric vor fi dezactivate pentru a facilita doar încărcarea acumulatorilor sistemului fotovoltaic pe parcursul întregii zile; în timp ce turnul de apă va fi folosit pe parcursul nopții pentru încărcarea acumulatorilor când încărcatorul CC hidroelectric cu releu programabil (HCC) sesizează dacă acumulatorii au atins un prag de descărcare (DOD) de maximum 30%.

Pentru a putea realiza o analiză asupra stării de încarcare și descărcare a bancului de acumulatori de la sistemul fotovoltaic studiat, am executat o achiziție de date și o reprezentare a lor pe două perioade diferite, respectiv lunile iunie-iulie ale anului 2017 și luna noiembrie 2016. Intervalul de timp pe care s-au făcut măsurătorile a fost de 7 zile, unde în timpul zilei a avut loc un proces de încărcare al acumulatorilor cu energie solară, iar pe timpul nopții, un proces de descărcare prin 12-20 consumatori reprezentați de niște stâlpi de iluminat cu tehnologie LED, cu un consum unitar de 50W, instalați în campusul universitar. Acest sistem smart-grid insular este în întregime automatizat pentru eficientizarea energetică, întrucât consumatorii au integrat prin construcție, un circuit electronic cu senzori fotoelectrici care permit un consum adaptabil în funcție de gradul de iluminare naturală în zona respectivă a fiecărui stâlp. Puterea totală a acestora este de aproximativ 0,6kW respectiv 1kW. În scenariul de vară, conform graficelor, constatăm că toate zilele au fost însorite, păstrându-se un tipar asemanator a stării de încarcare a acumulatorilor pana la 100% (figura 4.11; figura 4.12; figura 4.13; figura 4.14).

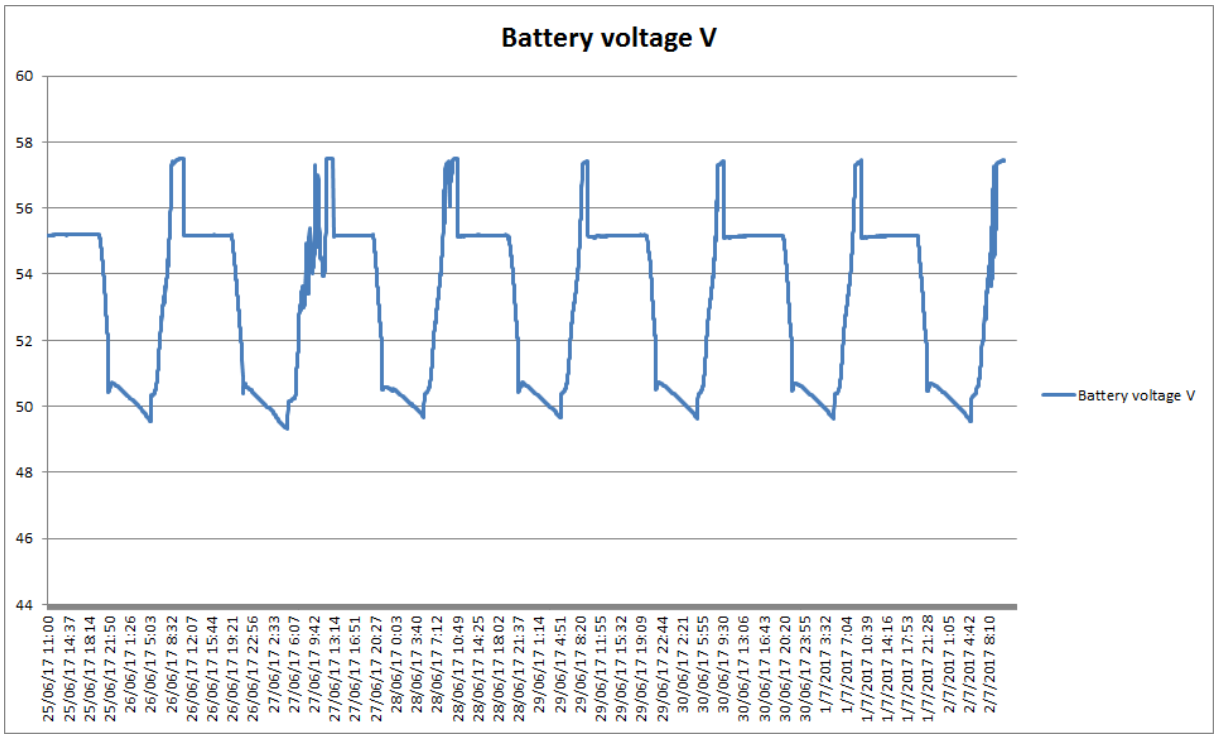


Figura. 4.11. Reprezentarea grafică a tensiunii înregistrate la bancul de acumulatori, pe o perioadă de 7 zile pentru lunile iunie-iulie 2017.

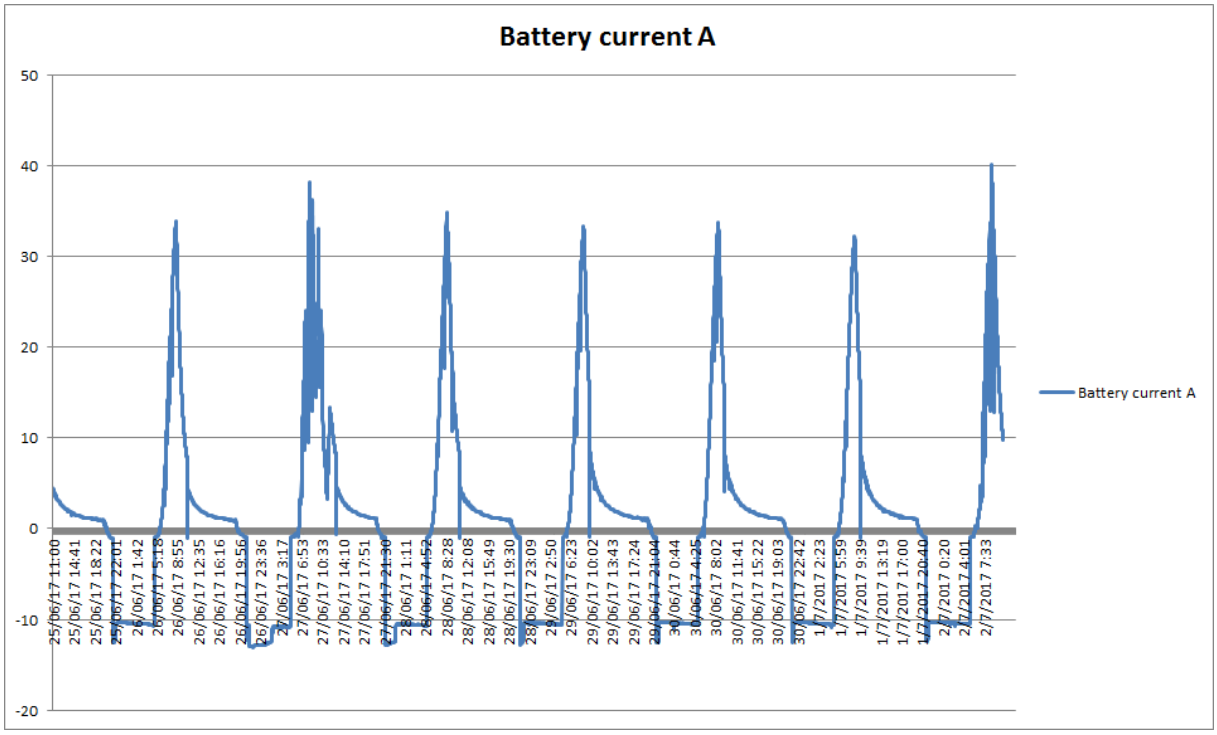


Figura. 4.12. Reprezentarea grafică a curentului înregistrat la bancul de acumulatori, pe o perioadă de 7 zile pentru lunile iunie-iulie 2017.

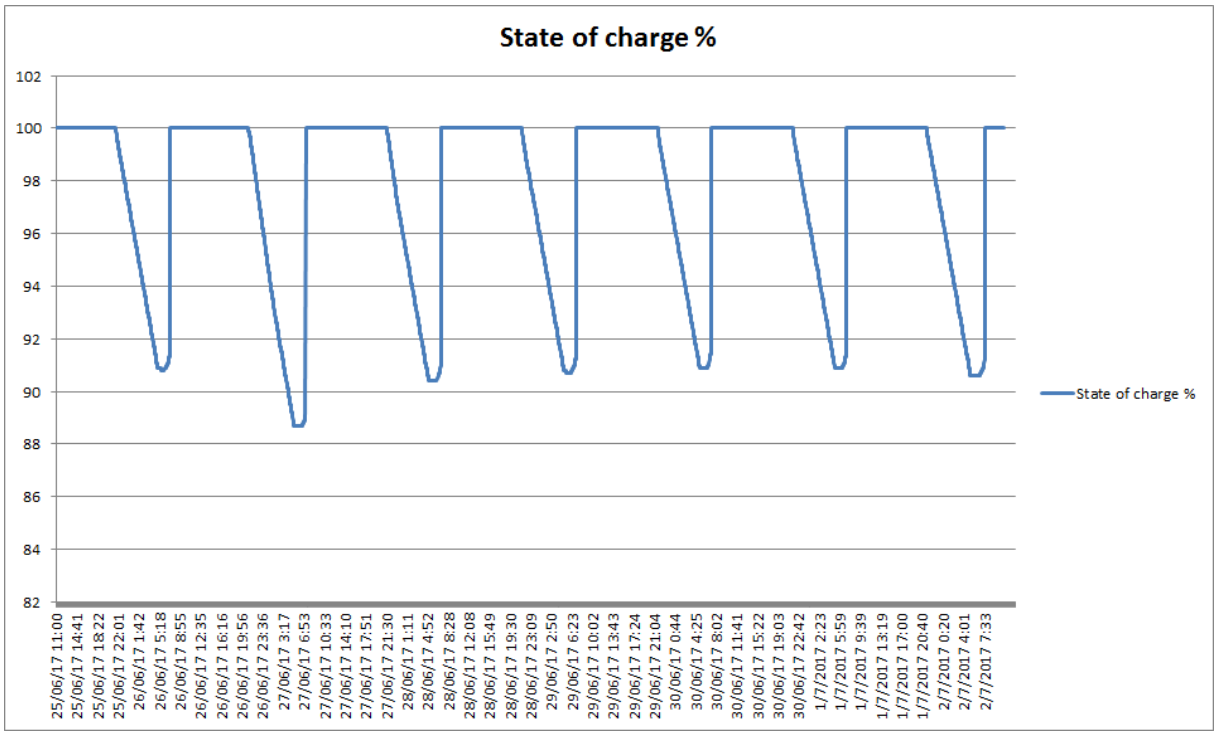


Figura. 4.13. Reprezentarea grafică a stării de încărcare/descărcare înregistrate la bancul de acumulatori, pe o perioadă de 7 zile pentru lunile iunie-iulie 2017.

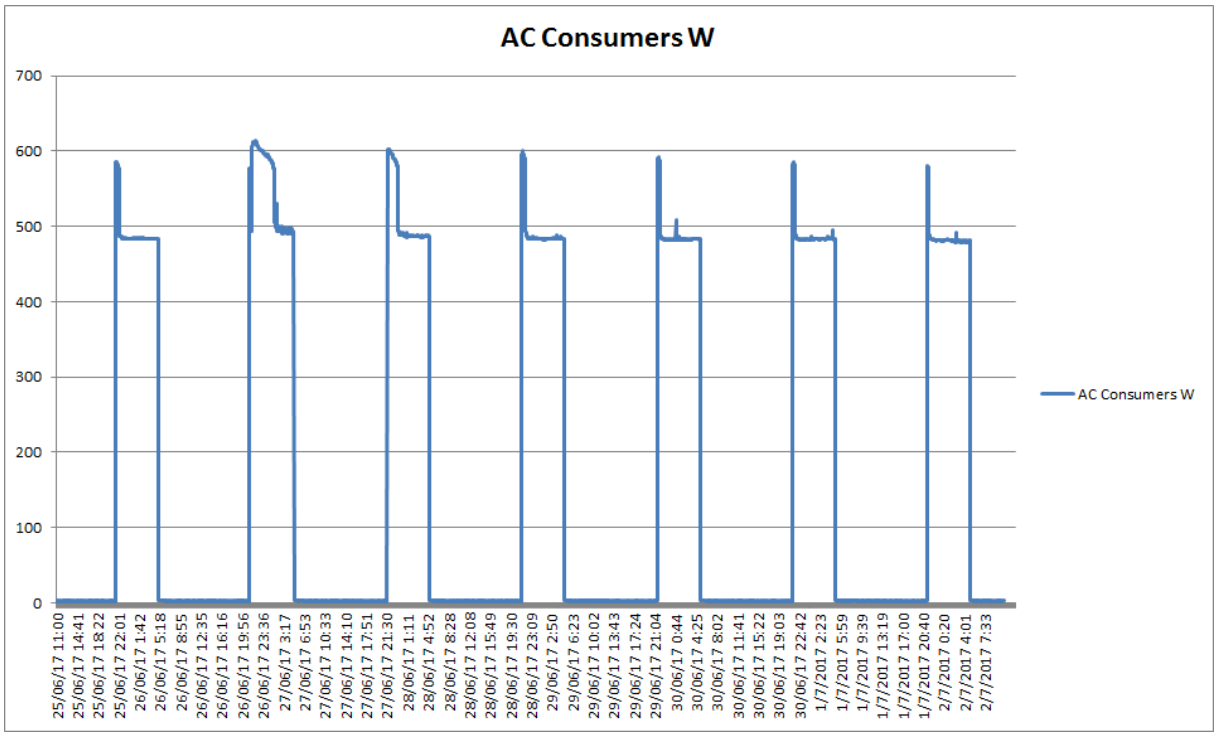


Figura. 4.14. Reprezentarea grafică a puterii consumate înregistrate la bancul de acumulatori, pe o perioadă de 7 zile pentru lunile iunie-iulie 2017.

Pentru scenariul de toamnă, conform datelor, se poate observa o diferență notabilă a regimului de încărcare al acumulatorilor, unde 4 zile au fost însorite iar acumulatorii au fost încărcați până la capacitatea maximă, în timp ce pentru 3 zile consecutive a fost înnorat, astfel în acest interval de timp, capacitatea acumulatorilor a rămas stabilizată la aproximativ 58% (figura 4.15; figura 4.16; figura 4.17; figura 4.18).

Ca masură de protecție, sistemul smart-grid insular a limitat consumul stâlpilor de iluminat la câteva ore pe noapte.

Un aspect care trebuie menționat, este faptul ca în scenariul de vară (2017), au funcționat 12 consumatori (însumând o putere absorbită de 600W) în timp ce pentru scenariul de toamnă (2016), au funcționat 20 de consumatori (însumând o putere absorbită de 1kW).

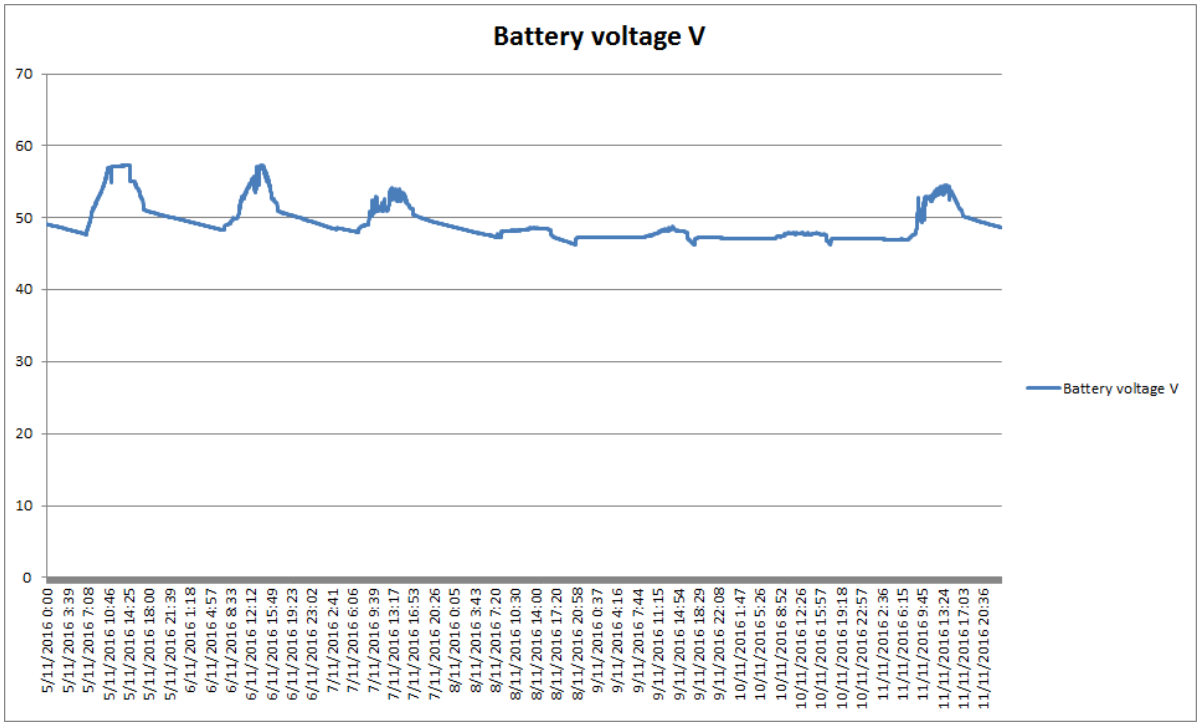


Figura. 4.15. Reprezentarea grafică a tensiunii înregistrate la bancul de acumulatori, pe o perioadă de 7 zile pentru luna noiembrie 2016.

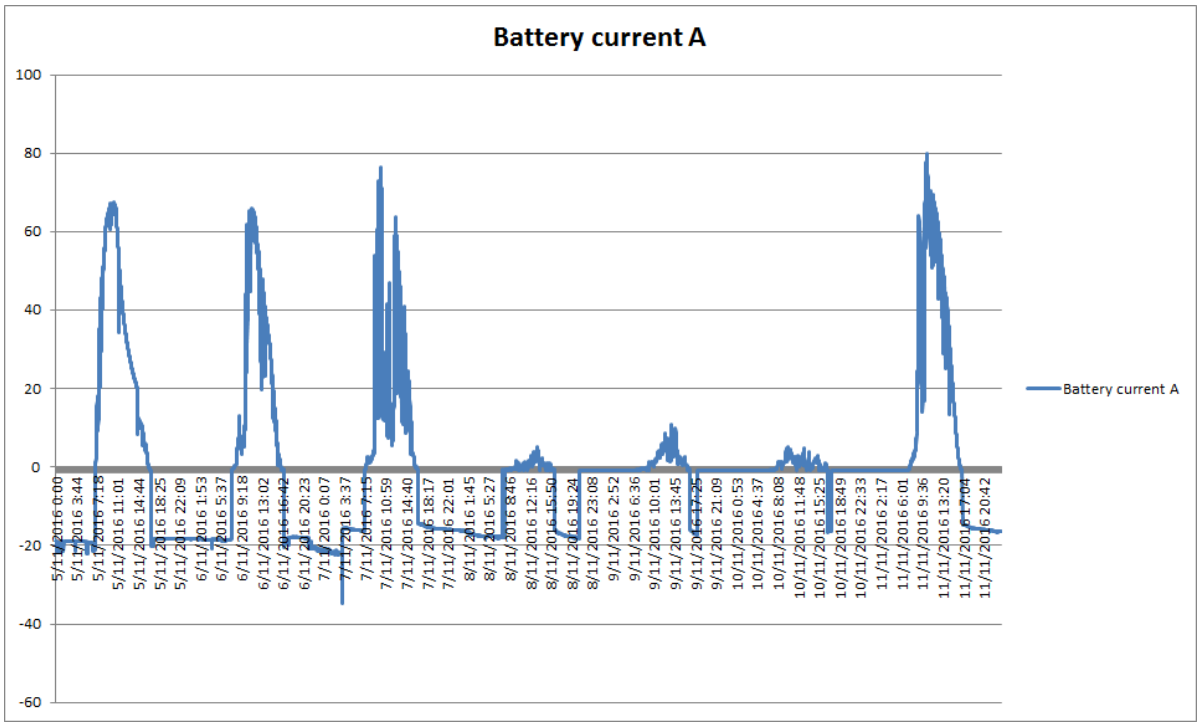


Figura. 4.16. Reprezentarea grafică a curentului înregistrat la bancul de acumulatori, pe o perioadă de 7 zile pentru luna noiembrie 2016.

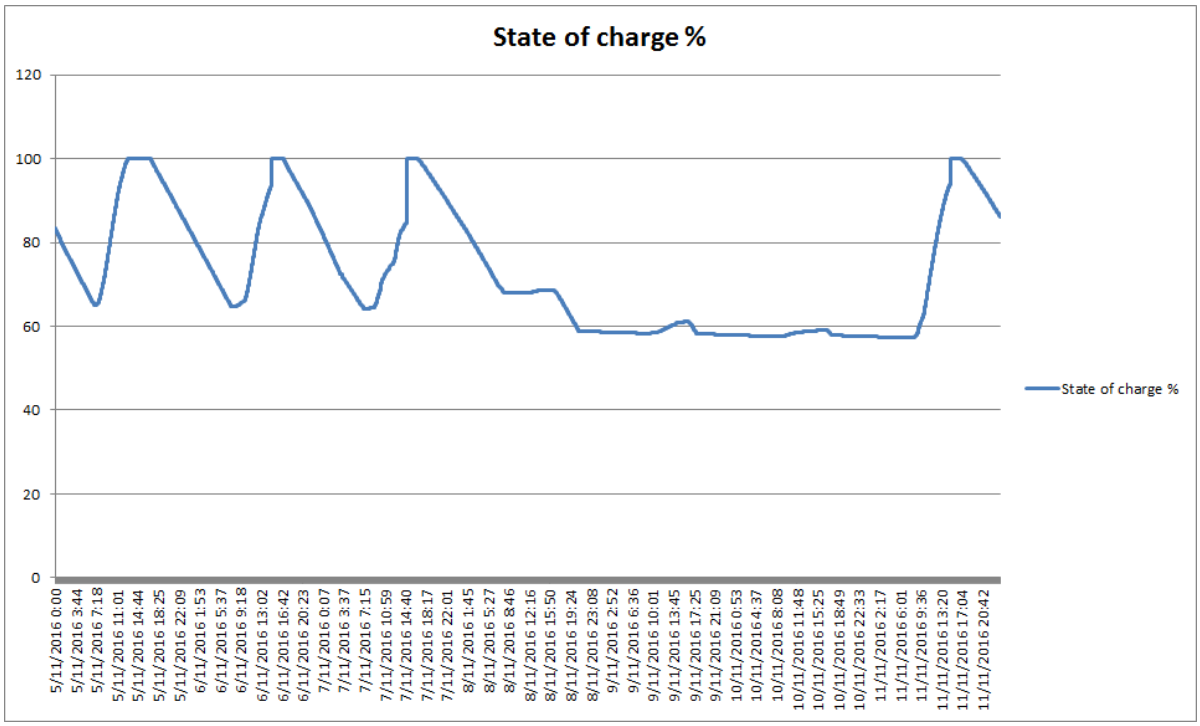


Figura. 4.17. Reprezentarea grafică a stării de încărcare/descărcare înregistrate la bancul de acumulatori, pe o perioadă de 7 zile pentru luna noiembrie 2016.

