

## L5.1. Două articole în conferințe internaționale

### A5. Diseminarea rezultatelor proiectului pentru valorificarea și creșterea vizibilității cercetării

Activitatea de diseminare din cadrul etapei IV a constat în realizarea și publicarea a 3 articole prin care s-au făcut cunoscute rezultatele actuale ale proiectului, după cum urmează:

- Un articol în revista cu distribuție națională Automatizări și Instrumentație:

T. Marinescu, S. St. Iliescu, I. Fagarasan, N. Arghira, I. Stamatescu, G. Suci, A. Vasilescu, A. Pasat, “*Soluții de automatizare pentru sistemele de irigații*”, **Revista Automatizări și Instrumentație**, nr 2, pp 12-17, 2017

- Doua articole prezentate și publicate în volumele a 2 conferințe indexate ISI/IEEE Explore:

T. Marinescu, N. Arghira, D. Hossu, I. Fagarasan, I. Stamatescu, G. Stamatescu, V. Calofir, S. Iliescu, „*Advanced Control Strategies for Irrigation Systems*”, **Proc. of 2017 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)**, ISBN: 978-1-5386-0698-8,

DOI: 10.1109/IDAACS.2017.8095206, Bucharest, 2017

D. Hossu, G. Stamatescu, I. Stamatescu, N. Arghira, I. Fagarasan, S.St. Iliescu, V. Calofir, A. Hossu, “*Architecture for Research, Training and Education in Control Engineering*”, **Proc. of the 13th International Scientific Conference "eLearning and Software for Education"**, Volume 2, DOI: 10.12753/2066-026X-17-137, pp 365-370, Bucharest, 2017



## Soluții de automatizare pentru sistemele de irigații

ing. Tiberiu Marinescu<sup>\*)</sup>, prof.dr.ing. Sergiu Stelian Iliescu<sup>\*)</sup>, prof.dr.ing. Ioana Fagarasan<sup>\*)</sup>,

s.l. dr. ing. Nicoleta Arghira<sup>\*)</sup>, s.l.dr.ing. Iulia Stamatescu<sup>\*)</sup>,

dr.ing. George Suciuc<sup>\*\*)</sup>, dr.ing. Andrei Vasilescu<sup>\*\*)</sup>, ec. Adrian Pasat<sup>\*\*)</sup>

<sup>\*)</sup> Facultatea de Automatică și Calculatoare, Universitatea Politehnică București

<sup>\*\*)</sup> BEIA Consult International SRL

### 1. Introducere

Managementul apelor și programarea irigațiilor au devenit subiectele principale în numeroase studii din ultimii ani, prin prisma importanței în agricultura de precizie. Calitatea irigațiilor reprezintă un indicator de performanță, influența acesteia putând fi percepută atât în mod direct, cât și indirect. Necesitatea de irigare a culturilor diferă în funcție de climatul zonei, astfel eficiența energetică și utilizarea economică a resurselor de apă sunt într-o puternică interdependență cu tipul plantației și al solului, [20].

Protejarea resurselor naturale de apă prin utilizarea rațională și eficientă a acestora este una dintre problemele cu care se confruntă specialiștii la nivel mondial, fiind necesare măsuri concrete și durabile. Agricultura irigată reprezintă 20% din totalul pământului cultivat, în prezent existând diferite soluții de irigare precum irigarea prin picurare, irigarea prin scurgere la suprafață și irigarea prin aspersiune.

Prezentul articol propune o arhitectură de sistem eficient energetic pentru managementul irigațiilor, realizând o îmbunătățire a soluțiilor existente. Pentru stabilirea unei configurații optime a sistemului, se prezintă mai întâi parametrii monitorizați ce au influență ridicată asupra productivității culturilor, explicându-se avantajele monitorizării acestora. Articolul prezintă mai apoi principalele metode de control utilizate în managementul irigațiilor, pentru ca în final să se propună o soluție integrată de automatizare și telemetrie pentru managementul apei în agricultura de precizie, prin considerarea criteriilor de eficiență energetică și economică, dar și a principalelor tehnologii de conducere prezentate.