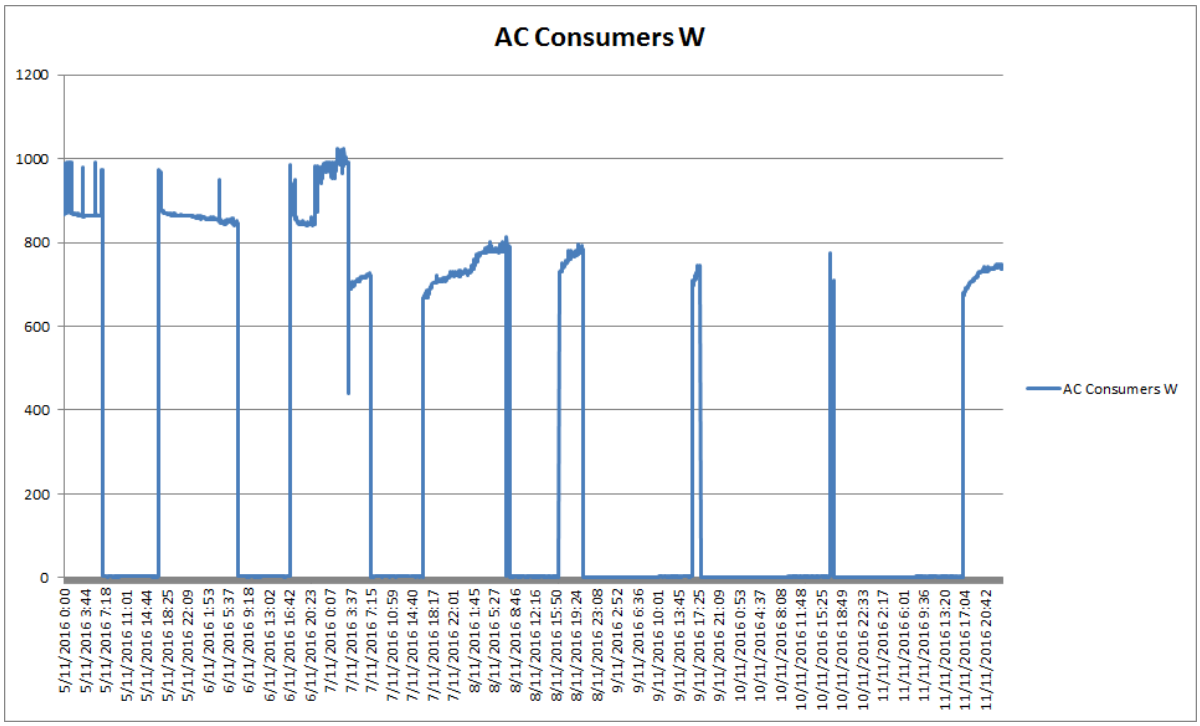


Figura. 4.18. Reprezentarea grafică a puterii consumate înregistrate la bancul de acumulatori, pe o perioadă de 7 zile pentru luna noiembrie 2016.

Am realizat un tabel cu consumul energetic estimativ al tuturor electrocasnicelor pe o perioadă de o zi pe timp de vară [133], care să se încadreze în limitele sistemului descris, dar care în acelasi timp să satisfacă toate nevoile umane pentru o familie (tabelul 4.3).

Tabelul 4.3. Calcul consum electric electrocasnice, pentru 24h, la o locuință rezidențială.

Tip consumator	**Nr. Buc.**	**Putere nominală totală (W)**	**Timp de utilizare**	**Consum total (kWh/zi)**
TV	*1*	*55*	*8h*	*0,440*
Laptop	*1*	*32*	*3h*	*0,096*
Centrală termică (butelie/rețea)	*1*	*130*	*2h*	*0,260*
Becuri LED	*6*	*60*	*5h*	*0,300*
Plită electrică	*1*	*1200*	*40min*	*0,800*
Aspirator	*1*	*800*	*20min*	*0,270*
Mașină de spălat	*1*	*1600*	*40min*	*1,066*
Frigider	*1*	*88*	*24h*	*0,704*

Altele	*n*	*500*	*1h*	*0,500*
Total	**-**	***4465***	**-**	***4,43***
Medie consum kW/h	**-**	**-**	**-**	***0,18***

În concluzie, potrivit calculelor teoretice, un consum estimativ de 4,43kWh/zi este suficient pentru o familie de trei membri în sezonul de vară, astfel din analiza de mai sus rezultând că bancul de acumulatori poate avea o autonomie de cel puțin două zile fără energie solară, în limita de siguranță de 30% procent de descărcare (dacă este încărcat 100%).

Deși este foarte dificil de prezis un comportament de consum al energiei de către un prosumator casnic, consumul fiind întotdeauna neliniar, am considerat un scenariu teoretic unde ocupanții locuinței lucrează zilnic, în baza unui serviciu cu program de lucru de 8h/zi cuprins între orele 8:00-16:00, consumatorii permanenți fiind frigiderul, care nu poate fi deconectat de la rețea, și consumatorii în regim stand-by conectați permanent la reteaua electrică, precum și mașina de spălat care lucrează condiționat (figura 4.19).

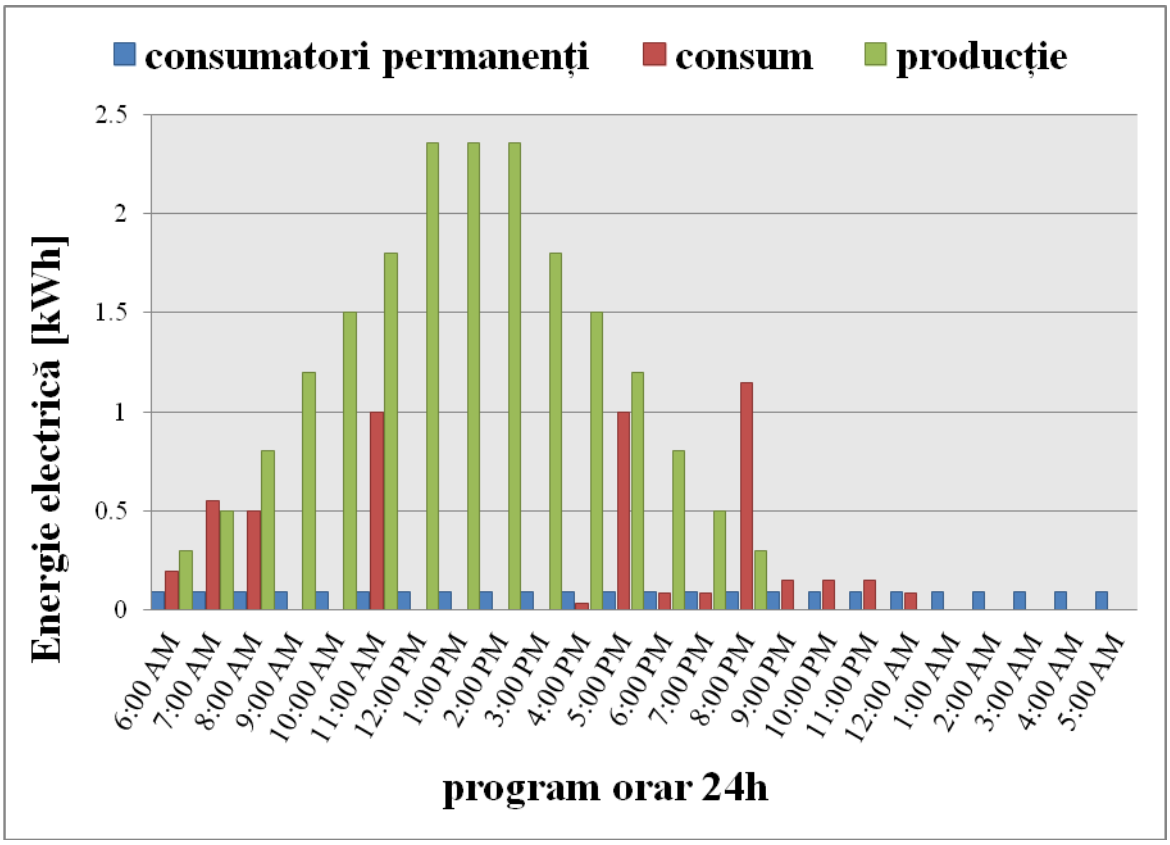


Figura. 4.19. Reprezentarea grafică teoretică a consumului și a producției energetice de la sistemul fotovoltaic, pe o perioadă de 24h – zi însorită/sezon de vară.

Mașina de spălat este considerată cel mai mare consumator din locuință care poate fi operat automat de sistemul MACHRES, fără supraveghere în timpul zilei, între orele 11:00-12:00 - setate din RTC și când este detectată radiație solară de către încărcătorul solar SCC, astfel scutindu-se consumul pe timp de noapte pentru operarea sa cu energie exclusiv din acumulatori. Prin urmare, între orele 16:00-00:00 ocupanții consumă energie electrică pentru activitățile zilnice după cum reiese din grafic.

În tabelul 4.4 este prezentat un calcul financiar detaliat pentru achiziția și instalarea atât a sistemului electronic MACHRES cât și a sistemului hidroelectric. Amintim faptul că doar investiția pentru platforma fotovoltaică s-a ridicat undeva la valoarea de 25000 de euro, în comparație cu sistemul propus de către noi, care a însumat un total de aprox. 12000 de euro.

Tabelul 4.4. Calcule aproximative ale costurilor de achiziție, transport și instalare ale sistemului MACHRES/hidroelectric.

Componente	**Cost**	**Nr. buc.**	**Garanție**
Sistem MACHRES (microsisteme master/slave)	100 €	1	10 ani
Rezervor de apă din PP	4,360 €	1	15 ani
Schelă, cabluri de ancorare și dale de beton (pt. rezervor)	3,850 €	1	30 ani
Pompă de apă	56 €	1	6 ani
Turbină-generator	226 €	1	6 ani
Electrovalvă	47 €	1	8 ani
Instalație de circulație a apei (conducte și racorduri)	825 €	1	30 ani
Cutie de protecție exterior (pt. pompă de apă și turbină-generator)	200 €	1	12 ani
Tablou electric cu conectori și siguranțe (sistemul hidroelectric)	150 €	1	12 ani
Senzori și module (senzor apă, senzor curent, senzor tensiune, modul RTC, modul relee, shield electronic)	50 €	6	10 ani
Alimentatoare CC (12V/5V)	11 €	2	10 ani
Aplicație software	100 €	1	*N/A*
Cabluri electrice și alte accesorii electrice	100 €	1	50 ani
Costuri de instalare + transport	2,000 €	*N/A*	*N/A*
Total costuri	**12,075 €**	*N/A*	*N/A*

Pentru a reduce cheltuielile într-un procent cât mai mare, se poate apela la soluții alternative, precum componente recondiționate sau din materiale reciclate, ecologice; toate fiind vândute mult mai ieftin în cadrul licitațiilor, în special pentru cele cu costuri ridicate, precum rezervorul de apă și schela metalică de rezistență.

CAP. 5 CONCLUZII

Abordarea noastră din lucrarea prezentată **propune o soluție pentru prosumatorii rezidențiali și nu numai**, care **funcționează** în **regim insularizat**, prin intermediul unui **sistem inteligent (MACHRES)**, capabil de a realiza atât o **monitorizare a puterii consumate** de electrocasnice cât și o **compatibilizare între componentele energetice** ale sistemului general, **utilizând două surse de energie alternativă (solară și hidro)**, cu un anumit **control al consumului pe timp de zi și pe timp de noapte**.

Dat fiind faptul că un astfel de sistem implică costuri mult prea mari pentru a fi realizat în cadrul unei teze doctorale, iar complexitatea sa împiedică o predicție precisă a unor rezultate reale, am abordat separat fiecare sistem energetic prin intermediul **calculelor teoretice (sistemul hidroelectric)** și al **măsurătorilor (sistemul fotovoltaic cu consumatori)**.

Având în vedere faptul că masurătorile pe toate categoriile de consumatori electrocasnici se pot realiza doar de către un personal autorizat, s-a abordat o metodă simplificată luând ca etalon un consumator rezistiv ideal pentru testarea funcției de monitorizare a sistemului. De asemenea, s-a generat un scenariu posibil de producție și consum, care poate fi relativ în funcție de programul de consum al rezidenților și în funcție de posibilitățile de generare energetică ale sistemului, din momentul respectiv.

Măsurătorile realizate pe bancul de acumulatori al platformei fotovoltaice s-au axat pe: **valoarea tensiunii inițiale** a bancului; **valoarea curentului de intrare** în banc pe timp de zi **și cel absorbit** la consumul pe timp de noapte de către sistemele de iluminat stradal (sistemul BMV reprezintă în CSV curentul absorbit din banc, cu simbolul "-" în fața valorii citite); **valoarea stării de încărcare/descărcare** ciclică a bancului, și bineînțeles, **consumul** stâlpilor de iluminat stradal, exprimat în wati.

Pentru fiecare sezon, s-a impus realizarea de măsurători zilnice (zi și noapte) **timp de 7 zile la rând**, unde **în funcție de cantitatea de lumină** sesizată de **senzorii fotoelectrici** ai **stâlpilor de iluminat** stradal, s-a permis în mod **automat**, de către **sistemul insular**, un **consum proporțional** din **bancul de acumulatori**. În cazul unde starea de descărcare a bancului a scăzut sub 30%, **sistemul a micșorat automat** și **durata de consum** permisă pentru **stâlpii de iluminat**.

Varietatea de aplicații în care poate fi implementat **acest sistem** flexibil sunt nenumărate, ținând cont și de **costurile reduse**, **configurarea rapidă** și **timpul scurt de instalare**.

În contextul actual al modificărilor climatice globale și în urma procesului accelerat de antropizare, **guvernele țărilor cât și marii dezvoltatori și producători din sectorul energetic**, încearcă în continuare **să identifice soluțiile cele mai potrivite** pentru **reducerea emisiilor** de CO_2, **eficientizarea consumului de energie** dar și **acoperirea cererii de consum** energetic prin **sursele regenerabile de energie**, aceasta fiind **în creștere** de la un an la altul.

În consecință, atât la nivel național cât și la nivel internațional, **firmele private și instituțiile de stat**, cu **implicarea** proactivă a **mediului academic**, au demarat numeroase **programe, proiecte, inițiative, coroborate cu idei și contribuții științifice de implementare**, pentru: **contoare inteligente în orașe inteligente** [135], **stații inteligente de încărcare ale vehiculelor electrice** [136], **sisteme expert de monitorizare și diagnoză bazate pe tehnici de inteligență artificială** [137], **sisteme inteligente de control pentru eficientizarea iluminatului public stradal** [138], **sisteme automate de acționări electromecanice** [139], **sisteme de condiționare în achiziția de date** [140], **integrarea surselor regenerabile în clădiri** [141], și așa mai departe; toate acestea, ca un pas decisiv spre **viitoarele rețele inteligente** de dimensiuni **foarte mari**.

În același timp s-au demarat și **acțiuni de descentralizare** ale **surselor de energie** electrică, prin **izolarea entităților generatoare/consumatoare** de energii regenerabile constituite sub formă de **microrețele insularizate**, de **sursele energetice clasice** cu **combustibili fosili**.

Astfel asistăm la o **schimbare de paradigmă** cu privire la **identificarea producătorului** și a **consumatorului** de **energie electrică**, care a avut ca rezultat apariția unui nou tip de element, reprezentat de ***prosumatorul*** care **joacă un dublu rol**: acela de ***producător*** **și** ***consumator*** de **energie electrică**. În concluzie, putem spune că pentru viitor, implicarea **prosumatorului** în schema de **producție energetică** crește probabilitatea ca **sistemele clasice de producție și de furnizare a energiei**, așa cum le cunoaștem, să suporte **transformări majore sau chiar să dispară**, prin procesul de **descentralizare**.

Contribuții originale

În prezenta lucrare am propus **o soluție accesibilă, ieftină și realizabilă**, pentru **compatibilizarea echipamentelor energetice** moderne dintr-o **locuință** sau **clădire insulară**, astfel încât să existe o **eficientizare** echilibrată, între nivelul de **generare** și nivelul de **consum** al **energiei electrice**. Acest lucru s-a putut realiza prin dezvoltarea unui sistem electronic de monitorizare și control, bazat pe senzori, algoritmi de execuție și citire de date, care, coroborat cu **două sisteme** de **energie alternativă în regim hibrid**, pot **prelungi autonomia energetică** a locuinței, în cazul în care există un consum neprevăzut pe timp de noapte.

Pe scurt, cea mai importantă contribuție originală din lucrarea prezentată, o constituie introducerea unui **concept nou de hibridizare** a două entități energetice, prin compatibilizarea **componentelor** sale la nivel **electric** dar și la nivel **logic**. Acest concept este desăvârșit de sistemul **MACHRES** care **integrează** atât **elemente hardware cât și elemente software**, pentru o operare **optimă** și care are ca **scop definitiv**, **eficientizarea consumului** electric dintr-o locuință independentă energetic, utilizând un sistem hidroelectric cu rol de "baterie" sau "buffer energetic".

În continuare vom enumera punctual, contribuțiile originale ale autorului:

- ***Propunerea unui sistem electronic de monitorizare a puterii active, care compatibilizează și controlează prin echipamentele electrice, un consumator electrocasnic (cu orar prestabilit de funcționare a unui consumator electrocasnic de consum mare - mașina de spălat) și două surse de energie regenerabilă în regim hibrid-insular: fotovoltaică și hidroelectrică (cu stocarea apei în bazin), pentru eficientizarea energiei electrice la o locuință – CAP 3;***
- ***Dezvoltarea și implementarea aplicației software pentru afișarea datelor în timp real (server online și server offline) și pentru managementul sistemului hidroelectric și al unui consumator electrocasnic – CAP 4;***
- ***Identificarea necesităților și oportunităților pentru implementarea unui sistem hibrid cu surse regenerabile – CAP 2 ;***
- ***Realizarea de măsurători experimentale asupra unui consumator electrocasnic și achiziții de date de la sistemul fotovoltaic insular în două sezoane diferite – CAP 4.***

Direcții de cercetare și dezvoltare ulterioară

Sistemul MACHRES poate fi utilizat în multiple aplicații unde există mai multe surse de energie regenerabilă și unde se dorește minimizarea și eficientizarea consumului de energie electrică într-un regim insularizat. Dintre aceste aplicații posibile de implementare, enumerăm câteva dintre ele:

- ***Gospodării izolate;***
- ***Stații de încărcare vehicule electrice;***
- ***Baze militare;***
- ***Campusuri sau tabere;***
- ***Teatre de operațiune;***
- ***Spitale de campanie;***
- ***Zone calamitate;***
- ***Laboratoare mobile de cercetare;***
- ***Stații de observare și colectare de date;***
- ***Zone inaccesibile sau sărace;***
- ***Case de vacanță.***

De asemenea, sistemul menționat **poate fi configurat** să funcționeze și **pentru turnurile de apă dezafectate sau nefolosite**, de pe teritoriul oricărei țări [142], pentru a **genera energie electrică la cerere**, locuințelor din proximitatea sa.

Prin **adăugirea** unor module electronice cu senzori și prin dezvoltarea unui firmware conform, sistemul poate fi îmbunătățit astfel încât să îndeplinească și **funcția de stație meteo**, pentru **informarea prosumatorului** asupra condițiilor exterioare locuinței; sau **poate să funcționeze ca sistem de avertizare pentru incendii și scurgeri de gaze**.

În concluzie, putem spune **că prin flexibilitatea și modularitatea** sistemului abordat, posibilitățile în ceea ce privește **dezvoltarea de automatizări** cu aplicații **IoT** pentru **eficientizarea energetică**, sunt practic **nelimitate**.

Dezvoltarea ulterioară a sistemului implică atât **îmbunătățiri pentru o eficientizare energetică mai mare** dar și **implementări de funcții noi**, care vin în **sprijinul prosumatorului** prin procesul de **smartificare**, precum:

- ***Introducerea funcției de afișare a energiei electrice consumate în 24h (kWh/zi) pe pagina web a serverului intern;***
- ***Imbunătățirea preciziei de calcul a algoritmului pentru valorile măsurate;***
- ***Introducerea funcției de control wireless a tuturor consumatorilor electrici utilizând relee de tip SSR, pentru optimizarea consumului energetic la cerere;***
- ***Introducerea funcției de control automat al electrovalvei pentru un flux constant de apă;***
- ***Introducerea unui subsistem de monitorizare și aproximare iterativă a rezervei de energie electrică pe care o poate furniza turnul de apă, raportată la nivelul de apă de la momentul respectiv;***
- ***Introducerea funcției de detectare și prevenție a incendiilor și a scurgerilor de gaze, cu sistem de alarmare acustic, optic și transmisie de date prin GSM;***
- ***Introducerea funcției de stație meteo cu afișarea valorilor înregistrate pe pagina web a serverului intern;***
- ***Dotarea bazinului de apă cu o izolație exterioară specială pentru a putea fi utilizat și pe timp de iarnă;***
- ***Dotarea acoperișului și a fațetelor bazinului de apă cu panouri solare flexibile, dispuse radial, pentru eficientizarea energetică și constructivă.***

PUBLICAȚII ȘTIINȚIFICE

Jurnale:

1. **Viorel MIRON-ALEXE**, „*Remote Smart Metering For Multiple Utilities*”, 2014, SBEEF, pp.42-47, no.1, vol. 25, ISSN: 1843-6188 (*Link:* ***http://www.buletinfie.ro/ro/numere2014-1/Articol_7.pdf***).
2. **Viorel MIRON-ALEXE**, „*Remote Energy Sharing*”, 2015, SBEEF, pp.21-26, no.2, vol. 30, ISSN: 1843-6188 (*Link:* ***http://buletinfie.ro/ro/numere2015-2/Articol_4.pdf***).
3. Nicolae VASILE, **Viorel MIRON-ALEXE**, Bogdan SALISTEANU, Andrei NEDELSCHI, Ramona CHIRESCU, Cristian DIVOIU, „*Systemic analysis strategy in the renewable energy sources*”, 2015, SBEEF, pp.19-23, no.4, vol. 32, ISSN: 1843-6188 (*Link:* ***http://www.buletinfie.ro/en/numere2015-4/Articol_03.pdf***).
4. **Viorel MIRON-ALEXE**, „*Iot Power Consumption Monitoring System For Off-Grid Households*”, 2017, UPSB, pp.13-20, no.2, vol.17, eISSN: 2344-2166 (*Link:* ***http://bulletin.feccupit.ro/archive/pdf/2017_2_2.pdf***).
5. **Viorel MIRON-ALEXE**, Ion VASILE, „*Mathematical Calculus For Analog Signal Processing Algorithm Of Sensors Used In Household Power Monitoring System*”, 2017, JOSA, pp.853-860, no.4, vol. 41, ISSN: 1844-9581 (*Link:* ***http://www.icstm.ro/DOCS/josa/josa_2017_4/c_04_Miron.pdf***).
6. Ion VASILE, Vicentiu VASILE, **Viorel MIRON-ALEXE**, Emil DIACONU, Ion CACIULA, Horia ANDREI, „*Simulation And Modeling Of Battery Operation Used In Real-Time Monitoring Equipments Of Vital Human Parameters*”, 2017, JOSA, pp.861-870, no.4, vol. 41, ISSN: 1844-9581 (*Link:* ***http://www.icstm.ro/DOCS/josa/josa_2017_4/c_05_Vasile.pdf***).

Proceedings-uri:

1. **Viorel MIRON-ALEXE**, „*Comparative Study Regarding Measurements of Different AC Current Sensors*”, International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering - (ISFEE 2016), IEEE Xplore, 2016, DOI: 10.1109/ISFEE.2016.7803152 (*Link:* ***http://ieeexplore.ieee.org/document/7803152/***).

2. **Viorel MIRON-ALEXE**, Iulian BANCUTA, Nicolae VASILE, „*Hydroelectric Backup System for Off-Grid Households: Hybrid renewable energy sources management system*”, Electronics Computers and Artificial Intelligence - (ECAI 2017), IEEE Xplore, 2017, DOI: 10.1109/ECAI.2017.8166448 (*Link:* ***http://ieeexplore.ieee.org/document/8166448/***).
3. **Viorel MIRON-ALEXE**, Iulian BANCUTA, Nicolae VASILE, „*Renewable Energy Management Using Embedded Smart Systems*”, Conference for Sustainable Energy - (CSE 2017), Springer, 2017, DOI: 10.1007/978-3-319-63215-5_3 (*Link:* ***https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-63215-5_3***).

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

[1] Howell, S., Rezgui, Y., Hippolyte, J.-L., Jayan, B., Li, H. „Towards The Next Generation Of Smart Grids: Semantic And Holonic Multiagent Management Of Distributed Energy Resources”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 77, pp.193–214, 2017.

[7] Strasser T., Andrén F., Merdan M., Prostejovsky A., „Review of Trends and Challenges in Smart Grids: An Automation Point of View”, In: Mařík V., Lastra J.L.M., Skobelev P. (eds) Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems. HoloMAS 2013. Lecture Notes in Computer Science, vol 8062. Springer, Berlin, Heidelberg 2013.

[9] http://ses.jrc.ec.europa.eu/sites/ses.jrc.ec.europa.eu/files/u24/2014/project_maps_28_april_2014.html

[10] https://europa.eu/european-union/topics/energy_ro

[13] https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/2030-energy-strategy

[18] http://romaniansmartcity.ro/

[29] http://www.irena.org

[30] https://www.seforall.org

[31] http://www.worldbank.org

[32] https://data.worldbank.org/indicator/eg.elc.accs.zs

[34] http://datatopics.worldbank.org/sdgatlas/SDG-07-affordable-and-clean-energy.html

[35] http://datatopics.worldbank.org/sdgatlas/images/figures-png/figure7c.png

[37] http://arddzi.minind.ro

[40] http://www.anre.ro/download.php?f=hKh%2Fgg%3D%3D&t=vdeyut7dlcecrLbbvbY%3D

[46] http://www.termo.utcluj.ro/regenerabile/2_1.pdf

[48] http://www.termo.utcluj.ro/regenerabile/2_1_b.pdf

[50] A. Chauhan and R. P. Saini, „Renewable energy based power generation for stand-alone applications: A review”, International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability, Nagercoil, 2013, pp. 424-428, 2013.

[51] Glasnovic Zvonimir, Margeta Jure, „The features of sustainable Solar Hydroelectric Power Plant”, Renewable Energy, Elsevier, vol. 34,(no.7, pp. 1742-1751, 2009.

[56] http://www.fapesp.br/pdf/5023/PFPMCG_2702_forbes.pdf

[65] https://www.webopedia.com/TERM/A/API.html

[66] https://thingspeak.com

[67] https://despretot.info/api-application-programming-interface/

[68] http://916.icstm.ro

[69] https://www.arduino.cc/en/Main/Software

[75] https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/analog-io/analogread/

[76] http://916.icstm.ro/content/dotări

[77] https://www.autodesk.com/products/eagle/overview

[78] http://www.lpkf.com/products/rapid-pcb-prototyping/circuit-board-plotter/protomat-s103.htm

[123] Adascalitei A. Adrian, „Teoria circuitelor Electrice”, ed. Performantica, Iasi, pp. 387, 2015, ISBN 978-606-685-301-9.
[125] http://www.ti.com/lit/wp/slyy055/slyy055.pdf
[127] Cazacu E., „Bazele Electrotehnicii – Teoria Circuitelor Electrice”, ed. Matrix-Rom, Bucuresti, pp. 308, 2004, ISBN: 973-685-684-4.
[128] Miron-Alexe V, „Iot Power Consumption Monitoring System For Off-Grid Households”, 2017, UPSB, pp.13-20, no.2, vol.17, eISSN: 2344-2166.
[133] Miron-Alexe V., Bancuta I., Vasile N., „Renewable Energy Management Using Embedded Smart Systems”, Conference for Sustainable Energy - (CSE 2017), Springer, 2017, DOI: 10.1007/978-3-319-63215-5_3.
[135] Eremia M., Toma L.,” Catre Orasele Inteligente Ale Viitorului – Smart Cities”, in: „Lucrarile celei de-a VII-a editii a Conferintei anuale a ASTR” - Buletine AGIR, no. 2048.
[136] M. Clemente, M. P. Fanti, W. Ukovich, „Smart Management of Electric Vehicles Charging Operations: the Vehicle-to-Charging Station Assignment Problem”, in: Proceedings of the 19th World Congress The International Federation of Automatic Control Cape Town, South Africa. August 24-29, 2014.
[137] Popescu M.O., Popescu C.L., Gheorghe S., Ghita C., „Sisteme expert pentru diagnoza echipamentelor electrice”, Editura Electra, Bucuresti, pp. 124, 2002, ISBN: 9738067685, 9789738067684.
[138] Andrei H., Cepisca C., Dogaru V., Ivanovici T., Stancu L., Andrei P.C., „Measurements Analysis of Advanced System for Reducing the Energy Consumption of Public Street Lighting Systems”, PowerTech IEEE Bucharest, pp. 684-690, 2009.
[139] Gheorghe M., „Sisteme automate de acţionare electromecanică”, Editura Universitaria, Craiova, 2004, ISBN: 973-8043-525-5.
[140] Dogaru-Ulieru V., „Overview On Signal Conditioning In Data Acquisition Systems”, 2009, SBEEF, pp.7-11, no.1, ISSN: 1843-6188.
[141] Olariu, N., Ispas, F., Ivan, A., Let, D., Mantescu, G., Vaduva, E., Olteanu, L., „Testing results of the first Romanian BIPV application”, in: 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, France, 2004, ISBN 3-936338-14-0.
[142] Roshan Varghese Rajan, K. Suresh, Sanu Ipe, Arjun K. Kurup, Aby M. George, „Pico-Hydro Electric Power Generation from Residential Water Tank”, in: Int. J. Chem. Sci.: vol. 14, no. 1, pp. 421-426, 2016.

Curriculum vitae Europass

Informaţii personale

Nume / Prenume	**MIRON-ALEXE Viorel**
Adresă	Str. Avram Iancu, Bl 26, Sc C, Ap 51, cod postal 130066
Telefon	Mobil: +40 722275588
E-mail	alexev84@yahoo.com viorel.miron.alexe@gmail.com
Naţionalitate	Română
Data naşterii	19 ianuarie 1984
Sex	Masculin

Domeniul ocupaţional

Asistent de cercetare

Experienţa profesională

Perioada	Acs din 2014 - până în prezent
Funcţia sau postul ocupat	Asistent de cercetare științifică
Activităţi şi responsabilităţi principale	Cercetare științifică, diseminarea în publicații de specialitate și conferințe/seminarii, participarea la proiectele de cercetare (naționale și internaționale) derulate în cadrul Universității "Valahia" din Târgoviște – ICSTM
Numele şi adresa angajatorului	Universitatea Valahia din Târgoviște – Institutul de Cercetare Științifică și Tehnologică Multidisciplinară Aleea Sinaia, Nr. 13, Targoviște, jud. Dambovița, România - cod postal 130004
Tipul activităţii sau sectorul de activitate	Cercetare stiințifică

Educaţie şi formare

Perioada	2012-2018	2008-2009	2003-2008/2010-2013
Calificarea / diploma obţinută	Doctorand	Diplomă de master	Diplomă de licentă
Disciplinele principale studiate / competenţe profesionale dobândite	Inginerie Electrică/Științe Inginerești	Electronică aplicată, circuite logice, simulări circuite electronice	Electronică aplicată, matematici speciale, circuite de putere, simulări circuite electronice Științe Economice
	Doctorat	**Masterat**	**Facultate**
	Specializarea : „Inginerie Electrică"	Specializarea : "Sisteme Moderne de Telecomunicații, Prelucrarea și Transmisia Informației"	Specializarea: „Electronică Aplicată" Specializarea:"Management" (ID)
Numele şi tipul instituţiei de învăţământ / furnizorului de formare	„Scoala Doctorală pentru Științe Inginerești" - Universitatea "Valahia" din Târgoviște	Universitatea "Valahia" din Târgoviște – "Facultatea de Inginerie Electrică"	Universitatea "Valahia" din Târgoviște – „Facultatea de Inginerie Electrică" Universitatea "Valahia" din Târgoviște – „Facultatea de Științe Economice"

Aptitudini şi competenţe personale

Limba maternă **Română**

Limbi străine cunoscute **Engleză, germană**

Autoevaluare

Nivel european (*)

	Înţelegere				Vorbire				Scriere	
	Ascultare		Citire		Participare la conversaţie		Discurs oral		Exprimare scrisă	
Limba engleza	C2	Utilizator indepdendent	C2	Utilizator indepdendent	C2	Utilizator indepdendent	C2	Utilizator indepdendent	C2	Utilizator indepdendent
Limba germana	A1	Utilizator elementar	A1	Utilizator elementar	A1	Utilizator elementar	A1	Utilizator elementar	A1	Utilizator elementar

Competenţe şi abilităţi sociale

Spirit de echipă, deschis la feedback.

Competenţe şi aptitudini organizatorice

Aptitudini manageriale și organizatorice, gândire structurată, viziune, generare de idei și soluții.

Competenţe şi aptitudini tehnice

Cunoștințe în domeniul ingineriei electrice și CAD: componente electronice SMD/TH, dezvoltarea cablajelor imprimate și circuitelor electronice, microcontrollere și automatizări, senzori (alanogici/digitali) și dezvoltarea de senzori, aplicații inteligente, măsuratori de laborator, evaluare produse electronice, retro-engineering, platforme embedded/open-source, Proteus, EagleCad, CircuitPro, Matlab, Arduino & shields, Multisim, AVR programming, sisteme pentru monitorizare și eficientizarea energetică, sisteme de exploatare ale surselor regenerabile de energie, dezvoltarea de produse electronice pentru consumatorul final, stereolitografie/3D printing, IoT.

Competenţe şi aptitudini de utilizare a calculatorului

Cunoștințe de operare pe calculator sub sistemele Windows/Linux, Office, programare și configurări hardware/software, IT&C.

Competenţe, aptitudini și merite la locul de muncă - ICSTM

-participare la instruiri pentru echipamentele din cadrul ICSTM:
sep. 2014-Training "Sistem de caracterizare eficienta cuantica a celulelor fotovoltaice Oriel Instruments Iqe-200", UVT-ICSTM (PV de instruire)
sep. 2014-Training "Echip. de lab.-oscil, multitester, clampmetru, gen. de forma, analiz. energ., statie de lipit", UVT-ICSTM (PV de instruire)
sep. 2014-Training "Sistem de caract. pentru module si celule fotovoltaice/simulator solar Oriel Sol3a", UVT-ICSTM (PV de instruire)
oct. 2014-Training "Camera de termoviziune Fluke Ti400", UVT-ICSTM (PV de instruire)
sep. 2015-Training "Aparat de centrifugare pelicule lichide (spin-on)", UVT-ICSTM (PV de instruire)
feb. 2015-Training "Instalatie de stereolitografie (Sla)", UVT-ICSTM (PV de instruire)
feb. 2015-Training "Linia S de prototipare cablaje imprimate LPKF", UVT-ICSTM (PV de instruire)
sep. 2015-Training "Aparat de sudura fire electronice fine (wire-bonding)", UVT-ICSTM (PV de instruire)
-calitatea de ***organizator și participant*** cu articole la conferințele naționale organizate în cadrul ICSTM-DCEM:
2015 - Organizator conf. CNSNRE UVT-ICSTM, 29-30 October 2015, http://cnsnre2015.valahia.ro
2016 - Organizator conf. CNSNRE UVT-ICSTM, 20-22 October 2016, http://cnsnre2016.valahia.ro
2017 - Organizator conf. CNSNRE UVT-ICSTM, 23-24 November 2017, http://cnsnre2017.valahia.ro
-calitate de ***membru de proiect*** din 2014-până în 2017: „*Prototypes of autonomous robotic systems for medical/social assistance and servicing of manufacturing processes in metallurgy, ceramics, glass and automotive - Prorobsis - PN-II-PT-PCCA-2013-4-0686*".
-diseminarea rezultatelor științifice în cadrul conferințelor și a jurnalelor de specialitate, cu participarea de articole.
-colaborare multidisciplinară pentru dezvoltarea de produse și idei noi.
-certificat de participare în cadrul conferinței RENAR – 28 aprilie 2015 Valahia - Targoviste „*Consideratii privind cerintele reglementarilor nationale, ale Uniunii Europene si internationale referitoare la acreditare, metrologie, notificare pentru laboratoare (incercari, etalonari, analize medicale), organisme de inspectie si certificare*".
-diverse diplome de participare în cadrul conferințelor de specialitate.

Alte competenţe şi aptitudini	Diplomă de formator în domeniul Ingineriei Electrice. Diplomă de administrator de rețele de internet. Diplomă CCNA. Articole și conferințe: ***Publicații în jurnale de specialitate (BDI+ISI):*** *1.* **Viorel MIRON-ALEXE**, „Remote Smart Metering For Multiple Utilities", 2014, SBEEF, pp.42-47, no.1, vol. 25, ISSN: 1843-6188 (Link: http://www.buletinfie.ro/ro/numere2014-1/Articol_7.pdf). *2.* **Viorel MIRON-ALEXE**, „Remote Energy Sharing", 2015, SBEEF, pp.21-26, no.2, vol. 30, ISSN: 1843-6188 (Link: http://buletinfie.ro/ro/numere2015-2/Articol_4.pdf). *3.* Nicolae VASILE, **Viorel MIRON-ALEXE**, Bogdan SALISTEANU, Andrei NEDELSCHI, Ramona CHIRESCU, Cristian DIVOIU, „Systemic analysis strategy in the renewable energy sources", 2015, SBEEF, pp.19-23, no.4, vol. 32, ISSN: 1843-6188 (Link: http://www.buletinfie.ro/en/numere2015-4/Articol_03.pdf). *4.* **Viorel MIRON-ALEXE**, „Iot Power Consumption Monitoring System For Off-Grid Households", 2017, UPSB, pp.13-20, no.2, vol.17, eISSN: 2344-2166 (Link: http://bulletin.feccupit.ro/archive/pdf/2017_2_2.pdf). *5.* **Viorel MIRON-ALEXE**, Ion VASILE, „Mathematical Calculus For Analog Signal Processing Algorithm Of Sensors Used In Household Power Monitoring System", 2017, JOSA, pp.853-860, no.4, vol. 41, ISSN: 1844-9581 (Link: http://www.icstm.ro/DOCS/josa/josa_2017_4/c_04_Miron.pdf). *6.* Ion VASILE, Vicentiu VASILE, **Viorel MIRON-ALEXE**, Emil DIACONU, Ion CACIULA, Horia ANDREI, „Simulation And Modeling Of Battery Operation Used In Real-Time Monitoring Equipments Of Vital Human Parameters", 2017, JOSA, pp.861-870, no.4, vol. 41, ISSN: 1844-9581 (Link: http://www.icstm.ro/DOCS/josa/josa_2017_4/c_05_Vasile.pdf). ***Publicații în conferințe de specialitate (proceedings-uri BDI+ISI):*** *1.* **Viorel MIRON-ALEXE**, „Comparative Study Regarding Measurements of Different AC Current Sensors", International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering - (ISFEE 2016), IEEE Xplore, 2016, DOI: 10.1109/ISFEE.2016.7803152 (Link: http://ieeexplore.ieee.org/document/7803152/). *2.* **Viorel MIRON-ALEXE**, Iulian BANCUTA, Nicolae VASILE, „Hydroelectric Backup System for Off-Grid Households: Hybrid renewable energy sources management system", Electronics Computers and Artificial Intelligence - (ECAI 2017), IEEE Xplore, 2017, DOI: 10.1109/ECAI.2017.8166448 (Link: http://ieeexplore.ieee.org/document/8166448/). *3.* **Viorel MIRON-ALEXE**, Iulian BANCUTA, Nicolae VASILE, „Renewable Energy Management Using Embedded Smart Systems", Conference for Sustainable Energy - (CSE 2017), Springer, 2017, DOI: 10.1007/978-3-319-63215-5_3 (Link: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-63215-5_3).

PUBLICAȚII ȘTIINȚIFICE

(MIRON-ALEXE Viorel)

Publicații în jurnale de specialitate (BDI+ISI):

1. **Viorel MIRON-ALEXE**, „*Remote Smart Metering For Multiple Utilities*”, 2014, SBEEF, pp.42-47, no.1, vol. 25, ISSN: 1843-6188 (*Link:* ***http://www.buletinfie.ro/ro/numere2014-1/Articol_7.pdf***).
2. **Viorel MIRON-ALEXE**, „*Remote Energy Sharing*”, 2015, SBEEF, pp.21-26, no.2, vol. 30, ISSN: 1843-6188 (*Link:* ***http://buletinfie.ro/ro/numere2015-2/Articol_4.pdf***).
3. Nicolae VASILE, **Viorel MIRON-ALEXE**, Bogdan SALISTEANU, Andrei NEDELSCHI, Ramona CHIRESCU, Cristian DIVOIU, „*Systemic analysis strategy in the renewable energy sources*”, 2015, SBEEF, pp.19-23, no.4, vol. 32, ISSN: 1843-6188 (*Link:* ***http://www.buletinfie.ro/en/numere2015-4/Articol_03.pdf***).
4. **Viorel MIRON-ALEXE**, „*Iot Power Consumption Monitoring System For Off-Grid Households*”, 2017, UPSB, pp.13-20, no.2, vol.17, eISSN: 2344-2166 (*Link:* ***http://bulletin.feccupit.ro/archive/pdf/2017_2_2.pdf***).
5. **Viorel MIRON-ALEXE**, Ion VASILE, „*Mathematical Calculus For Analog Signal Processing Algorithm Of Sensors Used In Household Power Monitoring System*”, 2017, JOSA, pp.853-860, no.4, vol. 41, ISSN: 1844-9581 (*Link:* ***http://www.icstm.ro/DOCS/josa/josa_2017_4/c_04_Miron.pdf***).
6. Ion VASILE, Vicentiu VASILE, **Viorel MIRON-ALEXE**, Emil DIACONU, Ion CACIULA, Horia ANDREI, „*Simulation And Modeling Of Battery Operation Used In Real-Time Monitoring Equipments Of Vital Human Parameters*”, 2017, JOSA, pp.861-870, no.4, vol. 41, ISSN: 1844-9581 (*Link:* ***http://www.icstm.ro/DOCS/josa/josa_2017_4/c_05_Vasile.pdf***).

Publicații în conferințe de specialitate (proceedings-uri BDI+ISI):

1. **Viorel MIRON-ALEXE**, „*Comparative Study Regarding Measurements of Different AC Current Sensors*”, International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering - (ISFEE 2016), IEEE Xplore, 2016, DOI: 10.1109/ISFEE.2016.7803152 (*Link:* ***http://ieeexplore.ieee.org/document/7803152/***).
2. **Viorel MIRON-ALEXE**, Iulian BANCUTA, Nicolae VASILE, „*Hydroelectric Backup System for Off-Grid Households: Hybrid renewable energy sources management system*”, Electronics Computers and Artificial Intelligence - (ECAI 2017), IEEE Xplore, 2017, DOI: 10.1109/ECAI.2017.8166448 (*Link:* ***http://ieeexplore.ieee.org/document/8166448/***).
3. **Viorel MIRON-ALEXE**, Iulian BANCUTA, Nicolae VASILE, „*Renewable Energy Management Using Embedded Smart Systems*”, Conference for Sustainable Energy - (CSE 2017), Springer, 2017, DOI: 10.1007/978-3-319-63215-5_3 (*Link:* ***https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-63215-5_3***).

MINISTRY OF NATIONAL EDUCATION

"VALAHIA" UNIVERSITY OF TÂRGOVIŞTE

IOSUD - DOCTORAL SCHOOL OF ENGINEERING SCIENCES

Domain: Electrical Engineering

SMART GRID COMPATIBILIZATION OF ELECTRICAL COMPONENTS FROM ELECTIC POWER SYSTEMS

- PhD THESIS SUMMARY -

PhD Supervisor:

Prof.dr.eng. Nicolae VASILE

PhD Candidate:

Ra.PhDs.eng.Viorel MIRON-ALEXE

TÂRGOVIŞTE

2018

CONTENTS

PhD Thesis + (page Summary)

REGARDS..... 4(*5*)

EPISTEMOLOGICAL EDUCATION OF DOCTORAL WORK (KEY WORDS/OBJECTIVES AND PURPOSE OF THE DOCTORAL WORK)..... 5(*6*)

CH. 1 STATE OF THE ART REGARDING THE "SMART GRID" ELECTRICAL NETWORKS..... 7(*8*)

1.1. Current situation regarding the Smart Grid energy networks in the European Union 8

1.2. Topologies of Smart Grid networks and the transition to decentralized energy systems 14

1.3. Components and structure of an insular energy system 16

CH. 2 ANALYSIS OF IMPLEMENTATION OPPORTUNITIES FOR INTELLIGENT OFF-GRID SYSTEMS WITH HYBRID RENEWABLE ENERGY SOURCES ..... 20(*10*)

2.1. Analysis of the current energy potential of renewable energy sources in Romania..... 22

2.1.1 Analysis of the distribution of the hydrographic network on the territory of Romania..... 24

2.1.2 Analysis of the distribution of solar radiation on the territory of Romania 25

2.2. Implementation applications for an off-grid system with hybrid renewable energy sources 27

2.3. Comparison of auxiliary sources generating electricity for insular homes 28

2.4. State of the art of photovoltaic technologies 30

2.5. State of the art of IoT systems..... 33

CH. 3 DEVELOPMENT AND COMPATIBILIZATION OF AN INTELLIGENT MONITORING, MANAGEMENT AND OFF-GRID ELECTRICAL CONTROL SYSTEM, WITH HYBRID RENEWABLE SOURCES ..... 36(*15*)

3.1. General description and implementation of the MACHRES system in an off-grid household..... 36

3.2. Description and analysis of the electronic monitoring, management and control system components..... 44

3.2.1. Monitoring microsystem, Arduino YUN (master) 44

3.2.2. Microsystem for energy management and control, Arduino MEGA (slave) 47

3.2.3. Real time clock module RTC 51

3.2.4. Relay drive module 53

3.2.5. Water level sensor 54

3.2.6. Current sensor 55

3.2.7. Voltage sensor 58

3.2.8. Multiple input AC adapter for household consumers 59

3.3. Description and analysis of photovoltaic system components with energy storage in batteries 60

3.3.1. Insular photovoltaic system and photovoltaic modules 61

3.3.2. Storage batteries for photovoltaic energy 66

3.3.3. BMV system for battery monitoring 69

3.3.4. DC current charging regulator for acid lead acid batteries 70

3.3.5. Insular system inverter 75

3.4. Description and analysis of hydroelectric system components 77

3.4.1. Water storage tower 77

3.4.2. Centrifugal Water Pump 80

3.4.3. Turbine-generator group 81

3.4.4. Electrovalve 83

3.4.5. Water supply sources 84

CH. 4 ACQUISITION AND MODELING OF EXPERIMENTAL DATA, MEASUREMENTS AND CALCULATIONS OF THE STUDIED OFF-GRID SYSTEM ..... 89(*24*)

4.1. Simulation, acquisition and processing of analog signal from sensors 89

4.2. Conducting experimental measurements with a purely resistive ideal consumer 93

4.3. Processing and graphical representation of measurements by software development 97

4.4. Development of the MACHRES operating algorithm in the real case scenario 102

4.4.1. Master microsystem flowchart (data display) 102

4.4.2. Slave microsystem flowchart (data acquisition and control of the hydroelectric system) 106

4.5. Making calculations for the sizing of the hybrid (photovoltaic and hydroelectric) energy system 109

4.6. Acquisition, representation and interpretation of data regarding the charging and discharging cycle of photovoltaic system batteries 114

4.7. Case study on night and daytime energy consumption for a household 120

4.8. Financial calculation of the investment in the approached system 122

CH. 5 CONCLUSIONS ..... 124(*41*)

5.1. **Original contributions** ..... 125(***43***)

5.2. **Research and development directions** ..... 126(***44***)

APPENDIX 129

A1. *Slave* microsystem algorithm 129

A2. *Master* microsystem algorithm 134

A3. HTML source code 138

A4. Measurements (summary) acquired from the BMV system - photovoltaic platform .. 140

A5. Measurements (summary) acquired from MACHRES/Meter (ideal resistive consumer) 148

SCIENTIFIC WORK ..... 150(*46*)

REFERENCES ..... 152(*47*)

REGARDS

I would like to thank to Professor dr.eng. Nicolae VASILE, both in terms of his outstanding human qualities and high-class professional qualities, for the moral and scientific support he has given me throughout the period of doctoral studies. He has played an essential role in shaping my professional and scientific character through contributions, advices, ideas and approaches that I, as a PhD student, did not knew or fully understood at the time.

I would like to extend my sincere thanks, to Mr. Christian DeFeo, for the technological support, through which I was able to carry out the experimental prototype of the doctoral thesis. Currently an Elsevier marketing manager, he has been working as a product manager in the Element14 community, a premier Farnell affiliate community, which has as a field of activity for marketing of technology products and engineer solutions globally, in consortium with international companies dedicated to IT&C, electrical and electronic devices.

On the same note, I wish to warmly thank the Director of DCEM Research Center at ICSTM, Professor dr.eng. Nicolae OLARIU, the Dean of the Faculty of Electrical Engineering, Electronics and Telecommunications, Conf.dr.eng. Henri George COANDĂ, Professor dr.eng. Horia Leonard ANDREI, Professor dr.eng. Dinu COLȚUC, Director and Conf.dr.eng. Cristiana RĂDULESCU, and, last but not least, to the Chief Scientific Officer and Professor dr.eng. Viviana FILIP, for the advice, encouragement and information provided during doctoral studies.

I would also like to thank my colleague Cs.dr.ing Dorin LEȚ for his support in making the measurements and data provided through the scientific research equipment of the ICSTM of the "Valahia" University in Targoviste.

Finally, I wish to thank my parents for their moral, material and financial support during the years of study.

KEYWORDS

Smart grid, compatibility, components, on-grid, off-grid, power systems, hybrid sources, renewable energy, photovoltaic, hydroelectric, buildings, microsystem, master, slave, arduino, shield, I2C, wireless, HTML, server, electronics, data acquisition.