### 2. Parametrii monitorizați în managementul irigațiilor

Precizia în măsurare este extrem de importantă în agricultură. Parametrii monitorizați într-o plantație sunt dependenți de tipul solului și de climatul regiunii.

#### A. Temperatura și umiditatea aerului

Culturile pot fi privite ca funcții dependente în principal de temperatură în cazul în care irigarea se realizează corespunzător. [1] Temperatura are o influență uriașă asupra germinăției semințelor. Deoarece în procesele biochimice fazele de germinație includ hidratarea și activarea enzimelor, procesul de dezvoltare al plantelor este dependent de temperatură.

Câteva argumente importante care susțin necesitatea monitorizării temperaturii sunt centralizate în figura de mai jos.

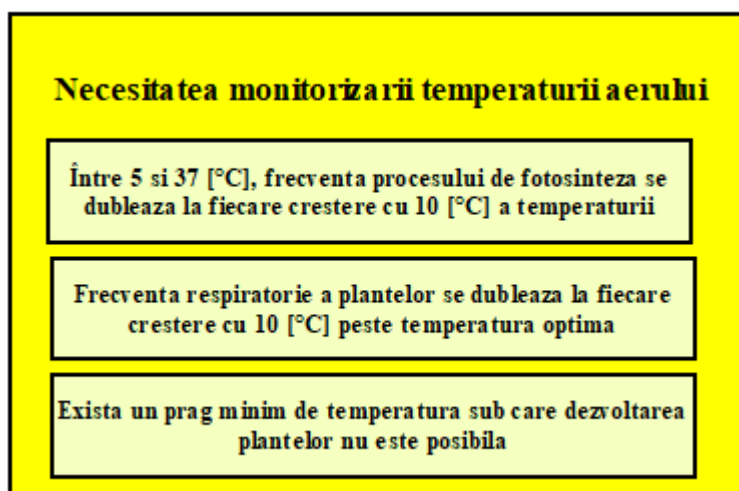


Fig 1. Necesitatea monitorizării temperaturii aerului

Temperatura globală a crescut cu 0.2-0.3 [°C] în ultimii 30 de ani, iar cauzele sunt cunoscute. Sezonul agricol este influențat puternic de temperaturile ridicate sau scăzute și, ținând cont de faptul că în următorii ani se preconizează o creștere a valorilor acestui parametru, cantitatea de apă necesară pentru irigații va crește în funcție de cerințele de evaporare. O metodă numerică a arătat că la o creștere de 1, 2 sau 3 [°C] a temperaturii, va crește necesarul de apă al culturilor cu 11, 19, respectiv 29 [%].

Fiecare plantație necesită o anumită temperatură, în caz contrar semințele vor sta în sol și vor fi expuse atacului unor dăunători, unor boli sau își vor pierde capacitatea germinativă. Un alt aspect important este că temperatura optimă nu corespunde, în general, cu cea de creștere vegetativă, care diferă de la o vegetație la alta.

Prin umiditate absolută se înțelege presiunea parțială a vaporilor de apă în aerul umed, exprimată de obicei în milimetri coloană de mercur (1mm Hg = 133,322 N/m<sup>2</sup>). Presiunea parțială a vaporilor de apă în aerul umed și cantitatea de vapori conținuți într-un m<sup>3</sup> de aer umed, exprimată în grame, sunt numeric egale. Umiditatea relativă oferă informații cu privire la vaporii de apă din aer, acest parametru fiind într-o puternică interdependență cu temperatura. Pe de altă parte, temperatura punctului de rouă explică interdependența dintre umiditatea relativă și temperatură, deoarece odată cu creșterea umidității relative are loc o scădere a temperaturii, iar în cazul scăderii temperaturii sub o anumită limită, aerul ajunge în punctul în care va conține cea mai mare cantitate de vapori de apă.