OBJECTIVES AND PURPOSE OF THE DOCTORAL WORK

- **The objectives and purpose of the research in the doctoral thesis consist in:**
  - analysis of the current development strategies in the field;
  - designing an overview of an automated electricity monitoring and management system to meet the energy needs of an off-grid household with a typical family of 3 members (2 adults and 1 child);
  - sizing, compatibilization and calculation of the necessary equipment of the approached global system;
  - developing a hardware monitoring and management system with hybrid alternative energy sources of a home;
  - development of a scheduled monitoring and control software algorithm for energy efficiency.
- **The research carried out within this doctoral thesis is aimed at solving problems such as:**
  - compatibility for intelligent use and exploitation of different alternative energy sources for domestic consumption;
  - ensure total energy independence of dwellings and off-grid buildings through system compatibility using multiple renewable energy sources;
  - meeting a family's energy needs throughout the day through a pre-defined and optimized consumption program;
  - balancing the energy over-consumption of the dwelling through energy alternatives to avoid discharging the batteries below the minimum safety threshold and to ensure sufficient energy input until recharging during the day;
  - analyzing the state of charge of the batteries that store the electricity supplied from photovoltaic panels for two different seasons;
  - optimizing the energy consumption of household electrical appliances through smart programming;
  - the initiation of a responsible and conscious behavioral model on the exploitation of the prosumer's own electricity sources.

SYNTHESIS OF THE STRUCTURE OF THE DOCTORATE THESIS

Chapter 1, entitled ***STATE OF THE ART REGARDING THE "SMART GRID" ELECTRICAL NETWORKS***, presents an analysis of Smart Grids and the implementation of projects with smart applications, both in the European Union as well as in Romania. It is also taken into account, the objectives and legislative packages that EU member countries have to meet, for the sustainable development of the global energy system.

Chapter 2, entitled ***ANALYSIS OF IMPLEMENTATION OPPORTUNITIES FOR INTELLIGENT OFF-GRID SYSTEMS WITH HYBRID RENEWABLE ENERGY SOURCES***, addresses the opportunities and needs of compatibilization and implementation of hybrid energy systems in insular households, to cover a certain electricity shortage for domestic consumption, through scheduled efficiency of equipment for power generation.

Chapter 3, entitled ***DEVELOPMENT AND COMPATIBILIZATION OF AN INTELLIGENT MONITORING, MANAGEMENT AND OFF-GRID ELECTRICAL CONTROL SYSTEM, WITH HYBRID RENEWABLE SOURCES***, describes the composition of an intelligent electronic system for monitoring and control (MACHRES), with the compatibilization and management of the electrical components of a photovoltaic system and a hydroelectric system, based on algorithms and a predefined schedule, implemented in an off-grid houehold.

Chapter 4, entitled ***ACQUISITION AND MODELING OF EXPERIMENTAL DATA, MEASUREMENTS AND CALCULATIONS OF THE STUDIED OFF-GRID SYSTEM***, identifies the steps of acquiring and processing of the required experimental data, using both theoretical calculus and practical measurements, over the electronic monitoring and control system (MACHRES) and over the hybrid energy system.

In **Chapter 5**, suggestively entitled ***CONCLUSIONS***, are synthesized the **observations and main conclusions** about the real possibility of implementing such a system, mentioning as well, the **original contributions** and also the **directions for further development** of the system, through improvements and extensions of its capabilities, for other adjacent applications to off-grid homes, and much more.

CH. 1 STATE OF THE ART REGARDING THE "SMART GRID" ELECTRICAL NETWORKS

In the context of today's global climate change, both global governments and major energy companies have a common agenda, both to reduce pollution and CO2 emissions, and to exploit alternative sources of electricity, gradually giving up the conventional fossil fuel based energy production [1].

The benefits of implementing this "smart" technology for both manufacturers, distributors and consumers are [7]:

- Increased energy efficiency;
- Safety in exploitation;
- Low pollution and CO2 emissions;
- Flexibility and adaptability.

The European Union (EU), the largest promoter of this concept, has played and still plays an active role in implementing Smart Grid projects within European countries. According to periodic reports issued by the Joint Research Center (JRC), the largest number of Smart Grid projects worldwide, implemented or under implementation, is found mostly in Europe [9]. However, there are also problems facing the EU in the energy sector, such as the increasing demand for electricity, the impact of the sector on the environment, oscillating prices and electricity disruptions.

As a result, the European Union, as a major advocate of "green" energy, has begun to develop legislative packages with very coherent measures and strategies that address these issues for all member countries and which have the following objectives [10]:

- Sustainability;
- Competitivity;
- Security of supply.

At present, the European Commission has set a number of energy and environmental **targets** for several decades, namely for 2020, for 2030 and for 2050, of which we mention [13]:

EU targets set for 2020:

- A 20% share of energy to be from renewable sources;
- A reduction of greenhouse gas emissions by at least 20% compared to 1990 levels;
- A 20% increase in energy efficiency.

EU targets set for 2030:

- Increasing energy efficiency by 27% to 30%;
- The electricity interconnection level should reach 15% (being 15% of the electricity produced in a member country can be transported to other member countries);
- Reducing greenhouse gas emissions to 40%;
- More than 27% of electricity in the European Union is to be obtained from renewable sources.

EU targets set for 2050:

- A reduction in greenhouse gas emissions of between 80% and 95% compared to 1990.

According to a centralizer set up by the Romanian Association for Smart City and Mobility (ARSCM), a number of 129 Smart City projects in 24 counties have been implemented within the pilot project to identify Smart City development in Romania. Among the Smart City projects analyzed by the ARMS [18], thus we mention a few:

- Monitoring of water consumption;
- System of monitoring and analysis of budget revenues;
- Emergency dispatching system;
- Online marriage programming application;
- Traffic monitoring system;
- Intelligent lighting;
- Vehicle charging stations;
- Air quality monitoring;
- Citizens' consultation and information system on various topics;
- Parking management system.

CH. 2 ANALYSIS OF IMPLEMENTATION OPPORTUNITIES FOR INTELLIGENT OFF-GRID SYSTEMS WITH HYBRID RENEWABLE ENERGY SOURCES

At **international** level, according to the "International Energy Agency for Renewable Energy" (IRENA) [29], Sustainable Energy for All (SEE4ALL) [30] and World Bank (WB) [31], more than 1.16 billion people worldwide (15% of the world's population in 2014) are still living in disconnected homes from the national electricity grid or even without electricity.

Another report conducted for 2014 by the World Bank [32], on access to electricity communities topic, reveals that the world's lowest share is held by the African continent, with a percentage of 24 % and 40% depending on country.

According to data extracted from World Bank reports, we also mention states outside the African continent that have similar problems and where implementation efforts are being made in terms of electrification, such as: India (especially the Tripura region), Burma, Yemen, Cambodia , Bangladesh, Laos, Papua New Guinea, North Korea, Haiti (Figure 2.1) [34].

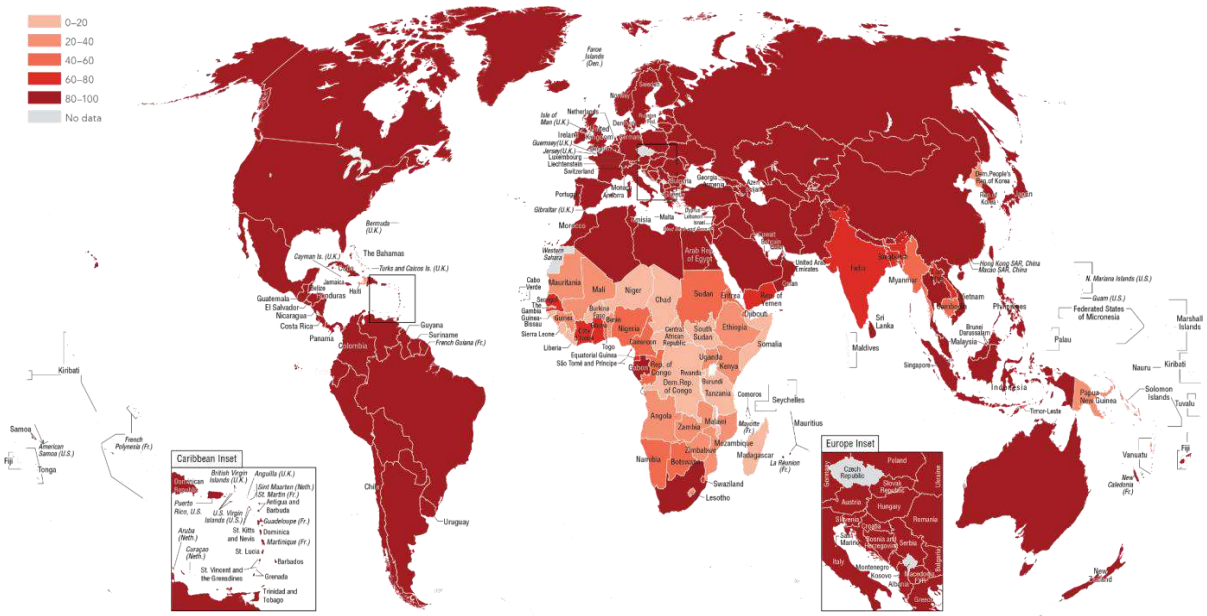


Figure. 2.1. Geographic chart with developing countries, which still have a low electrification rate, as in legend [35].

In **Romania**, the "Romanian Agency for Sustainable Development of Industrial Areas" (A.R.D.D.Z.I.) has produced a study [37], in which 97,805 households belonging to 2,284 villages, are non-electrified where:

- 2,822 households located in 97 localities are totally disconnected;
- 60,540 households located in 2018 rural localities are partially electrified;
- 34,443 households located in 169 urban areas requiring expansions.

Bearing in mind that both the rural electrification and the electrification process of isolated dwellings are particularly costly for electricity distribution companies (primarily requiring infrastructure and logistics) due to the large dispersion of consumers in the territory, and due to the relatively small consumption for each consumer (around 5 kWh / day), other power alternatives can be approached using renewable energy sources such as:

- Wind;
- Solar;
- Pico-hydroelectric plants;

, or hybrid systems adapted to the specific conditions of the location.

By making an analogy to the hybrid energy system that we have approached in the doctoral thesis, where two renewable sources of energy were used, we can say that the integration of more renewable energy sources is an opportunity to make energy consumption more affordable for a home anywhere in the world.

According to the report provided by the National Regulatory Authority for Energy (ANRE), regarding Romania's electricity production for the year 2016, a percentage of **42.38% from renewable sources** and **57.62% from conventional sources** [40] were obtained. Thus, according to the data of the production of electricity from renewable sources, the **hydropower** plants provided 28.86%, 10.13% for the **wind power plants**, 2.60% for the **photovoltaic systems**, 0.75% for the **biomass plants** and 0.05% from **other renewable sources**.

Of the **conventional power generating sources** we mention: the second-place **coal** with 24.47% of the total production, the Cernavoda **nuclear power** with 17.49%, the **natural gas** with 14.99%, the **tar** with 0.28% and the **other conventional sources** that recorded a combined figure of 0.39%.

Also in 2016, according to the same report, an electricity production of 61.80TWh was registered at national level, down 1.3% compared to 2015.

As a result of the generation of electricity, the average CO2 emissions resulted in a value of 287.11g / kWh while the radioactive waste had an average value of 0.003g / kWh. In conclusion, CO2 emissions in the energy sector at national level reached a value of 17,743,398 tons.

Romania has a leading position in Europe in terms of water resources and the water distribution ratio in the territory, so at present, Romania has a number of 11 hydrographic basins, including: the Cerna-Jiu basin, the Olt basin, the basin Argeş-Vedea, Ialomiţa-Buzău Basin, Dobrogea Basin, Prut Basin, Siret Basin, Someş-Tisa Basin, Crişuri Basin, Mureş Basin and Banat Basin.

According to the measurements carried out in the years 2010-2016 by the NAM (National Meteorological Administration), for annual incident solar radiation on the territory of Romania, it results that the average is about 3.56 kWh/m^2/day. So Romania is a notable solar energy country, given that about 210 days a year are sunny, thus recording an annual solar energy flux of 1200-1600kWh/m^2/year depending on the radiated region [46]. It should be mentioned that the maximum solar potential in Romania is reached in July, registering the value of approximately 6.41kWh/m^2/day, while the minimum solar potential is reached in December, with the threshold of approximately 1.12kWh/m^2/day [48].

Through its flexibility and modularity, the renewable energy hybrid monitoring and management system, proposed in the paper, can be implemented in multiple applications such as:

- Isolated households;
- Charging stations for electric vehicles;
- Military bases;
- Campuses or camps;
- Theaters of operation;
- Campaign hospitals;
- Calamity zones;
- Mobile research laboratories;
- Observation and data collection stations;

- Inaccessible or poor areas;
- Holiday Houses.

The real advantages of such a hydroelectric system consist of: **low cost** of hydroelectric equipment, **minimal infrastructure**, **easy and fast** modular **implementation**, **low electrical consumption** for filling the water basin, **useage in other applications** requiring a flow of water.

The hydroelectric system with storage in the water tank can be adapted to operate in the utility mode in its own household for various adjacent applications, including:

- Irrigation;
- Extinguishing fires in the vicinity;
- Usage and drinking water;
- Systems requiring cooling/washing or hydraulic drives.

A highly debated approach in today's scientific and academic environment in the field of renewable energy sources in isolated homes is represented by the Hybrid Renewable Energy System (HRES) systems, which are designed to compensate and increase energy efficiency. Although in many scientific papers, which address the pico-hydropower integrated in HRES [50], the idea of building a waterfall system with upstream sources (especially in poor / inaccessible areas) [51] is being promoted, the only advantage being the continuity of electricity supply, however there are many problems raised by the approach of such a system.

The novelty of our work is a **cheap alternative renewable energy solution** by integrating a HRES (solar and hydro) system, which **surpasses the classical fossil fuel system**, island electrical generators or wind generators, pursuing at the same time the **replacing** of these sources.

Another advantage of the hydroelectric system with water storage in the reservoir, compared to the other islands auxiliary energy systems, is that it can provide **constant electricity** (depending on its sizing) **for about 3 hours** (3,81kWh) if the basin is full.

The main challenges to be overcome **in the field of photovoltaic technology** are: **cost reduction** and **increased conversion efficiency** of solar radiation in electricity [56].

While large companies such as Google, Mircosoft and Amazon have in their portfolios, IoT and Cloud solutions for monitoring devices, housing control and data storage **based on** monthly or annual **subscriptions** for all segments of consumers, **these services are totally dependent on a Internet connection** to operate through the Application Programming Interface (API) between the server and the user [65].

The MACHRES system uses a data outsourcing service for household consumption measurements to an API server, but with a **free subscription**, which is only an auxiliary function that can be disabled at any time, to use the internal data service that **does not require a connection at the Internet**. Thus, the advantages of the MACHRES system identified by us are:

- There are no costs involved in subscribing to external IoT services;

- If an external monitoring service is required, the system only requires a free online account on the API server, ThingSpeak (or any similar API server);

- The system also implements the offline household monitoring function through an HTML server, developed by us, when an internet connection is not available for online monitoring;

- All monitoring data is stored on the offline HTML server, in a CSV file, on a micro-SD card, whenever available to the prosumer;

- The system was designed to display real-time monitoring data on the serial port, on a computer, when neither online server nor offline server works because of a firmware problem, or the lack of operating equipment network, such as a switch or router;

- The system is compatible with both PCs running on Windows and Linux operating systems, as well as Android and IOS for phones and tablets, using HTML 4.0 and JavaScript/jQuerry languages;

- Total system consumption is less than 2.5Wh;

- The system is very flexible in that it can be modularized and equipped with additional analogue or digital sensors for additional functions such as: weather monitoring, gas leak monitoring, or home fire monitoring.

CH. 3 DEVELOPMENT AND COMPATIBILIZATION OF AN INTELLIGENT MONITORING, MANAGEMENT AND OFF-GRID ELECTRICAL CONTROL SYSTEM, WITH HYBRID RENEWABLE SOURCES

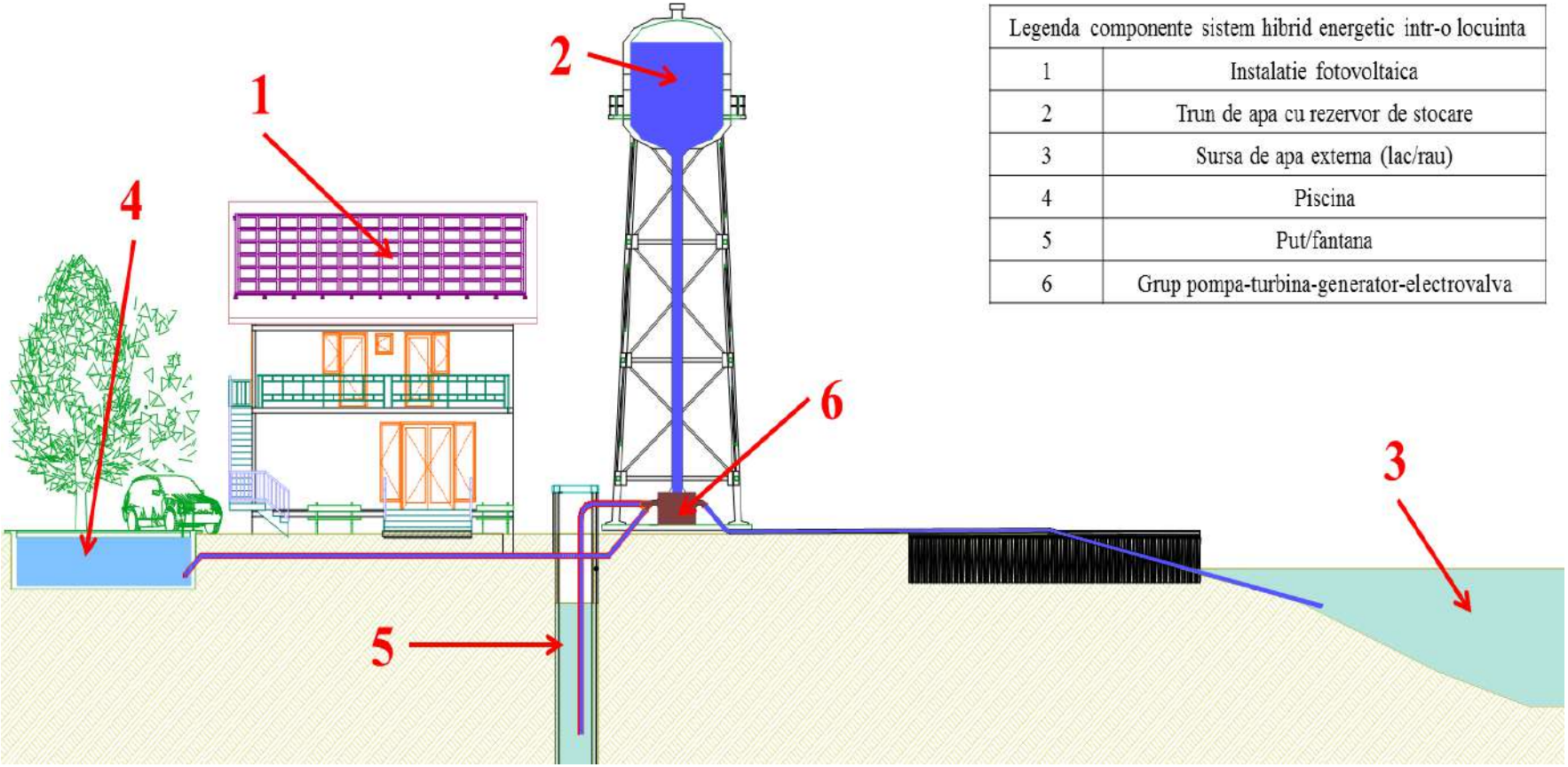
The MACHRES system (Monitoring and Control of Hybrid Renewable Energy System) developed by us, is defined as an electronic system for increasing the efficiency of the electrical consumption of an isolated home, through the management of solar and hydroelectric power sources and the management of large consumers. The electronic monitoring, management and control system, enables the compatibility between various electricity generating entities, using decision algorithms based on both the sensor input and the pre-set parameters, but also based on the electrical equipment specifically selected to meet the switching purpose between the two energy sources.

This system (Figure 3.2) is divided into three distinct subsystems:

- Electronic monitoring, management and control system;
- Insular photovoltaic system with storage in batteries;
- Insular hydroelectric system with multiple water supply sources.

The hydroelectric system was designed to operate at night only to fill energy gaps at the time. Being mainly a water storage basin, the hydroelectric system will accumulate water during daytime, using some of the solar energy produced, while the water released from the basin to the hydro-generator will provide energy electrical power of about 3.81kWh, for a total of three hours. This system can be configured to work in two modes:

- As a parallel power generation system for accumulators that exceed 30% of the discharge percentage;
- As a power take-off system of a high-powered home appliance currently in use, regardless of the state of discharge of the batteries (eg a washing machine, an iron or an electric hob).



Legenda componente sistem hibrid energetic intr-o locuinta	
1	Instalatie fotovoltaica
2	Trun de apa cu rezervor de stocare
3	Sursa de apa externa (lac/rau)
4	Piscina
5	Put/fantana
6	Grup pompa-turbina-generator-electrovalva

Figure. 3.2. Section of an isolated dwelling with elements of the hybrid power system and water sources for the pico-hydroelectric system.

For acquiring, storing and displaying data over home electrical consumption, the *master* microsystem has been configured to communicate with the I2C protocol of the *slave* microsystem. The master microsystem has been programmed to store data on a local microSD card and simultaneously display this data through the serial communication port to a computer, on the local HTML server page, and on the ThingSpeak client server [66] through the API function [67]. Thus, homeowners will be informed in real time about domestic electrical consumption by multiple means. Figure 3.3 shows a master server interfacing diagram and the communication between the hardware and software environment.

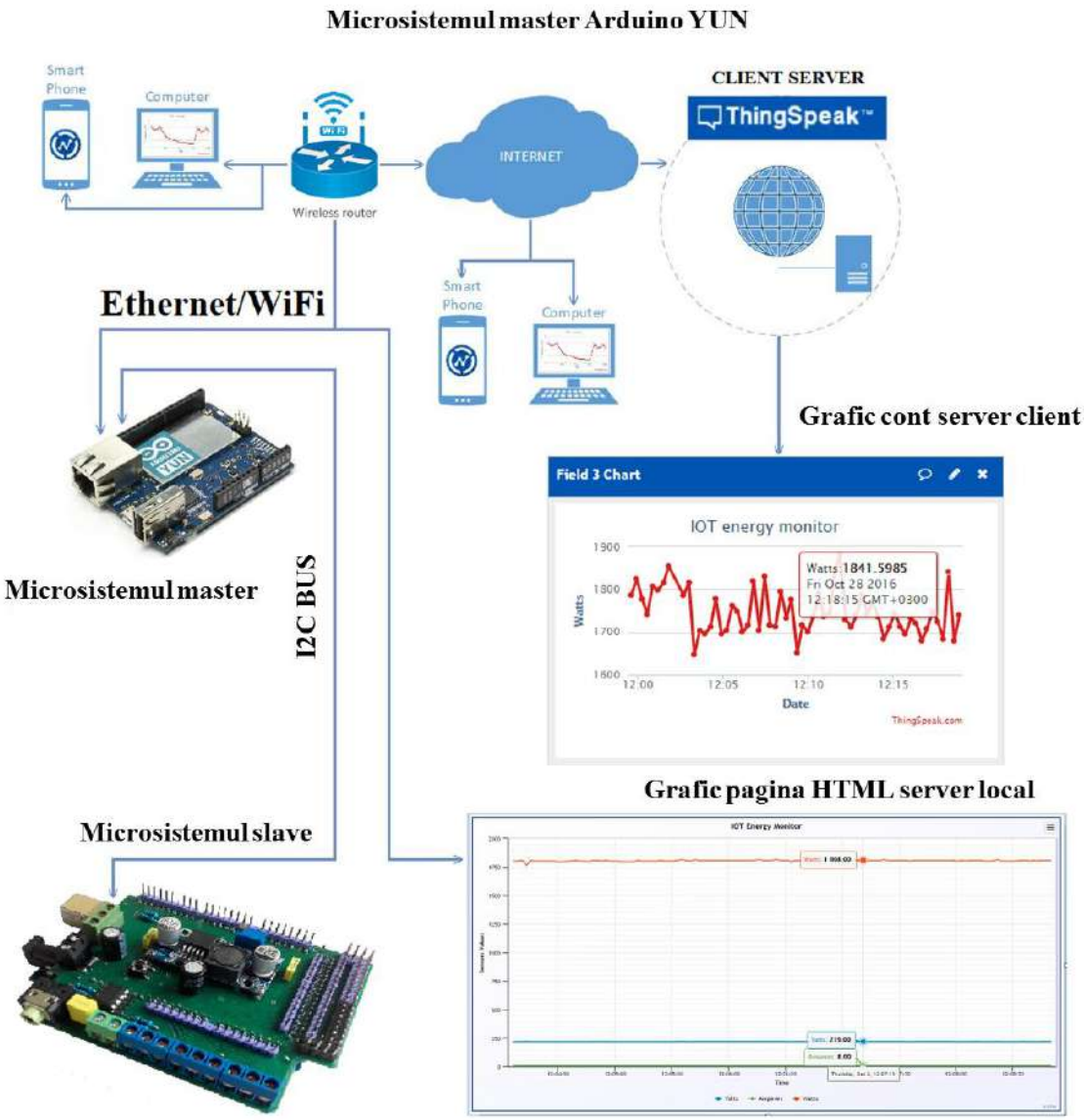


Figure. 3.3. The hardware-software interface between the master microsystem and the ethernet equipment for data transmission (voltage, current and power display).

Figure 3.4 describes a diagram with equipment and sensor interfacing with the slave microsystem, in which we distinguish two categories of equipment.

The equipment with data input to slave microsystem (data acquisition):

- **CT (Current Transformer)** – represents the current transformer;
- **VT (Voltage Transformer)** – represents the voltage transformer;
- **WS (Water Sensor)** – represents the water level sensor of the WT tower;
- **RTC (Real Time Clock)** – represents the real-time clock module for displaying the timestamp (date / hour / minute / second);
- **CC (Charge Controller)** – represents the DC battery chargers from the photovoltaic system and the hydroelectric system.

The equipment with data output from the slave microsystem (execution of data):

- **LC (Large Consumer)** – represents a consumer (eg: a washing machine);
- **WP (Water Pump)** – represents the water pump for filling;
- **EV (Electrovalve)** – represents the valve for releasing the water from the tower;
- **RA (Relay Array)** – represents the module for controlling relays for: LC, WP and EV.

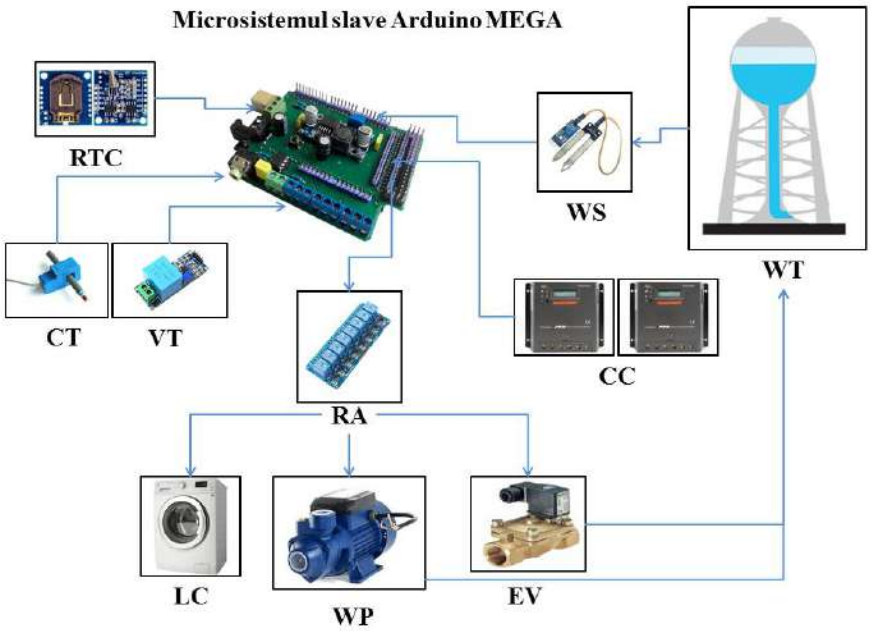


Figure. 3.4. The hardware-hardware interfacing diagram between the slave microsystem, electrical equipment and sensors.

By setting up the monitoring and control equipment at the logical level, and of the photovoltaic and hydroelectric system with its power equipment, will result in an interfacing and operating orientative scheme of the whole system (Figure 3.5).

Figure. 3.5. Simplified hardware-hardware interfacing scheme between the monitoring, management and control system and power systems with related equipment.

Thus, for the development of an automated decision-making algorithm to ensure both a correct functioning of the system and a visible improvement of the energy efficiency of a dwelling, we have developed a diagram with the blocks of all the equipment that must be compatible and interdependent (Figure 3.6) .

In order to distinguish the components of the global energy system, blocks of various colors were used, such as: power hardware **components** (red / orange blocks), logical hardware **components** (blue blocks), software **components** (green blocks).

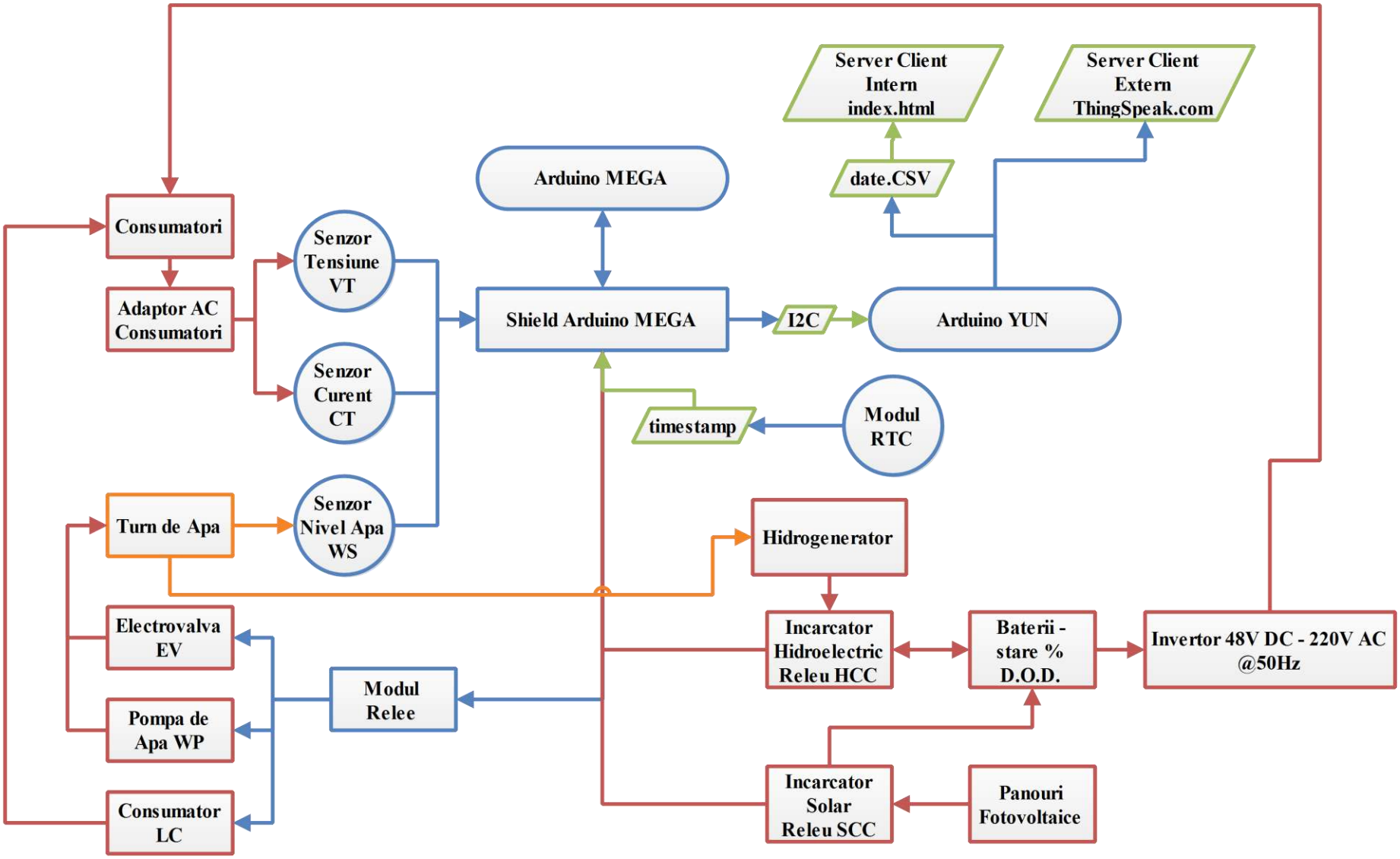


Figure. 3.6. General diagram of energy monitoring and management application blocks for the solar and hydroelectric system.

Following the documentation, research and evaluation processes in the ICSTM [68] laboratories, we have developed an electronic prototype optimized for monitoring electrical power and control of a hydroelectric system that is hybridized with a photovoltaic power plant installed in an off-grid housing, thus the following:

- The electronic platform for power monitoring of the household appliances (the platform represented by the embedded Arduino YUN microsystem, acting as a **master** unit);
- The electronic platform for the management and control of the hydroelectric system and large household consumers, such as a washing machine (the platform represented by the embedded Arduino MEGA microsystem, **slave** unit);
- Sensors for: water, voltage and current;
- The RTC module and the control relays module.

The ***master microsystem*** can be configured as an access point, router or server, both through the Arduino IDE open source programming language [69] and through the PHP administration page. In our application, it has been configured to fulfill two roles, as offline server and online server, as follows:

- **as an offline server**, it stores the data received from the slave terminal on an SD card as CSV files, and then reads this data from the files and displays them in real-time as graphics on a local HTML page that can be accessed both on a PC, as well as on a mobile phone or tablet;
- **as an online server,** it sends the real-time data from the slave terminal, directly to a free (ThingSpeak) external client server, accessible online from anywhere in the world, to view the values read in graphical form.

The potential of the ***slave microsystem*** is exploited almost within the maximum limits, having multiple roles, such as:

- data reading via ADC [75] from the current and voltage sensor;
- reading data via the digital input ports from the water sensor, the solar CC charger with programmable relay (SCC), the hydroelectric CC charger with programmable relay (HCC);
- information transmission via I2C protocol to the master microsystem;
- data reading through I2C protocol of the RTC module;

- control of relays for electrovalve, water pump, high consumption household appliance (washing machine).

In order to take advantage of all the benefits of this microsystem, we designed and developed within the prototype laboratory, for PCB [76], a modular, specialized *shield* that facilitates easier interface with external modules, as well as data filtering, read from the sensors (Figure 3.9). This electronic circuit was designed in a Cad Design program (EagleCAD [77]) for printed circuit boards and made with a micro-CNC machine, Protomat S103 [78].

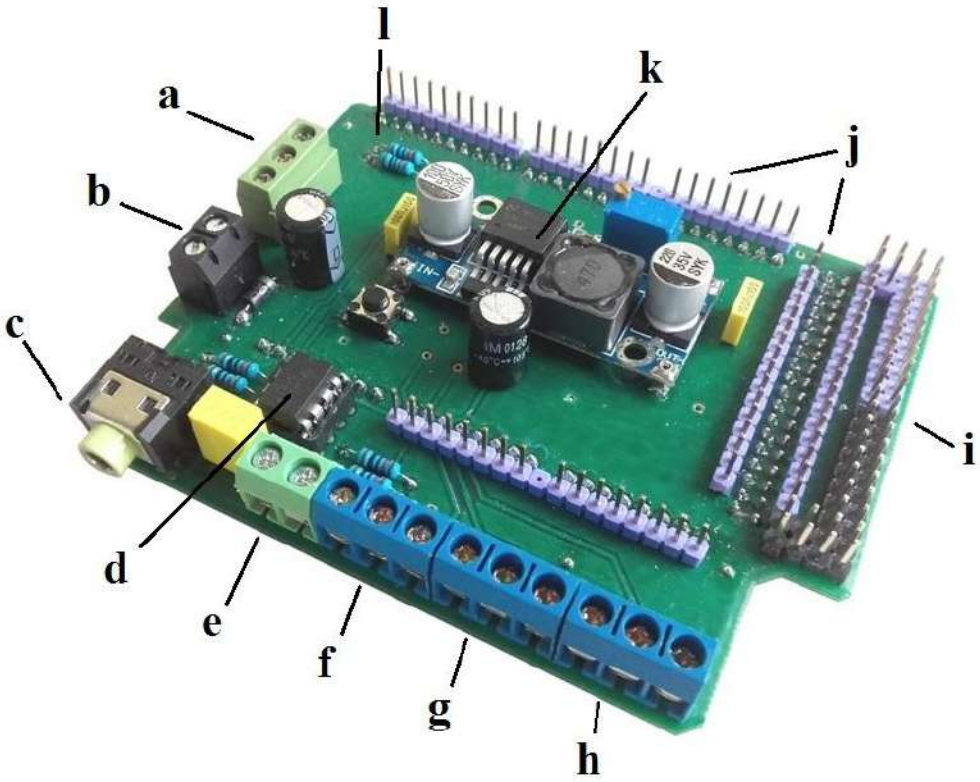


Figure. 3.9. Descriptive figure of the modules and connectors on the dedicated shield: **a**-I2C port connector (SDA, SCL and GND) to the master microsystem; **b**-dedicated external DC connector; **c**-jack connector for CT current transformer; **d**-operational amplifier with signal filtering for CT sensor; **e**-optional connector for analog sensor with offset at $2.5V_{DC}$; **f**-connector for voltage transformer VT; **g,h**-optional connectors for analog sensors without offset; **i**-$5V_{DC}$ and GND connectors; **j**-digital I / O pin connectors; **k**-adjustable external DC switching power supply module; **l**-pull-up resistors for the I2C port.

The islanded photovoltaic system on which data acquisition, measurements and tests were made, is made up of the following equipment:

- Photovoltaic modules integrated into the building;
- Storage batteries for photovoltaic power, located in the basement of the building;
- BMV system for battery monitoring;
- Lead acid battery charge controller CC;
- Islanded photovoltaic system inverter.

The hydroelectric system (Figure 3.35) has the auxiliary role of supplementing energy deficiencies at night in an energy-independent home. The hydroelectric system implemented in the islanded general energy system is complementary to the photovoltaic power system and consists of the following **components**:

- Storage water tower;
- Centrifugal water pump;
- Turbine-generator group;
- CC charging controller for batteries;
- Electrovalve;
- Water supply sources.

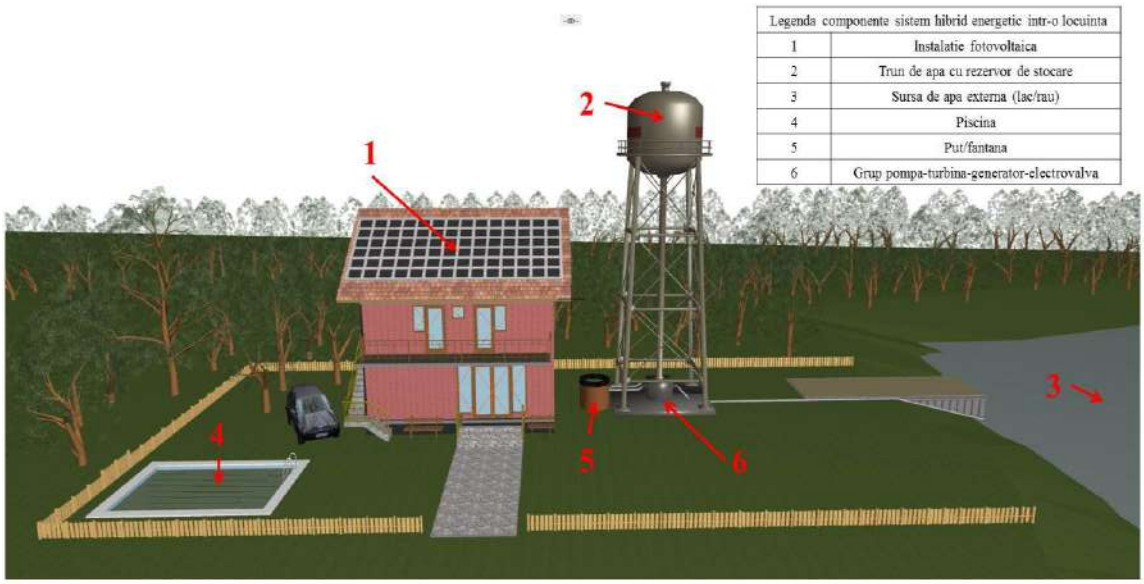


Figure. 3.35. The overall picture of a home / building incorporating a hybrid energy system, consisting of a photovoltaic platform with battery storage and a pico-hydroelectric system that feeds from three sources of water: lake, pool and shaft.

CH. 4 ACQUISITION AND MODELING OF EXPERIMENTAL DATA, MEASUREMENTS AND CALCULATIONS OF THE STUDIED OFF-GRID SYSTEM

In order to validate the implementation and functionality of the monitoring, management and energy control system, with the hybrid renewable sources (MACHRES), several simulation, experimentation, research and analysis processes have been carried out in real conditions, on key elements such as:

- Proposal of a circuit model for the simulation of the analog signal and interpret the obtained results;
- Representation and mathematical modeling of the analog signal;
- Making experimental measurements on a resistive household appliance with the related calculations;
- Comparison of data acquired in parallel from the developed hardware system and from an industrial power metering device;
- Graphic representation of measurements through developed software applications;
- Building algorithms for MACHRES real-mode operation mode;
- Calculations used in the sizing of photovoltaic and hydroelectric systems;
- Acquisition, representation and interpretation of the data collected from the BMV system on the charge / discharge status of the batteries, according to the season;
- The total, approximate, energy consumption table of household appliances in an off-grid residential building;
- Case study (prosumer's energy profile): A typical family example consisting of two adults and one child;
- Financial calculation for investment in system components.

The development of the MACHRES prototype involved several sequential steps, ***the first stage*** starting with the theoretical software simulation and the analog signal characterization from the CT sensor, using an electronic conditioning circuit. This was an essential stage for the development of the electrical power measurement application at the respective home, through the slave microsystem.

Figure 4.1 shows a software simulation of the electronic conditioning circuit for the analog signal calibration of the current transformer, for the processing in numerical values by the slave microsystem. The strong point of the simulation is the LM358 operational amplifier

in the less typical, non-inverse-summing-attenuator configuration [123]. This specific configuration was preferred for minimizing space and electronic components on the slave microsystem shield, but also to meet the three criteria required for analog signal processing:

- changing the analog signal offset to $2.5V_{DC}$ for adjusting the minimum and maximum values of the signal, within the limits of the acquisition board's ADC;
- compensating the amplitude of the output signal to the maximum margin below $5V_{pk\text{-}pk}$ to fit it into the electrical specifications of the analog input port, on the acquisition board;
- analog signal filtering with passive components (ceramic capacitors) to eliminate unwanted noise and spikes when acquiring data.

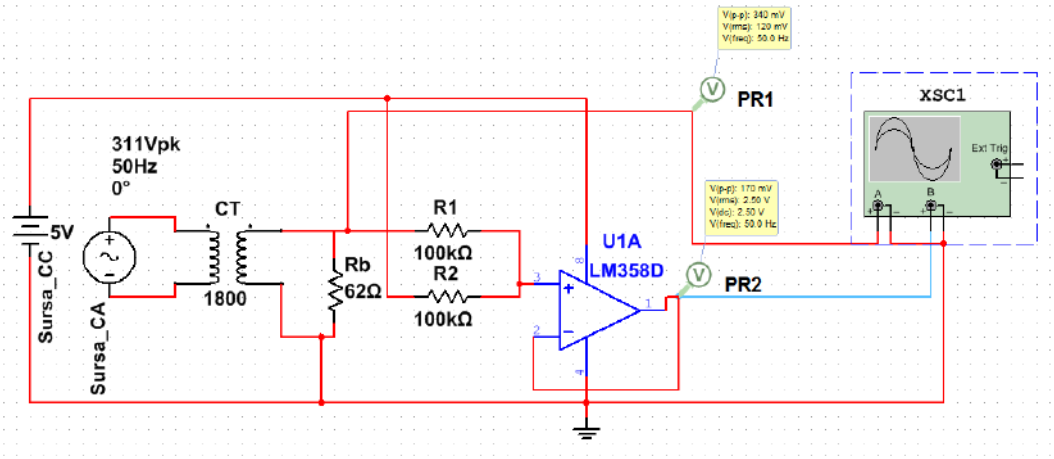


Figure. 4.1. The theoretical software simulation in Multisim, an electronic circuit that generates, processes and measures the *rms* value of a sinusoidal signal.

In the simulation of the conditioning circuit it was used, a $5V_{DC}$ supply, a $220V_{AC}$ supply and a current transformer with similar parameters to the real one, connected in parallel with the load resistor R_b. For the offset, the R1 and R2 resistors have been connected to the circuit as a voltage divider between the two types of sources, having high values to minimize the consumption on the acquisition board.

The acquisition of the input signal (red) and the output signal (blue), from the electronic conditioning circuit is displayed with the virtual oscilloscope XSC1, over a 50ms period. Also, the offset between the two signals, which confirms the operation according to our requirements, of the developed circuit (Figure 4.2) can also be observed.

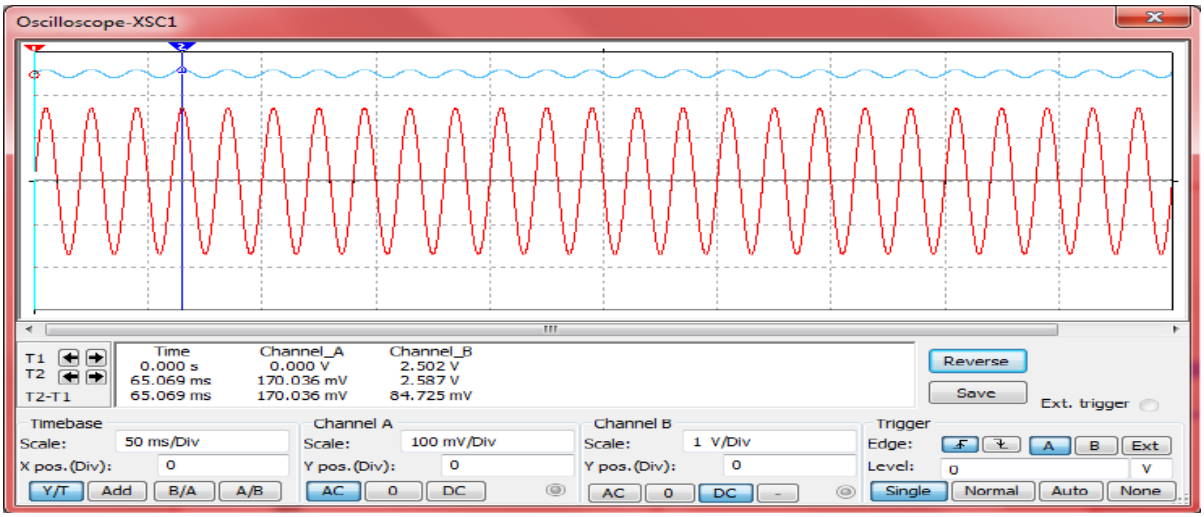


Figure. 4.2. The graph with the theoretical simulation results in Multisim for the input signal (red) in the circuit and the output signal (blue) out the circuit, captured by the virtual instrument XSC1.

The second experimental ***stage*** is marked by performing measurements in laboratory conditions with the MACHRES system, on a purely resistive ideal consumer (set at the maximum), for checking and eventually calibrating the reading and calculation parameters in the processing algorithm.

Such a preliminary measurement was made with an oscilloscope connected to the output of the signal from the secondary winding of the CT current sensor, and the output of the signal from the conditioning circuit, to the ADC port, on the acquisition board of the MACHRES system (Figure 4.3).

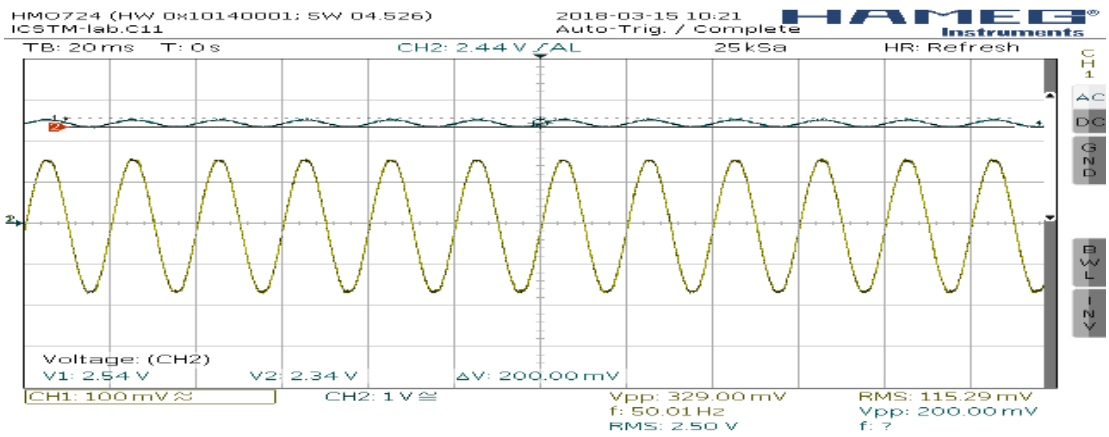


Figure. 4.3. Practical measurement with the laboratory oscilloscope of the input signal (without offset, 329 $mV_{pk\text{-}pk}$) and the output signal (offset 2.5V and attenuated, 200 $mV_{pk\text{-}pk}$), with the current sensor SCT-013-030 connected to a purely resistive consumer.