Temperatura termometrului umed se definește ca temperatura de echilibru dinamic atinsă la interfața apă – aer umed atunci când fluxul termic convectiv de la aer la apă este egal cu fluxul masiv convectiv de la apă la aer. La echilibru, dacă se consideră temperatura termometrului uscat constantă, bilanțul termic la interfața aer-apă este:

$$\sigma_p r(p_{vs} - p_v) = \alpha(t - t_{um}) [W / m^2] \quad (1)$$

în care:  $\sigma_p$  [kg/(m<sup>2</sup>·s·bar)] este coeficientul de transfer masiv;  $t$  [°C] – temperatura aerului umed;  $t_{um}$  [°C] – temperatura termometrului umed;  $p_{vs}$  [N/m<sup>2</sup>] – presiunea parțială a vaporilor din aerul umed saturat (la interfața aer – apă), la temperatura  $t_{um}$  [°C];  $p_v$  [N/m<sup>2</sup>] – presiunea parțială a vaporilor de apă;  $\alpha$  [W/(m<sup>2</sup>·K)] – coeficientul de transfer termic convectiv.

Importanța monitorizării temperaturii și a umidității aerului provine și din faptul că asigurarea nivelului optim al umidității relative se realizează prin scăderea temperaturii aerului. Umiditatea relativă ridicată a aerului determină dezvoltarea microorganismelor, mai ales la temperaturi mai ridicate.

### B. Temperatura și umiditatea solului

Solul reprezintă o resursă importantă în managementul irigațiilor, întrucât este un rezervor de stocare de carbon. Umiditatea solului este identificată ca un parametru cheie în agricultura de precizie, iar câteva dintre argumentele pentru care monitorizarea acesteia este necesară sunt centralizate în figura de mai jos.

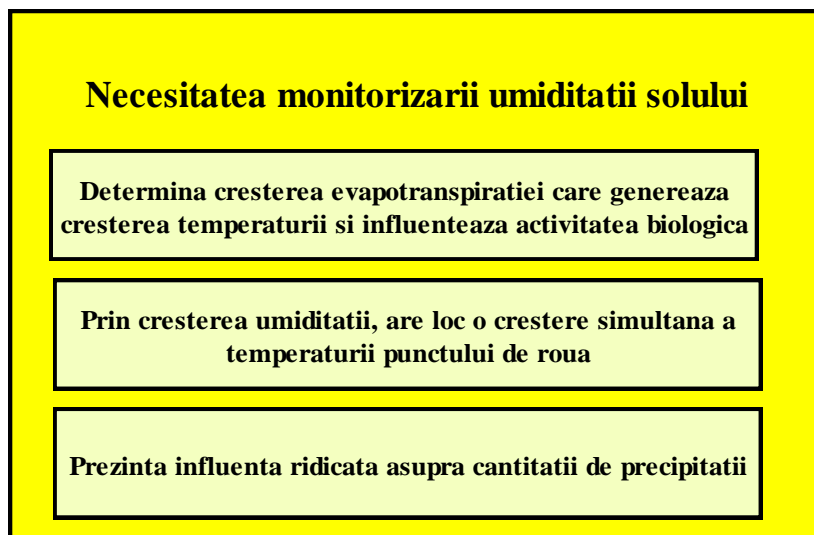


Fig 2. Necesitatea monitorizării umidității solului

Monitorizarea temperaturii și a umidității solului prezintă o importanță deosebită în agricultura de precizie. În unele regiuni, agricultorii irigă atunci când umiditatea solului depășește o anumită limită (de exemplu 50 %). Umiditatea solului este de asemenea importantă deoarece influențează indirect irigațiile. Frecvența de irigare depinde de echipamentul utilizat pentru irigarea prin picurare sau de caracteristicile puțurilor de mare adâncime.

Principalul obiectiv al irigării este de a optimiza necesarul de apă al plantelor și acest lucru poate fi realizat printr-o monitorizare eficientă a umidității solului. Se consideră că umiditatea solului ar trebui să fie măsurată de senzori care nu au părți în mișcare și care nu necesită calibrare.

Temperatura solului este influențată într-o proporție importantă de radiația solară și de umiditate. De obicei, temperatura solului este mai ridicată decât cea a aerului, iar propagarea căldurii în sol este un proces lent. Având în vedere aceste aspecte, monitorizarea temperaturii solului este foarte importantă într-o cultură viticolă, pomicolă sau agricolă.

### C. Evapotranspirația

Evapotranspirația reprezintă un parametru esențial pentru dezvoltarea și sănătatea plantelor, fiind bazată pe parametrii meteorologici. Apa pierdută prin evapotranspirație poate fi salvată prin irigarea corespunzătoare care reduce evapotranspirația cu 5-15 [%].

Explicarea interdependenței dintre evapotranspirație și parametrii meteorologici ale căror valori sunt achiziționate de la stațiile de telemetrie aflate în câmp, dar și importanța monitorizării acestui parametru se explică cu ajutorul formulei Penmann-Monteith [13].

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (2)$$

$ET_0$  – evapotranspirația de referință [ $\text{mm zi}^{-1}$ ],

$R_n$  – radiația netă la suprafața culturii [ $\text{MJ m}^{-2} \text{zi}^{-1}$ ],

$G$  – fluxul de căldură corespunzător solului [ $\text{MJ m}^{-2} \text{zi}^{-1}$ ],

$T$  – temperatura aerului la 2 m înălțime [ $^{\circ}\text{C}$ ],

$u_2$  – viteza vântului la 2 m înălțime [ $\text{m s}^{-1}$ ],

$e_s$  – presiunea la saturație a vaporilor [kPa],

$e_a$  – presiunea actuală a vaporilor [kPa],

$e_s - e_a$  – deficitul presiunii vaporilor la saturație [kPa],

$\Delta$  – curba de presiune a vaporilor [kPa °C<sup>-1</sup>],

$\gamma$  – constanta psihrometrică [kPa °C<sup>-1</sup>].

Pentru o versiune simplificată de calcul a evapotranspirației se poate folosi relația *Priestley-Taylor* bazată pe radiație și temperatură.

$$ET_o = \alpha \frac{\Delta(R_n - G)}{\Delta + \gamma} + \beta \quad (3)$$

unde  $\alpha$  și  $\beta$  sunt doi coeficienți de valoare 0.61, respectiv 0.012.

### 3. Soluții de automatizare pentru sisteme de irigații prin picurare

În cele ce urmează, se vor prezenta câteva sisteme de automatizare pentru irigații prin picurare. Unul dintre acestea este reprezentat de soluția din *Greenwood Resources Boardman Tree Farm (BTF), Oregon SUA* [6]. În vederea obținerii unei eficiențe ridicate, *BTF* utilizează programul *AHBIS (Advance Hydraulic Balanced Irrigation Scheduling)* pentru a optimiza sistemul de irigații.

Informațiile privind umiditatea solului sunt colectate de la cei aproximativ 375 senzori din câmp și în vederea realizării unui optim economic sistemul are ca obiectiv menținerea a mai mult de 80% din umiditatea solului în zona de rădăcină.

Programul de irigații este eșalonat pe șase zile pentru fiecare dintre cele 369 parcele prin *AHBIS*. Codul este transferat cu ajutorul Ethernet la stația master I-SCADA, care transmite comenzile celor 93 stații RTU prin comunicații radio. Interfața I-SCADA HMI afișează în timp real programul de irigații, respectiv parametrii de proces precum presiunea și debitul de la nivelul fiecărei pompe, alarmele și evenimentele. Pe lângă programul de irigații elaborat în *AHBIS* se utilizează un sistem de reglare a procesului de irigare, scopul fiind reprezentat de obținerea unei eficiențe maxime.

Pentru stabilirea necesarului de irigații, soluția ce urmează a fi propusă va presupune, ca și în cazul *BTF*, măsurarea umidității solului, care se va realiza prin intermediul unei sonde integrate într-o stație de telemetrie ADCON, amplasată în câmp. Datele colectate vor fi transmise prin intermediul unui server de comunicații către echipamentele de conducere. Similar ca la *AHBIS*, interfața SCADA – HMI va afișa programul de irigații, dar și aspecte de diagnoză și predicție.