Multiple-period signal analysis over a 20ms time base, confirms the theoretical results previously discussed with regard to the accuracy of rms by calculations.

Measurements made with the MACHRES system on a purely resistive consumer were compared in parallel (pairs per unit of measure) with the measurements of an industrial category IV multimeter, certified and calibrated according to IEC 61010 [125], in Table 4.1.

Table 4.1. Parallel measurements with Chauvin Arnoux F607 versus MACHRES.

n	***Parallel-Pair Measurements (Current, Voltage and Power)***					
	a) - multimeter samples, (b) - samples MACHRES (slave)					
	I_{rms}		U_{rms}		***P***	
-	***a***	***b***	***a***	***b***	***a***	***b***
1	*8.19*	*8.186*	*217*	*217.6*	*1777*	*1781*
2	*8.2*	*8.19*	*217*	*217.8*	*1779*	*1783*
3	*8.19*	*8.185*	*218*	*218.2*	*1785*	*1785*
4	*8.19*	*8.185*	*218*	*218.3*	*1785*	*1786*
5	*8.19*	*8.185*	*217*	*217.9*	*1777*	*1783*
6	*8.19*	*8.186*	*217*	*217.8*	*1777*	*1782*
7	*8.19*	*8.186*	*217*	*217.7*	*1777*	*1782*
8	*8.19*	*8.185*	*217*	*217.7*	*1777*	*1781*
9	*8.18*	*8.178*	*218*	*218.1*	*1783*	*1783*
10	*8.18*	*8.178*	*218*	*218.2*	*1783*	*1784*
11	*8.18*	*8.178*	*218*	*218.1*	*1783*	*1783*
12	*8.18*	*8.177*	*217*	*217.9*	*1775*	*1781*
13	*8.19*	*8.186*	*218*	*218*	*1785*	*1784*
14	*8.19*	*8.185*	*217*	*217.9*	*1777*	*1783*
15	*8.18*	*8.181*	*217*	*217.8*	*1775*	*1781*
16	*8.18*	*8.184*	*218*	*218.1*	*1783*	*1784*
17	*8.18*	*8.183*	*218*	*218.3*	*1783*	*1786*
18	*8.18*	*8.183*	*218*	*218.4*	*1783*	*1787*
19	*8.18*	*8.182*	*218*	*218.2*	*1783*	*1785*
20	*8.18*	*8.184*	*218*	*218.4*	*1783*	*1787*
SSD	***0.006***	***0.003***	***0.51***	***0.244***	***3.606***	***1.959***

Although the measurements were performed over a few hours, we synthesized the data recorded as 20 samples relevant for assessing the deviation level from the data set media using the Sample Standard Deviation method (4.9):

$$SSD_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \qquad (4.9)$$

, where n is the number of samples, $\bar{x}$ is the average of each sample, while x_i is the value of each sample.

In Figure 4.4, a graph is described with a number of 60 representative samples of the measurements, made with the two above mentioned equipments with respect to the electrical power measured in the circuit.

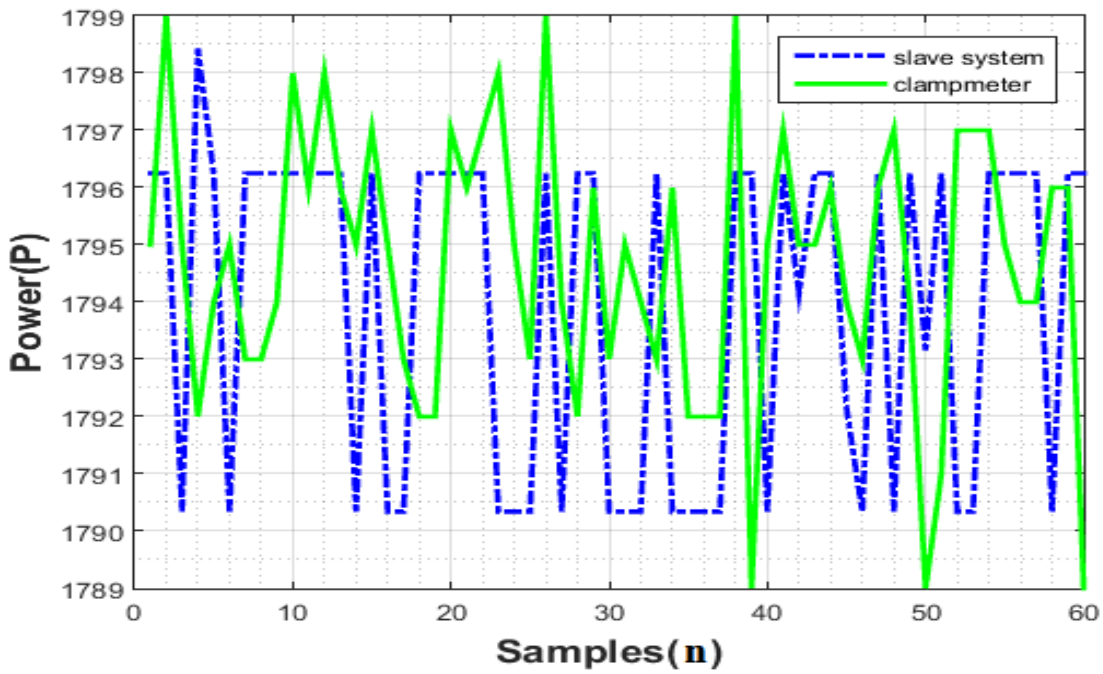


Figure. 4.4. The comparative graph between the power measured with the slave system and the multimeter.

From both the chart and the table, we conclude that the recorded measurements are very close, taking as representative calibration benchmark the industrial multimeter.

The measurements presented are intermediate, being resumed by successive tests and trial and error corrections, performed in the processing algorithm, to improve the displayed results, as a further development of the system.

The third stage of system development is represented by the mathematical calculation of the system on active power, based on the measurements made and the display of the data acquired for real-time access and information of the prosumer, over the active electrical power absorbed in the circuit at that time.

In conclusion, the active power can be expressed as [127]:

$$P_{med} = \frac{1}{T}\int_0^T p(t)dt = \frac{U_{vf} I_{vf}}{2} cos\varphi = U_{rms} \cdot I_{rms} \cdot cos\varphi = U \cdot I \cdot cos\varphi \qquad (4.14)$$

, thus in our case where the consumer is an ideal resistor, both the voltage (*U*) and the current (*I*) are in phase, and the power factor is 1, the value of the apparent power being equal to the value of the active power:

$$S = P = U \cdot I \quad (4.15)$$

As discussed in the previous chapters, MACHRES has several options for displaying data, either on the offline server or on the online client server [128].

In the Figures 4.6 (**a**), 4.6 (**b**) and 4.6 (**c**), it is plotted on the on-line server, over a 15 minute interval, the values (voltage, current and power calculated) sent by the master microsystem, values taken from the slave microsystem, in real time. Powering the consumer, is highlighted in graphs, where we see a sudden increase from 0 value to the initial read value.

The advantage of the offline server is that these data remain permanently stored and can be accessed by the prosumer at any time, while the online data displayed on the client server is volatile and does not offer the option of storing it for free.

On the offline HTML page where the three recorded values are displayed, we have implemented the graph save option as a jpeg or pdf file, so the user does not have to manually look for a specific set of values in the dataset (CSV) from the master microsystem.

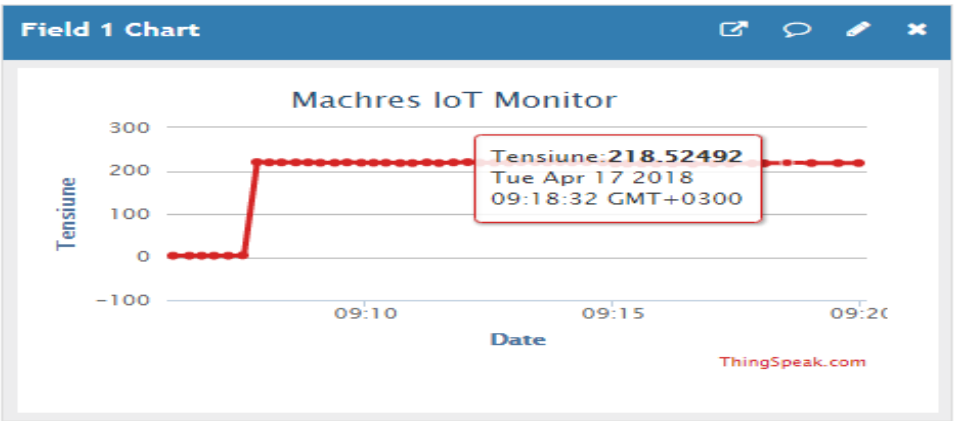


Figure. 4.6 (a). ThingSpeak server display, recorded voltage value (V) field.

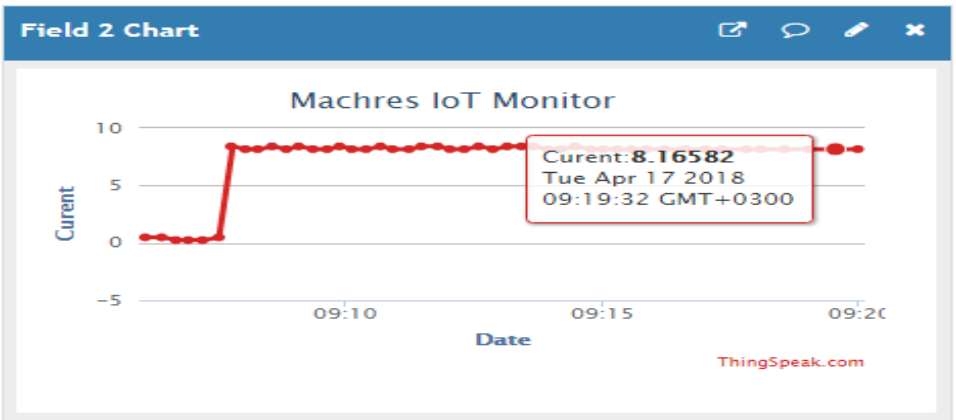


Figure. 4.6 (b). ThingSpeak server display, recorded current value (A) field.

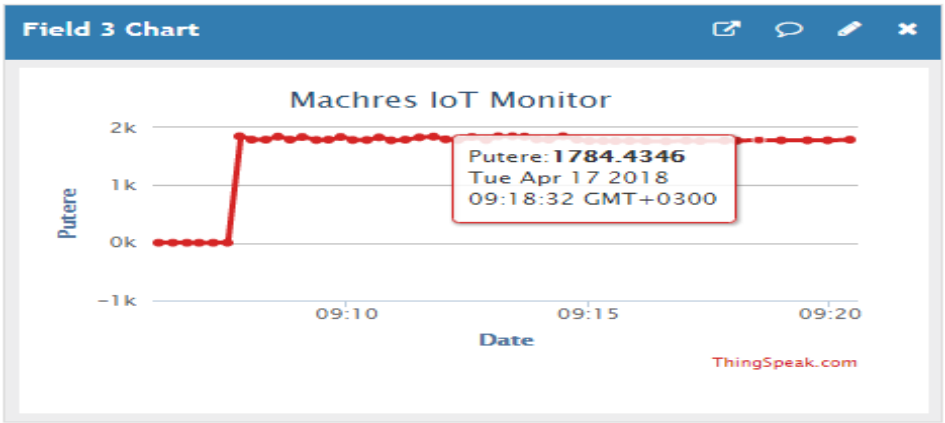


Figure. 4.6 (c). ThingSpeak server display, recorded power value (W) field.

In parallel, we made a capture (Figure 4.7) with the monitoring plot provided by the offline master server, shown on an HTML page that can be accessed either from a computer or from a mobile phone or tablet (Figure 4.8).

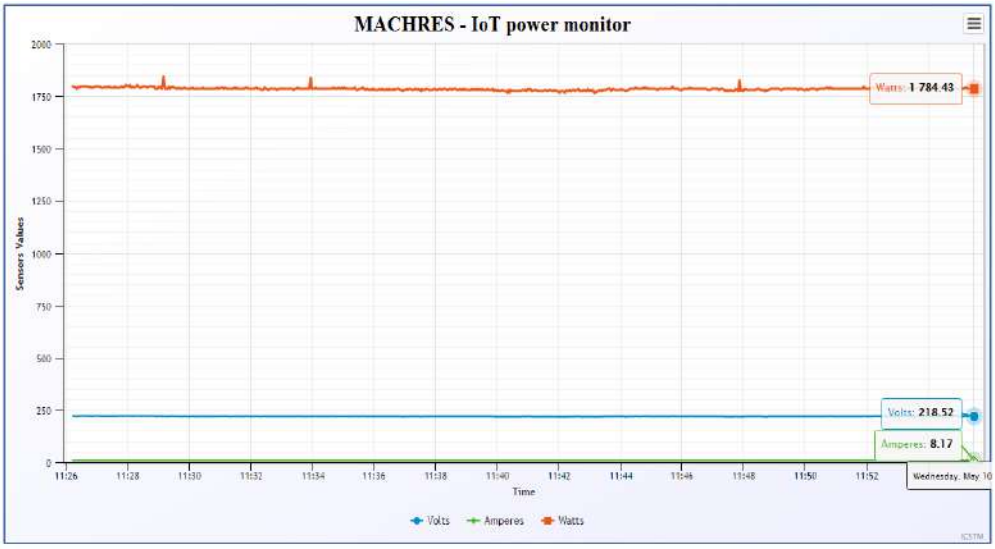


Figure. 4.7. Plot of the offline master server's HTML page, with the values read from the slave microsystem (server query with computer).

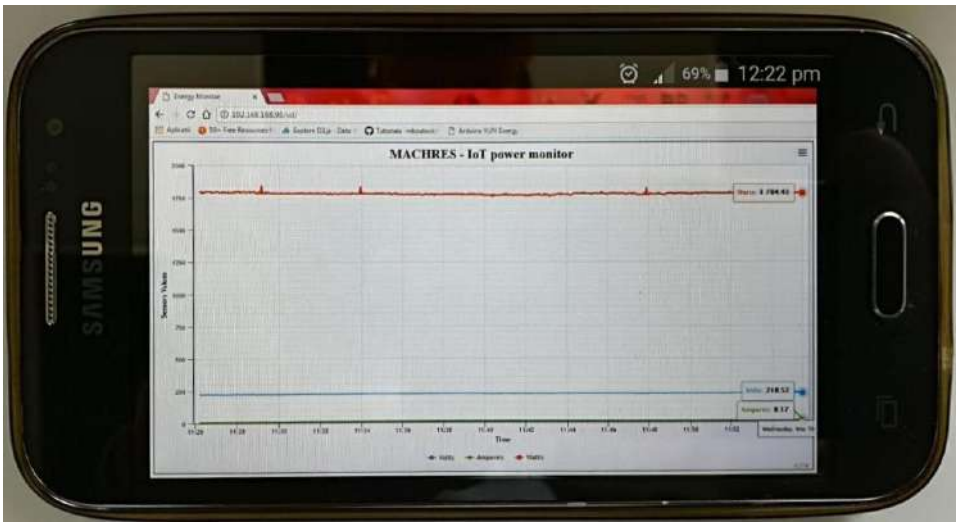


Figure. 4.8. Plot of the offline master server's HTML page with the values read from the slave microsystem (server query with mobile phone).

The master microsystem has been configured to perform five main functions:

- acquire binary data via the I2C port from the slave microsystem and convert them into numerical data (power, voltage and current);
- stores numerical data in the form of CSV files with the timestamp of the records on an SD card;
- graphically display the three values read from CSV files on a local web page;

- display the numerical data from the current and voltage sensors on the serial port (9600 bps);
- send real-time numeric data to an external client server (ThingSpeak) to display these data as separate graphs accessible anywhere online.

These functions have been implemented by us to help the prosumer (who produces and consumes electricity at the same time) informing him about the consumption of household appliances in his own household. This helps empowering, modeling, and awareness of residents in the off-grid building on daily electrical consumption habits for human needs versus power produced.

The slave microsystem has been configured to perform seven main functions:

- acquire analog data from current and voltage sensors;
- acquire digital data from the water level sensor;
- acquire digital data from the DC solar charger with programmable relay (SCC) and the DC hydroelectric charger with programmable relay (HCC);
- acquire the date and time from the RTC module through the I2C protocol;
- send the numerical data from the current and voltage sensors via the I2C protocol to the master microsystem;
- control the electrovalve (EV), the water pump (WP) and a large consumer (LC);
- display the numeric data from the current and voltage sensors on the serial port (9600 bps).

The slave microsystem represents the main core of the global electronic system and the power system. Its role is a very important one, namely to process all the information received from the input devices, and to execute certain procedures from the algorithm through the output devices, depending on the information received.

For the execution of automatic day / night functions, there were four distinct conditional cases in the slave microsystem algorithm:

- **Case 1** – if at the preset time in the RTC, solar radiation is detected by the DC solar charger with programmable relay (SCC), and if the water level sensor (WS) detects an empty water tank – then the electrovalve (EV) stays closed and the large consumer (LC) deactivated, while the water oump (WP) will start until the water level sensor (WS) will detect a filled water tank;

- **Case 2** - if at the preset time in the RTC, there is solar radiation detected by the DC solar charger with programmable relay (SCC), and if the water level sensor (WS) senses that the water tank is full - then it will only start the large consumer (LC) or washing machine;
- **Case 3** - if at the preset time in the RTC, there is no solar radiation detected by the DC solar charger with programmable relay (SCC), and if the water level sensor (WS) notices that the water tank is empty - then all the hydroelectric system devices will be deactivated to facilitate just charging the photovoltaic system batteries throughout the day;
- **Case 4** - if at the preset time in the RTC, there is no solar radiation detected by the DC solar charger with programmable relay (SCC), and if the water level sensor (WS) notices that the water tank is full - then all hydroelectric devices will be deactivated to facilitate just the charging of the photovoltaic system's batteries throughout the day; while the water tank will be used overnight to charge the batteries, when the DC hydroelectric charger with programmable relay (HCC) detects whether the battery has reached a DOD of no more than 30%.

In order to analyze the state of charge of the battery bank from the studied photovoltaic system, we performed a data acquisition and representation, on two different periods, namely June-July 2017 and November 2016. The time taken for the measurements was 7 days, where during the day there was a charging process of the batteries with solar energy, and during the night, a process of discharge by using 12-20 consumers represented by LED poles for street lighting, with a power consumption of 50W/unit, installed in campus. This insular smart-grid system is fully automated and configured for energy efficiency, as consumers have built-in electronic circuit with photoelectric sensors that allow an adaptive consumption depending on the degree of natural illumination in the area of each pole. Their total power nonsumption is approximately 0.6kW or 1kW respectively. In the summer scenario, according to the graphs, we find that all the days were sunny, keeping a similar pattern of battery state of charge to 100% (Figure 4.11, Figure 4.12, Figure 4.13, Figure 4.14).

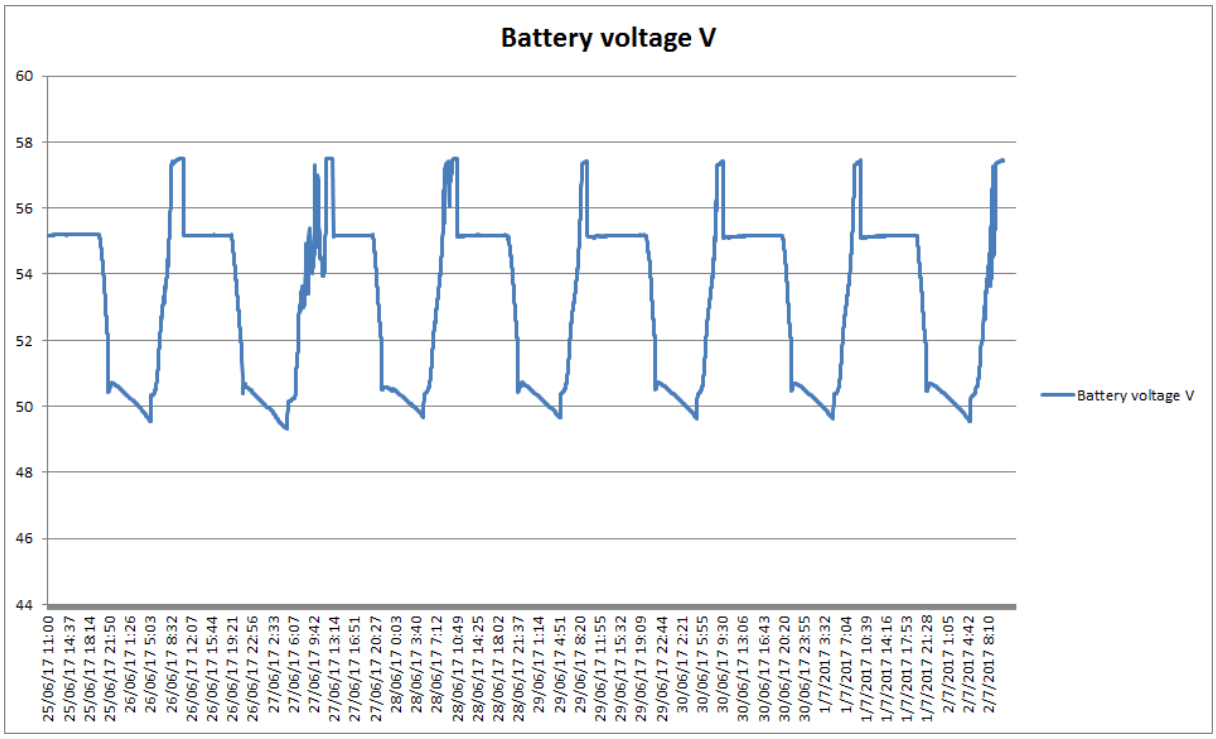


Figure. 4.11. Graphic representation of battery voltage for a period of 7 days for June-July 2017 period.

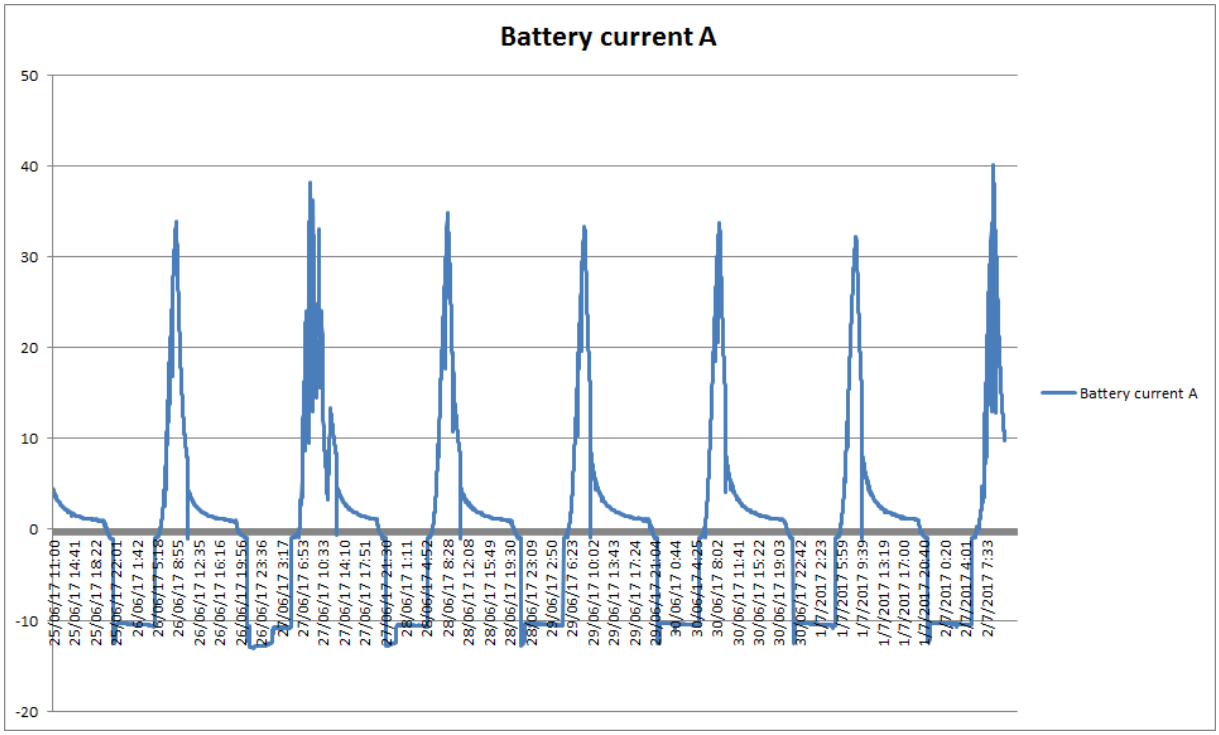


Figure. 4.12. Graphic representation of current at the battery bank for a period of 7 days for June-July 2017 period.