Un alt sistem de automatizare este reprezentat de soluția de planificare a distribuției de apă *Scheduled Water Delivery (SWD)* din regiunea *Middle Rio Grande Conservancy District (MRGCD)* [8]. În vederea realizării unei planificări optime a distribuției de apă se utilizează un DSS cu o arhitectură ierarhizată și o arhitectură SCADA. Sistemul DSS urmărește 3 obiective:

1. Eșalonarea în timp a necesarului de apă (*Frequency of irrigation*)
2. Durata irigației (*Irrigation duration*)
3. Stabilirea momentului irigației (*Irrigation timing*)

DSS urmărește realizarea seturilor de informații privind necesarul de irigații prin achiziția datelor din câmp și prelucrarea corespunzătoare a acestora. Sistemul DSS este structurat pe 3 module și anume *modulul de planificare*, *modulul necesarului de apă* și *modulul rețelei de alimentare*. Vizualizarea datelor corespunzătoare celor 3 module se realizează cu ajutorul GUI (Graphical User Interface).

Pentru estimarea necesarului de apă se utilizează ET TOOLBOX, care estimează în timp real evapotranspirația prin intermediul datelor meteorologice preluate de la mai multe stații din câmp, dar și cu ajutorul informațiilor specifice corespunzătoare recoltelor. Modulul de planificare are rolul de a estima apa vehiculată atât prin canalul principal, cât și prin canalele laterale.

Sistemul SCADA cuprinde 5 componente, acestea fiind centralizate în figura de mai jos.



**Fig 3. Structura sistemului SCADA corespunzătoare SWD**

Sistemul DSS a fost inclus în SCADA, având rolul de a furniza operatorilor informații cu privire la necesarul de apă aferent unei anumite culturi, precum și o planificare riguroasă a irigației.

Pe baza informațiilor primite de la stația de măsurare ADCON, dar și de la pluviometrul ADCON IRRIGATION METER, respectiv de la unitatea RTU instalată pentru operarea autonomă, sistemul SCADA propus în cadrul acestei lucrări va dispune de funcții de eșalonare în timp pentru necesarul de apă, precum și de stabilire a momentului irigației, la fel ca și soluția SWD.

O soluție completă de monitorizare a parametrilor relevanți din cadrul unui sistem de irigații, este oferită de sistemul BEIA-ADCON, [26].



**Fig 4. Stația de telemetrie BEIA-ADCON**

În Figura 4 de mai sus este prezentată stația Beia–Adcon de monitorizare agricolă. Pe catarg, de sus în jos se regăsesc unitatea de telemetrie RTU A753 GPRS, pluviometrul, senzorul de viteză vânt, panoul solar care alimentează RTU și toți senzorii, senzorul de radiație solară totală (piranometrul), senzorul combinat de temperatură și umiditate relativă a aerului, senzorul de umiditate pe frunză.

## Sistem de Automatizare si Telemetrie Eficient energetic pentru managementul Resurselor in Agricultura de precizie (SA-TERRA) – Etapa 2/2017

Componenta RTU (Remote Telemetry Unit) este un dispozitiv inteligent care are un microcontroler încorporat pentru a efectua periodic diferite task-uri, cum ar fi: interogarea senzorilor, măsuratori, colectarea și stocarea datelor, dar și verificarea unor parametri interni precum starea bateriei, verificarea canalului radio și alte activități de întreținere a sistemului. RTU este echipat cu un modul radio sau un modem GSM, care permite comunicația fără fir în timp real, cu o stație de bază (Gateway).

Gateway-ul transmite mai departe în rețea cererile de date venite de la RTU și stochează temporar datele primite. Prin urmare, Gateway-ul poate asigura un control pentru un anumit număr de echipamente RTU în funcție de tipul receptorului, existând modele care pot gestiona peste 1000 de unități RTU.

Datele măsurate sunt colectate de la rețeaua de senzori și stocate de către RTU, apoi sunt transmise mai departe către Gateway folosind o tehnologie “half-way” GSM-GPRS. Datele sunt mai departe transmise prin comunicații IP până la platforma ADCON de procesare a datelor. După instalarea stației, datele pot fi accesate cu ajutorul aplicației addVANTAGE Pro . Figura 5 prezintă măsurătorile înregistrate de stația de telemetrie.