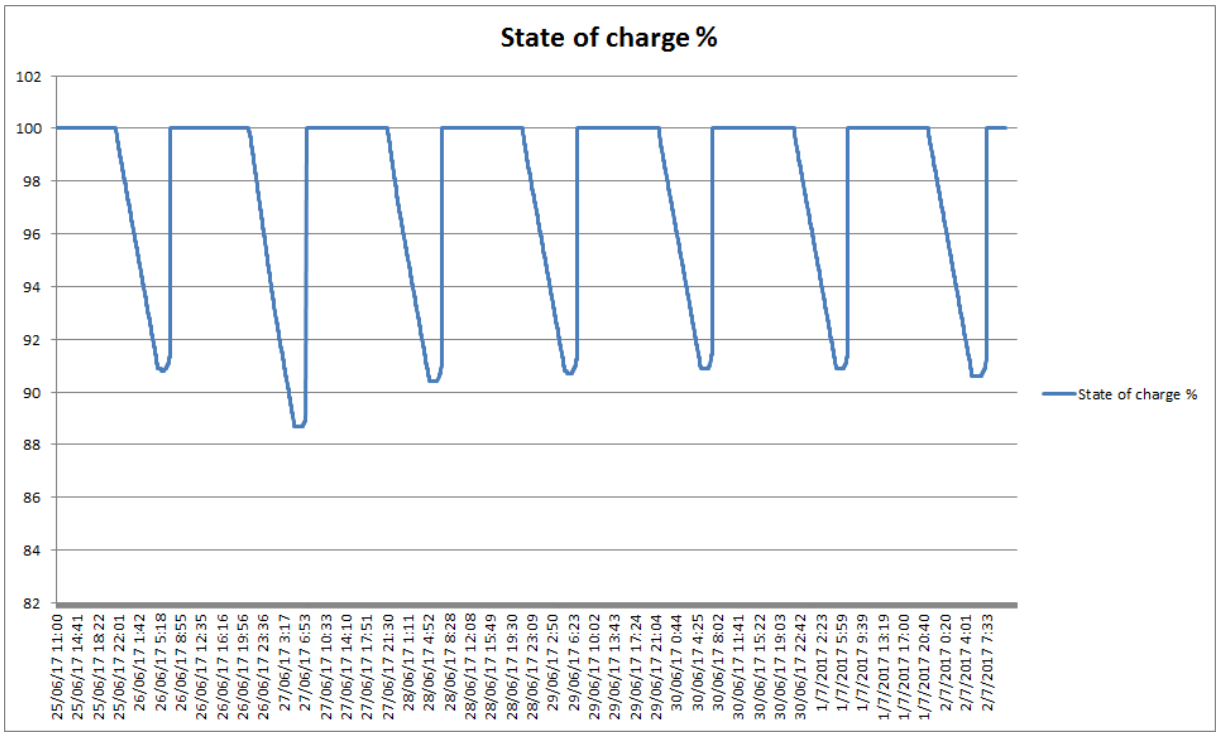


Figure. 4.13. Graphic representation of the state of charge/discharge of the battery bank for a period of 7 days for June-July 2017 period.

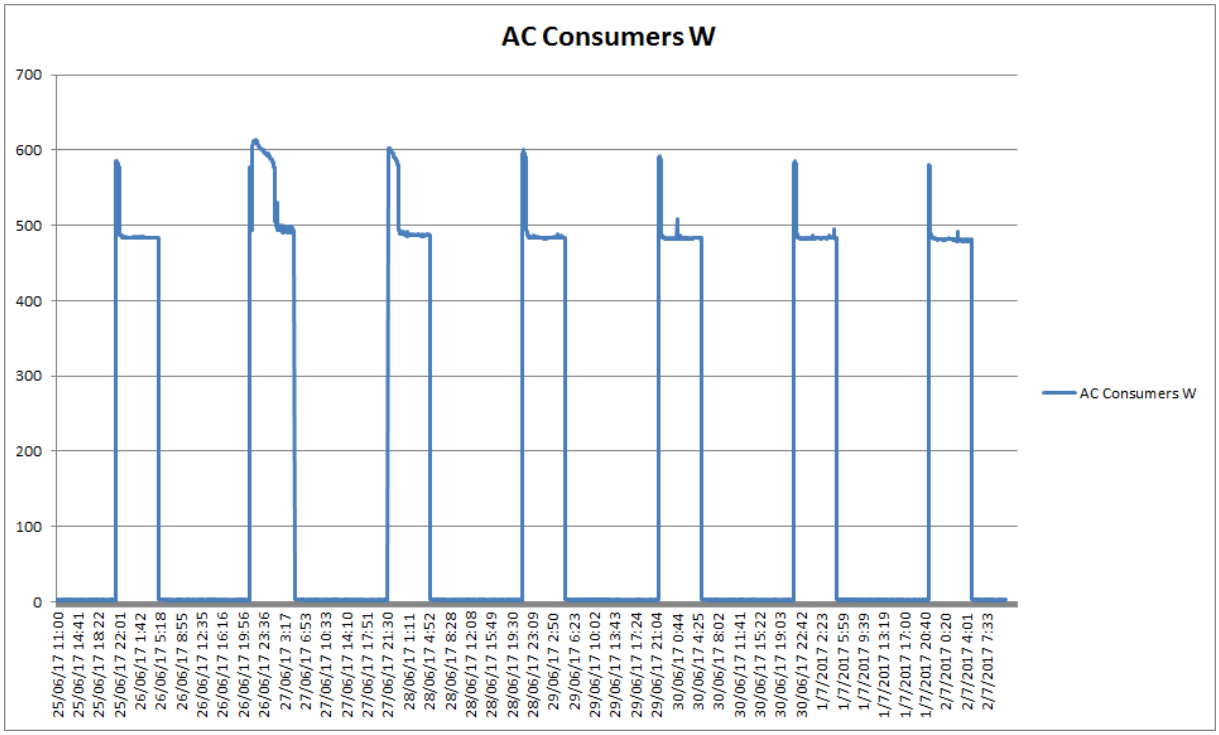


Figure. 4.14. Graphic representation of power consumption recorded at the battery bank for a period of 7 days for June-July 2017 period.

For the fall scenario, according to the data, one can notice a notable difference in the charging regime of the batteries, where 4 days were sunny and the batteries were charged up to the maximum capacity, while for 3 consecutive days it was cloudy, so this time, the capacity of the batteries remained stable at about 58% (Figure 4.15, Figure 4.16, Figure 4.17, Figure 4.18).

As a measure of protection, the islanded smart-grid system has limited the lighting poles power consumption to several hours a night.

One aspect to note is that in the summer scenario (2017), there were 12 consumers (totaling 600W absorbed power) while for the fall scenario (2016), there were 20 consumers (totaling the absorbed power 1kW).

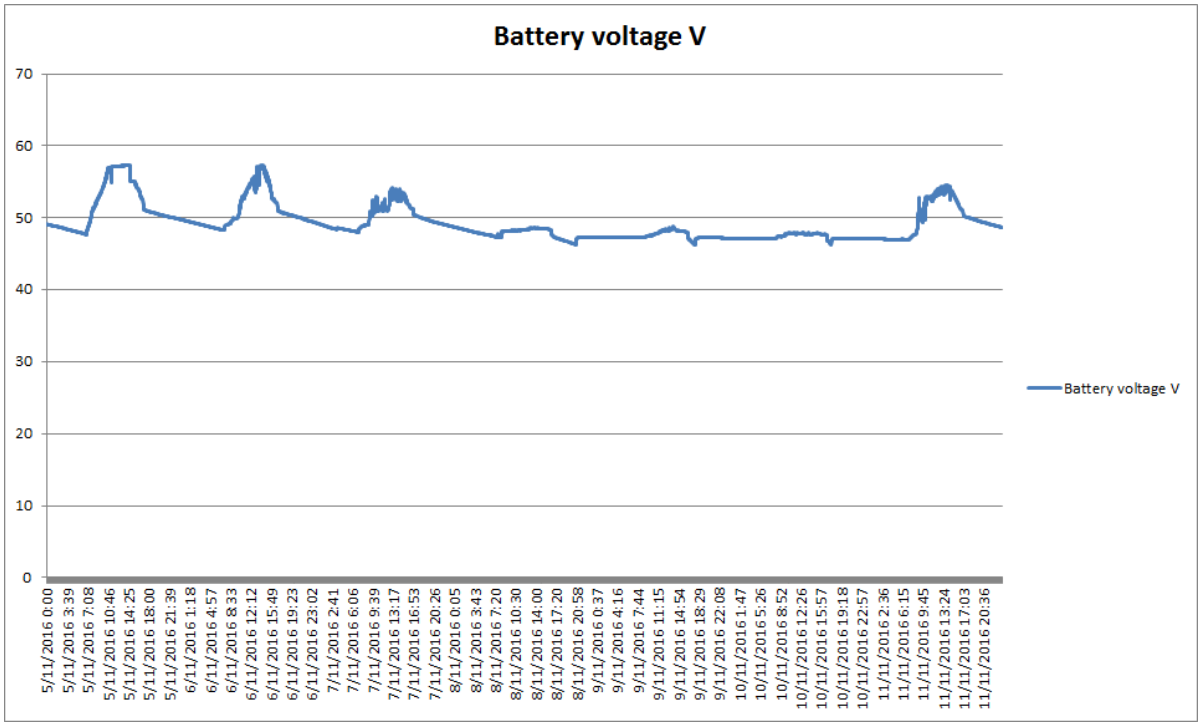


Figure. 4.15. The graphic representation of the voltage recorded at the battery bank for a period of 7 days for November 2016 period.

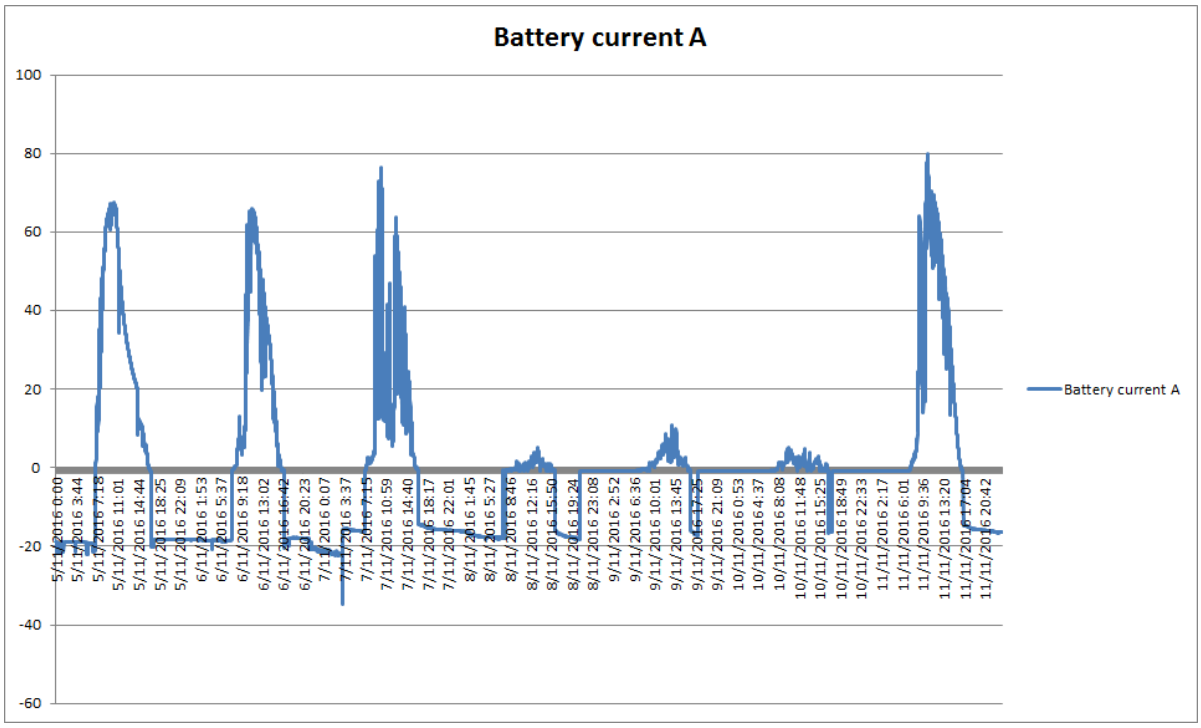


Figure. 4.16. Graphic representation of current at the battery bank over a 7-day period for November 2016 period.

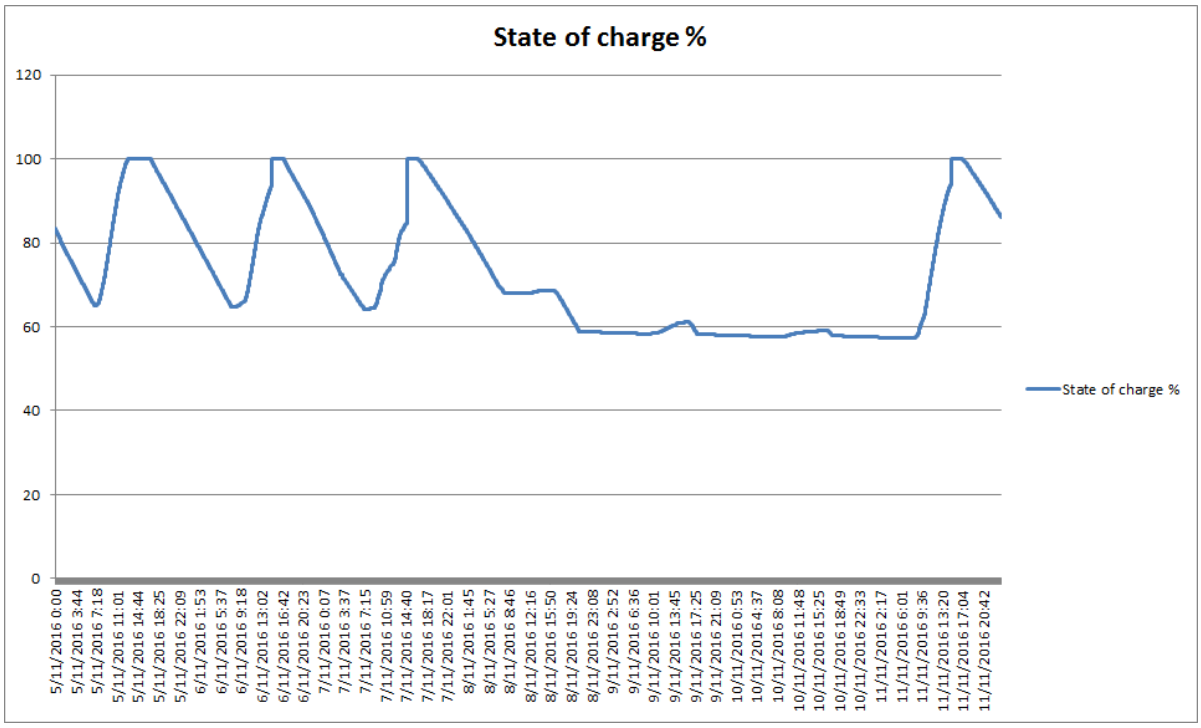


Figure. 4.17. Graphic representation of the state of charge/discharge of the battery bank for a period of 7 days for November 2016 period.

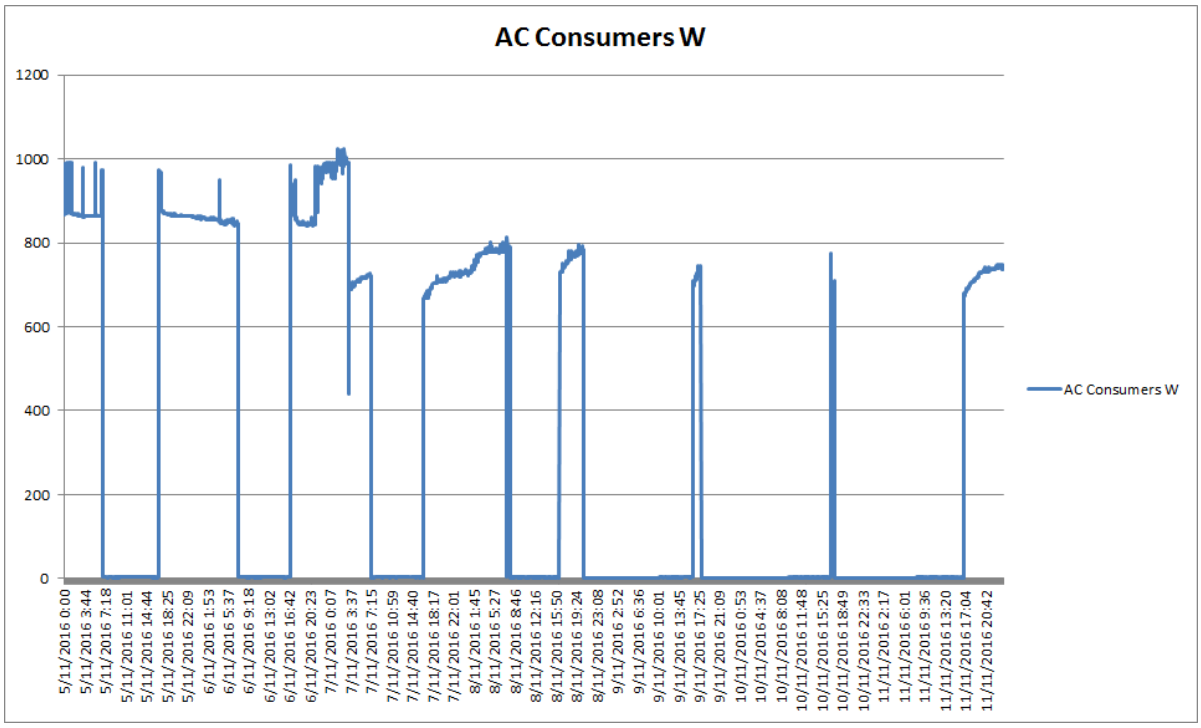


Figure. 4.18. Graphic representation of power consumption recorded at the battery bank over a 7-day period for November 2016 period.

We have compiled a table with the estimated energy consumption of all household appliances for a one-day summertime [133] that falls within the limits of the described system but at the same time satisfies all human needs for a family (Table 4.3).

Table 4.3. Appliances electrical consumption calculation for 24h in a residential home.

Consumer type	**Nb. Pc.**	**Total nominal power (W)**	**Usage time**	**Total consumption (kWh/day)**
TV	*1*	*55*	*8h*	*0,440*
Laptop	*1*	*32*	*3h*	*0,096*
Central heating (gas tank/grid)	*1*	*130*	*2h*	*0,260*
LED bulbs	*6*	*60*	*5h*	*0,300*
Electric stove	*1*	*1200*	*40min*	*0,800*
Vacuum cleaner	*1*	*800*	*20min*	*0,270*
Washing machine	*1*	*1600*	*40min*	*1,066*
Refrigerator	*1*	*88*	*24h*	*0,704*

Others	*n*	*500*	*1h*	*0,500*
Total	**-**	***4465***	**-**	***4,43***
Consumption mean kW/h	**-**	**-**	**-**	***0,18***

In conclusion, according to the theoretical calculations, an estimated consumption of 4.43kWh / day is sufficient for a family of three members in the summer season, so the above analysis results in the battery bank having at least two days of autonomy without solar energy, within the 30% discharge limit (if loaded 100%).

Although it is very difficult to predict a household energy consumption behavior by a household prosumer, the consumption being always nonlinear, it is considered a theoretical scenario where the occupants of the dwelling are working daily on the basis of an 8h / day work program, ranging from 8:00 o'clock to 16:00 o'clock, permanent consumers being the refrigerator, which can not be disconnected from the grid, and the permanently connected stand-by consumers in the electricity grid, as well as the washing machine that works conditionally (Figure 4.19).

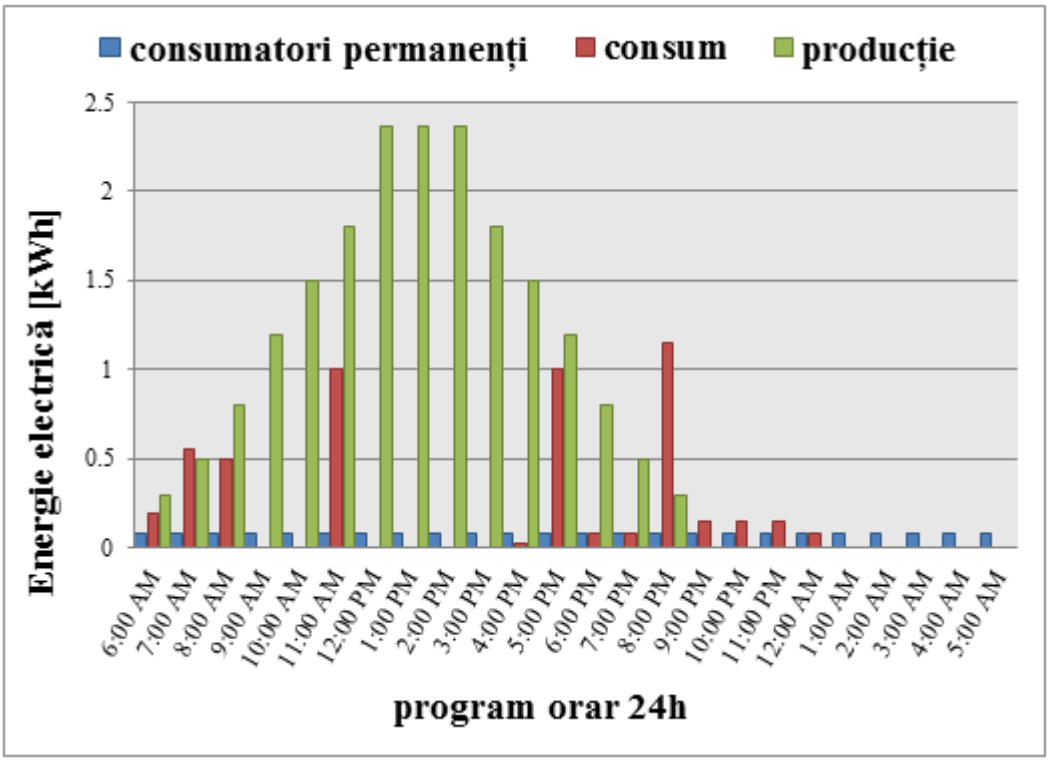


Figure. 4.19. Theoretical graphical representation of energy consumption and production from the photovoltaic system over a 24h - sunny / summer season.

The washing machine is considered to be the largest consumer in the dwelling that can be operated automatically by the MACHRES system without supervision during the day between 11:00 and 12:00 - set from the RTC and when solar radiation is detected by the SCC solar charger, thus eliminating the night-time power consumption from the battery bank. Therefore, between 16:00 and 00:00 the occupants consume electricity for daily activities as shown in the graph.

Table 4.4 presents a detailed financial calculus for the acquisition and installation of both the MACHRES electronic system and the hydroelectric system. We recall that only the investment for the photovoltaic platform was worth in approx. 25.000 euros, compared to the system proposed by us, which summed up a total of approx. 12.000 euros.

Table 4.4. Approximate calculations of acquisition, transport and installation costs of the MACHRES / Hydroelectric system.

Components	**Cost**	**Nb. pc.**	**Warranty**
MACHRES system (master / slave microsystems)	100 €	1	10 years
Water tank PP type	4,360 €	1	15 years
Scaffolding, anchor and concrete slabs (for water tank)	3,850 €	1	30 years
Water pump	56 €	1	6 years
Turbine-generator	226 €	1	6 years
Electrovalve	47 €	1	8 years
Water circulation system (pipes and fittings)	825 €	1	30 years
External protective box (for water pump and turbine-generator)	200 €	1	12 years
Electrical panel with connectors and fuses (hydroelectric system)	150 €	1	12 years
Sensors and modules (water sensor, current sensor, voltage sensor, RTC module, relay module, shield)	50 €	6	10 years
DC Power Supplies (12V / 5V)	11 €	2	10 years
Software application	100 €	1	*N/A*
Electrical cables and other electrical accessories	100 €	1	50 years
Installation costs + shipping	2,000 €	*N/A*	*N/A*
Total costs	**12,075 €**	*N/A*	*N/A*

To reduce the spending as much as possible, alternative solutions such as reconditioned components or recycled, environmentally friendly materials can be used; all being sold much cheaper at auctions, especially for those with high costs such as the water tank and metal scaffolding.

CH. 5 CONCLUSIONS

Our approach, in the presented paper, **proposes a solution for residential and non-residential prosumers**, that **operate off-grid**, through an **intelligent system (MACHRES)**, able to achieve both a **monitoring of the power consumed** by the appliances and a **compatibility between the electrical components** of the general system, using **two alternative energy sources (solar and hydro)**, with a certain **daytime and night-time consumption control**.

Given that such a system involves costs too high to be achieved in a doctoral thesis, and its complexity prevents a precise prediction of actual results, we have separately addressed each energy system, by means of **theoretical calculations (hydroelectric system)** and of **practical measurements (photovoltaic system with consumers)**.

Considering that measurements on all categories of household appliances can only be carried out by authorized personnel, a simplified approach has been approached by taking the ideal resistive consumer to test the system's monitoring function. Also, a possible scenario of production and consumption has been generated, which may be relative to the residents consumption scheme and depending on the energy generation possibilities of the system at that time.

The measurements made on the battery bank of the photovoltaic platform, were focused on: the **initial voltage** of the bank; the value of the daily **input current** to the battery bank and the **absorbed current** at night by the street lighting systems (BMV system represents in the CSV file the current absorbed from the bank, with the symbol "-" in front of the reading); the value of the cyclic **charge/discharge state of the battery bank**, and of course, the **consumption** of street lighting poles, expressed in watts.

For each season, daily measurements were made (day and night) for **7 days in a row**, where **depending on the amount of light** sensed by the **photoelectric sensors** of the street **lighting poles**, it was **automatically** allowed by the **islanded system**, a **proportional consumption** from the **battery bank**. If the bank's state of discharge has dropped below 30%, **the system has automatically reduced** the **consumption time for the poles**.

The variety of applications where **this** flexible **system** can be deployed are countless, also taking into account the **low costs**, **quick setup** and **short installation time**.

In the current context of global climate change and the accelerated process of anthropology, both **countries governments and major energy sector developers and producers** are still trying to **identify the most appropriate solutions** for **reducing** CO2 **emissions**, making **energy consumption more efficient** and **meeting the demand of energy consumption** through **renewable energy sources**, that **is increasing** by each year.

Consequently, at both national and international level, **private firms** and **state institutions**, with the proactive **involvement** of the **academic environment**, have launched numerous **programs, projects, initiatives, in conjunction with ideas and scientific contributions for implementation**, for: **smart meters in smart cities** [135], **smart charging stations for electric vehicles** [136], **expert monitoring and diagnostics systems based on artificial intelligence techniques** [137], s**mart control systems for street street lighting efficiency** [138], **automatic electromechanical drive systems** [139], **conditioning systems for data acquisition** [140], **integration of renewable sources into buildings** [141], and so on; all this, as a decisive step towards **future smart grids** of **very large size**.

At the same time, **actions of decentralization** of **electric energy sources** were initiated, by the **isolation of the generating/consuming renewable energy entities** constituted in the form of **insular micro-networks**, from the **classic energy sources** with **fossil fuels**.

Thus, we are witnessing a **paradigm shift** in the **identification** of the **electricity producer and consumer**, which resulted in the emergence of a new type of element, represented by the ***prosumer*** who **plays a double role**: that of the **producer and consumer** of **electricity**. In conclusion, we can say that for the future, the **prosumer's** involvement in the **energy production** scheme increases the likelihood that the **classical systems of production and distribution of energy**, as we know, will undergo **major transformations or even disappear** through the process of **decentralization**.

Original contributions

In the present paper we have proposed an **affordable**, **cheap and achievable solution** for the **compatibility of modern energy equipments** in a **dwelling** or **islanded building** so that there is a **balanced efficiency** between the power **generation** level and the **consumption** level. This could be achieved by developing an electronic monitoring and control system based on sensors, execution algorithms and data reading, which, combined with **two alternative hybrid energy systems**, can **prolong the energy autonomy** of the dwelling, if which there is an unexpected consumption at night.

Shortly, the most important original contribution of the presented paper is the introduction of a **new concept of hybridization** of two energy entities, by the compatibilization of its **components** at both the **electrical** and **logical** levels. This concept is accomplished by the **MACHRES** system that **integrates** both **hardware and software components** for **optimal** operation and has the **ultimate goal** of **energy consumption efficiency** in an independent energy building, using a hydroelectric system with a "battery" or "energy buffer" role.

Below we will enumerate the original contributions of the author:

- ***Proposing an electronic power monitoring system that matches and controls, through electrical equipment, an electrical consumer (with a preset operating time of a large household consumer - washing machine) and two renewable energy sources in hybrid-islanded configuration: photovoltaic and hydroelectric (with water storage in the basin), for energy efficiency in a home - CH 3;***
- ***Development and implementation of the real-time data display software (online server and offline server) and for the management of the hydroelectric system and household appliance - CH 4;***
- ***Identification of the needs and opportunities for implementing a hybrid system with renewable sources – CH 2;***
- ***Making experimental measurements on an electrical consumer and data acquisition from the islanded photovoltaic system for two seasons – CH 4.***

Research and development directions

The MACHRES system can be used in multiple applications where there are multiple renewable energy sources and where it is desirable to minimize and streamline electricity consumption in an insular regime. Of these possible implementation applications, we list some of them:

- ***Isolated households;***
- ***Charging stations for electric vehicles;***
- ***Military bases;***
- ***Campuses or camps;***
- ***Theaters of operation;***
- ***Campaign hospitals;***
- ***Calamity zones;***
- ***Mobile research laboratories;***
- ***Observation and data collection stations;***
- ***Inaccessible or poor areas;***
- ***Holiday houses.***

The system **can also be configured** to **work for disabled or unused water towers** from the territory of any country [142] **to generate electricity on demand**, to the homes in its vicinity.

By **adding** electronic sensors modules and by developing a conformable firmware, the system can be improved to perform the **function of a weather station** to **inform the prosumer** of the conditions outside the dwelling; or **may act as a fire and leakage warning system**.

In conclusion, we can say that **with the flexibility and modularity** of the approached system, the possibilities regarding the **development of automations** with IoT applications for **energy efficiency** are virtually **limitless**.

Further development of the system implies both **improvements for greater energy efficiency** but also **new functions implementations** that **support the prosumer** through the process of **smartification** such as:

- ***Developing a 24-hour power consumption (kWh / day) feature, on the internal server web page;***
- ***Improving the algorithm precision of calculation for the measured values;***
- ***Introduction of the wireless control function of all electric consumers using SSR relays to optimize energy consumption on demand;***
- ***Introduction of automatic electrovalve control function for constant flow of water;***
- ***Introducing a monitoring subsistem and iterative approximation of the electricity supply that the water tower holds, related to the water level at that time;***
- ***Introduction of fire and gas leak detection and prevention function with acoustic, optical alarm and GSM data transmission system;***
- ***Inserting the weather station function, displaying the values recorded on the internal server web page;***
- ***Equipping the water basin with a special outer insulation to be used in the winter;***
- ***Equipping the roof and faces of the water basin with flexible, radial solar panels for energy and construction efficiency.***

SCIENTIFIC WORK

Journals:

1. **Viorel MIRON-ALEXE**, „*Remote Smart Metering For Multiple Utilities*", 2014, SBEEF, pp.42-47, no.1, vol. 25, ISSN: 1843-6188 (*Link:* ***http://www.buletinfie.ro/ro/numere2014-1/Articol_7.pdf***).
2. **Viorel MIRON-ALEXE**, „*Remote Energy Sharing*", 2015, SBEEF, pp.21-26, no.2, vol. 30, ISSN: 1843-6188 (*Link:* ***http://buletinfie.ro/ro/numere2015-2/Articol_4.pdf***).
3. Nicolae VASILE, **Viorel MIRON-ALEXE**, Bogdan SALISTEANU, Andrei NEDELSCHI, Ramona CHIRESCU, Cristian DIVOIU, „*Systemic analysis strategy in the renewable energy sources*", 2015, SBEEF, pp.19-23, no.4, vol. 32, ISSN: 1843-6188 (*Link:* ***http://www.buletinfie.ro/en/numere2015-4/Articol_03.pdf***).
4. **Viorel MIRON-ALEXE**, „*Iot Power Consumption Monitoring System For Off-Grid Households*", 2017, UPSB, pp.13-20, no.2, vol.17, eISSN: 2344-2166 (*Link:* ***http://bulletin.feccupit.ro/archive/pdf/2017_2_2.pdf***).
5. **Viorel MIRON-ALEXE**, Ion VASILE, „*Mathematical Calculus For Analog Signal Processing Algorithm Of Sensors Used In Household Power Monitoring System*", 2017, JOSA, pp.853-860, no.4, vol. 41, ISSN: 1844-9581 (*Link:* ***http://www.icstm.ro/DOCS/josa/josa_2017_4/c_04_Miron.pdf***).
6. Ion VASILE, Vicentiu VASILE, **Viorel MIRON-ALEXE**, Emil DIACONU, Ion CACIULA, Horia ANDREI, „*Simulation And Modeling Of Battery Operation Used In Real-Time Monitoring Equipments Of Vital Human Parameters*", 2017, JOSA, pp.861-870, no.4, vol. 41, ISSN: 1844-9581 (*Link:* ***http://www.icstm.ro/DOCS/josa/josa_2017_4/c_05_Vasile.pdf***).

Proceedings:

1. **Viorel MIRON-ALEXE**, „*Comparative Study Regarding Measurements of Different AC Current Sensors*", International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering - (ISFEE 2016), IEEE Xplore, 2016, DOI: 10.1109/ISFEE.2016.7803152 (*Link:* ***http://ieeexplore.ieee.org/document/7803152/***).

2. **Viorel MIRON-ALEXE**, Iulian BANCUTA, Nicolae VASILE, „*Hydroelectric Backup System for Off-Grid Households: Hybrid renewable energy sources management system*”, Electronics Computers and Artificial Intelligence - (ECAI 2017), IEEE Xplore, 2017, DOI: 10.1109/ECAI.2017.8166448 (*Link:* ***http://ieeexplore.ieee.org/document/8166448/***).
3. **Viorel MIRON-ALEXE**, Iulian BANCUTA, Nicolae VASILE, „*Renewable Energy Management Using Embedded Smart Systems*”, Conference for Sustainable Energy - (CSE 2017), Springer, 2017, DOI: 10.1007/978-3-319-63215-5_3 (*Link:* ***https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-63215-5_3***).

SELECTIVE REFERENCES

[1] Howell, S., Rezgui, Y., Hippolyte, J.-L., Jayan, B., Li, H. „Towards The Next Generation Of Smart Grids: Semantic And Holonic Multiagent Management Of Distributed Energy Resources”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 77, pp.193–214, 2017.

[7] Strasser T., Andrén F., Merdan M., Prostejovsky A., „Review of Trends and Challenges in Smart Grids: An Automation Point of View”, In: Mařík V., Lastra J.L.M., Skobelev P. (eds) Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems. HoloMAS 2013. Lecture Notes in Computer Science, vol 8062. Springer, Berlin, Heidelberg 2013.

[9] http://ses.jrc.ec.europa.eu/sites/ses.jrc.ec.europa.eu/files/u24/2014/project_maps_28_april_2014.html

[10] https://europa.eu/european-union/topics/energy_ro

[13] https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/2030-energy-strategy

[18] http://romaniansmartcity.ro/

[29] http://www.irena.org

[30] https://www.seforall.org

[31] http://www.worldbank.org

[32] https://data.worldbank.org/indicator/eg.elc.accs.zs

[34] http://datatopics.worldbank.org/sdgatlas/SDG-07-affordable-and-clean-energy.html

[35] http://datatopics.worldbank.org/sdgatlas/images/figures-png/figure7c.png

[37] http://arddzi.minind.ro

[40] http://www.anre.ro/download.php?f=hKh%2Fgg%3D%3D&t=vdeyut7dlcecrLbbvbY%3D

[46] http://www.termo.utcluj.ro/regenerabile/2_1.pdf

[48] http://www.termo.utcluj.ro/regenerabile/2_1_b.pdf

[50] A. Chauhan and R. P. Saini, „Renewable energy based power generation for stand-alone applications: A review”, International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability, Nagercoil, 2013, pp. 424-428, 2013.

[51] Glasnovic Zvonimir, Margeta Jure, „The features of sustainable Solar Hydroelectric Power Plant”, Renewable Energy, Elsevier, vol. 34,(no.7, pp. 1742-1751, 2009.

[56] http://www.fapesp.br/pdf/5023/PFPMCG_2702_forbes.pdf

[65] https://www.webopedia.com/TERM/A/API.html

[66] https://thingspeak.com

[67] https://despretot.info/api-application-programming-interface/

[68] http://916.icstm.ro

[69] https://www.arduino.cc/en/Main/Software

[75] https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/analog-io/analogread/

[76] http://916.icstm.ro/content/dotări

[77] https://www.autodesk.com/products/eagle/overview

[78] http://www.lpkf.com/products/rapid-pcb-prototyping/circuit-board-plotter/protomat-s103.htm

[123] Adascalitei A. Adrian, „Teoria circuitelor Electrice”, ed. Performantica, Iasi, pp. 387, 2015, ISBN 978-606-685-301-9.
[125] http://www.ti.com/lit/wp/slyy055/slyy055.pdf
[127] Cazacu E., „Bazele Electrotehnicii – Teoria Circuitelor Electrice”, ed. Matrix-Rom, Bucuresti, pp. 308, 2004, ISBN: 973-685-684-4.
[128] Miron-Alexe V, „Iot Power Consumption Monitoring System For Off-Grid Households”, 2017, UPSB, pp.13-20, no.2, vol.17, eISSN: 2344-2166.
[133] Miron-Alexe V., Bancuta I., Vasile N., „Renewable Energy Management Using Embedded Smart Systems”, Conference for Sustainable Energy - (CSE 2017), Springer, 2017, DOI: 10.1007/978-3-319-63215-5_3.
[135] Eremia M., Toma L.,” Catre Orasele Inteligente Ale Viitorului – Smart Cities”, in: „Lucrarile celei de-a VII-a editii a Conferintei anuale a ASTR” - Buletine AGIR, no. 2048.
[136] M. Clemente, M. P. Fanti, W. Ukovich, „Smart Management of Electric Vehicles Charging Operations: the Vehicle-to-Charging Station Assignment Problem”, in: Proceedings of the 19th World Congress The International Federation of Automatic Control Cape Town, South Africa. August 24-29, 2014.
[137] Popescu M.O., Popescu C.L., Gheorghe S., Ghita C., „Sisteme expert pentru diagnoza echipamentelor electrice”, Editura Electra, Bucuresti, pp. 124, 2002, ISBN: 9738067685, 9789738067684.
[138] Andrei H., Cepisca C., Dogaru V., Ivanovici T., Stancu L., Andrei P.C., „Measurements Analysis of Advanced System for Reducing the Energy Consumption of Public Street Lighting Systems”, PowerTech IEEE Bucharest, pp. 684-690, 2009.
[139] Gheorghe M., „Sisteme automate de acţionare electromecanică”, Editura Universitaria, Craiova, 2004, ISBN: 973-8043-525-5.
[140] Dogaru-Ulieru V., „Overview On Signal Conditioning In Data Acquisition Systems”, 2009, SBEEF, pp.7-11, no.1, ISSN: 1843-6188.
[141] Olariu, N., Ispas, F., Ivan, A., Let, D., Mantescu, G., Vaduva, E., Olteanu, L., „Testing results of the first Romanian BIPV application”, in: 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, France, 2004, ISBN 3-936338-14-0.
[142] Roshan Varghese Rajan, K. Suresh, Sanu Ipe, Arjun K. Kurup, Aby M. George, „Pico-Hydro Electric Power Generation from Residential Water Tank”, in: Int. J. Chem. Sci.: vol. 14, no. 1, pp. 421-426, 2016.

Curriculum vitae Europass

Personal Information

Surname / Name	**MIRON-ALEXE Viorel**
Address	Str. Avram Iancu, Bl 26, Sc C, Ap 51, cod postal 130066
Telephone	Mobile: +40 722275588
E-mail	alexev84@yahoo.com viorel.miron.alexe@gmail.com
Nationality	Romanian
Birth Date	19 ianuarie 1984
Gender	Masculine

Occupational domain

Research assistant

Experienţa profesională

Period	R.a. since 2014 - till prezent
Occupation	Research assistant
Main activities and responsibilities	Scientific research, dissemination in specialized publications and conferences / seminars, participation in research projects (national and international) carried out within the "Valahia" University of Targoviste - ICSTM
Employer name and address	Valahia University of Târgovişte - Multidisciplinary Scientific and Technological Research Institute Aleea Sinaia, Nr. 13, Targoviște, jud. Dambovița, România – postal code 130004
Activity domain	Research

Education

Period	2012-2018	2008-2009	2003-2008/2010-2013
Qualifications / diplomas	PhDs	Master's degree	Bachelor's degree
Main disciplines / acquired professional skills	Electrical Engineering / Engineering Sciences	Applied electronics, logic circuits, electronic circuits simulations	Applied electronics, special mathematics, power circuits, electronic circuits simulations Economics
	PhD	**Master**	**Faculty**
	Specialization: "Electrical Engineering"	Specialization: "Modern Telecommunication Systems, Processing and Transmission of Information"	Specialization: "Applied Electronics" Specialization: "Management" (DL)
Name and type of education institution / training provider	"Doctoral School for Engineering Sciences" - "Valahia" University of Târgovişte	"Valahia" University of Târgovişte - "Faculty of Electrical Engineering"	"Valahia" University of Târgovişte - "Faculty of Electrical Engineering" "Valahia" University of Târgovişte - "Faculty of Economics"

Personal skills and competences

Native language: **Romanian**

Foreign languages: **English, german**

Self-assessment

	comprehension				speech				writing	
European level (*)	Listening		Reading		Conversation		Oral speech		Writing level	
English language	C2	Independent user	C2	Independent user	C2	Independent user	C2	Independent user	C2	Independent user
German language	A1	Basic user	A1	Basic user	A1	Basic user	A1	Basic user	A1	Basic user

Social skills and competences: Team spirit, open to feedback.

Organisational skills and competences: Managerial and organizational skills, structured thinking, vision, generation of ideas and solutions.

Technical skills and competences: Knowledge in electrical engineering and CAD: SMD / TH electronic components, development of printed wiring and electronic circuits, microcontrollers and automation, sensors (alanogic / digital) and sensor development, intelligent applications, laboratory measurements, electronic products evaluation, retro-engineering , embedded / open-source platforms, Proteus, EagleCad, CircuitPro, Matlab, Arduino & Shields, Multisim, AVR programming, monitoring systems and energy efficiency, renewable energy systems, electronic consumer products development, stereolithography / 3D printing, IoT.

Computer skills and competences: Knowledge of computer operating under Windows / Linux, Office, programming and hardware / software, IT & C configurations.

Skills and merits at work - ICSTM:

- participation in ICTSM equipment training:
September. 2014-Training "Oriental Instruments Iqe-200" Quantum Efficiency Characterization System, UVT-ICSTM (PV Training)
September. 2014-Training "Laboratory-Oscillator, Multitest, Clampmeter, Form Gender, Power Analysis, Soldering Station", UVT-ICSTM (PV Training)
September. 2014-Training "Cartel System for Oriel Sol3a solar photovoltaic modules and cells / solar simulator", UVT-ICSTM (PV training)
October. 2014-Training "Fluke Ti400 Thermal Imaging Camera", UVT-ICSTM (PV Training)
September. 2015-Training "Spin-On Spinning Apparatus", UVT-ICSTM (PV Training)
February. 2015-Training "Stereolithography installation (Sla)", UVT-ICSTM (PV training)
February. 2015-Training "LPKF Printed Wire Prototyping Line S", UVT-ICSTM (PV Training)
September. 2015-Training "Wire-bonding Welding Apparatus", UVT-ICSTM (PV Training)
-the quality of **organizer and participant** with articles at national conferences organized by ICSTM-DCEM:
2015 - Organizer conf. CNSNRE UVT-ICSTM, 29-30 October 2015, http://cnsnre2015.valahia.ro
2016 - Organizer conf. CNSNRE UVT-ICSTM, 20-22 October 2016, http://cnsnre2016.valahia.ro
2017 - Organizer conf. CNSNRE UVT-ICSTM, 23-24 November 2017, http://cnsnre2017.valahia.ro
- **Project member** quality from 2014 to 2017: "Prototypes of autonomous robotic systems for medical / social assistance and servicing of manufacturing processes in metalurgy, ceramics, glass and automotive - Prorobsis - PN-II-PT-PCCA-2013- 4-0686 ".
-Diseminating scientific results in conferences and journals, with the participation of articles.
- multidisciplinary collaboration for the development of new products and ideas.
- certificate of participation at the RENAR conference - April 28, 2015 Valahia - Targoviste "Considerations regarding the requirements of national, European and international regulations regarding accreditation, metrology, notification for laboratories (tests, calibration, medical analyzes), inspection and certification bodies ".
- various diplomas for participation in specialized conferences.

Other skills and competences	Trainer's Degree in Electrical Engineering. Internet Administrator diploma. CCNA diploma. Articles and conferences: ***Publications in specialized journals (BDI + ISI):*** *1.* **Viorel MIRON-ALEXE**, „Remote Smart Metering For Multiple Utilities", 2014, SBEEF, pp.42-47, no.1, vol. 25, ISSN: 1843-6188 (Link: http://www.buletinfie.ro/ro/numere2014-1/Articol_7.pdf). *2.* **Viorel MIRON-ALEXE**, „Remote Energy Sharing", 2015, SBEEF, pp.21-26, no.2, vol. 30, ISSN: 1843-6188 (Link: http://buletinfie.ro/ro/numere2015-2/Articol_4.pdf). *3.* Nicolae VASILE, **Viorel MIRON-ALEXE**, Bogdan SALISTEANU, Andrei NEDELSCHI, Ramona CHIRESCU, Cristian DIVOIU, „Systemic analysis strategy in the renewable energy sources", 2015, SBEEF, pp.19-23, no.4, vol. 32, ISSN: 1843-6188 (Link: http://www.buletinfie.ro/en/numere2015-4/Articol_03.pdf). *4.* **Viorel MIRON-ALEXE**, „Iot Power Consumption Monitoring System For Off-Grid Households", 2017, UPSB, pp.13-20, no.2, vol.17, eISSN: 2344-2166 (Link: http://bulletin.feccupit.ro/archive/pdf/2017_2_2.pdf). *5.* **Viorel MIRON-ALEXE**, Ion VASILE, „Mathematical Calculus For Analog Signal Processing Algorithm Of Sensors Used In Household Power Monitoring System", 2017, JOSA, pp.853-860, no.4, vol. 41, ISSN: 1844-9581 (Link: http://www.icstm.ro/DOCS/josa/josa_2017_4/c_04_Miron.pdf). *6.* Ion VASILE, Vicentiu VASILE, **Viorel MIRON-ALEXE**, Emil DIACONU, Ion CACIULA, Horia ANDREI, „Simulation And Modeling Of Battery Operation Used In Real-Time Monitoring Equipments Of Vital Human Parameters", 2017, JOSA, pp.861-870, no.4, vol. 41, ISSN: 1844-9581 (Link: http://www.icstm.ro/DOCS/josa/josa_2017_4/c_05_Vasile.pdf). ***Publications in specialized conferences (BDI + ISI proceedings):*** *1.* **Viorel MIRON-ALEXE**, „Comparative Study Regarding Measurements of Different AC Current Sensors", International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering - (ISFEE 2016), IEEE Xplore, 2016, DOI: 10.1109/ISFEE.2016.7803152 (Link: http://ieeexplore.ieee.org/document/7803152/). *2.* **Viorel MIRON-ALEXE**, Iulian BANCUTA, Nicolae VASILE, „Hydroelectric Backup System for Off-Grid Households: Hybrid renewable energy sources management system", Electronics Computers and Artificial Intelligence - (ECAI 2017), IEEE Xplore, 2017, DOI: 10.1109/ECAI.2017.8166448 (Link: http://ieeexplore.ieee.org/document/8166448/). *3.* **Viorel MIRON-ALEXE**, Iulian BANCUTA, Nicolae VASILE, „Renewable Energy Management Using Embedded Smart Systems", Conference for Sustainable Energy - (CSE 2017), Springer, 2017, DOI: 10.1007/978-3-319-63215-5_3 (Link: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-63215-5_3).