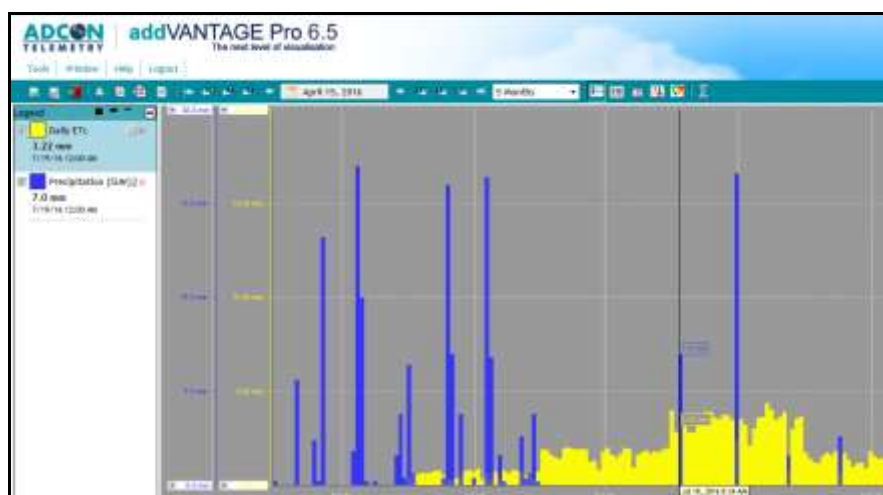


Fig 5. Aplicația *addVANTAGE Pro*

#### 4. Soluții de automatizare pentru sisteme de irigații prin scurgere la suprafață

Cel mai extins sistem SCADA este considerat Rubicon Systems Australia în parteneriat cu Universitatea Melbourne, care au realizat un sistem pentru irigații prin scurgere la suprafață [10]. Prin intermediul senzorilor și al acționărilor se măsoară nivelul apei și poziția stăvilarelor. Structura de control este descentralizată, iar elementele de automatizare comunică prin transmisii radio.

Pentru a distribui apa din rezervor la ferme, toate stăvilarele sunt prevăzute cu acționări și senzori care măsoară nivelul apei și poziția stăvilarelor. Elementele de automatizare comunică printr-o rețea radio. Volumul datelor este menținut la minim prin utilizarea conceptului de “Event driven communication”. Conceptul de “Event driven communication” presupune interconectarea parametrilor măsoarați numai în cazul în care nivelul de apă se modifică (modificarea poziției stăvilarelor sau a referinței), depășind un prag specificat. Prin intermediul structurii de control descentralizate, informațiile legate de necesarul de apă se transmit numai celui mai apropiat regulator din amonte.



Fig 6. Structura sistemului Rubicon Systems Australia

Managementul distribuției de apă se poate realiza prin intermediul *Total Channel Control*, aceasta fiind o soluție de proiectare a sistemelor de irigare. Sistemul este divizat în: nodul central, cu rol de monitorizare de ansamblu, noduri repetitoare, noduri canal și noduri fermă. Funcția de automatizare principală se realizează la nivelul nodului central.

Obiectivele principale ale sistemului de automatizare prin scurgere la suprafață sunt eficientizarea consumului de apă prin irigare, furnizarea în timp real a necesarului de apă cerut, respectiv reglarea automată a debitului de apă, acestea reprezentând simultan și obiectivele sistemului ce urmează a fi propus în cadrul acestei lucrări.

Regimul dinamic în cazul canalelor deschise este descris de ecuațiile St-Venant, rezultând însă un model de o mare complexitate. Din acest motiv se preferă o abordare bazată pe construirea unui model “grey box”.

$$y_{u,i+1}(t) = u_i(t - \tau_i) - u_{i+1}(t) - d_i(t) \quad (4)$$

unde  $i$  reprezintă indicele de regulator,  $i=1\dots N$ ;  $u_i$  reprezintă variabilele de intrare (funcții nelineare ale poziției stăvilarelor și nivelului de apă), perturbația  $d_i(t)$  reprezintă debitul total de apă care iese din rezervorul  $i$ , iar valoarea de referință  $y$  reprezintă necesarul de apă.

Un sistem de automatizare pentru irigare prin scurgere la suprafață a fost implementat în sudul Braziliei, soluția urmărind creșterea productivității în condițiile micșorării consumului de apă [9]. Măsurarea nivelului apei se realizează cu ajutorul unor senzori cu ultrasunete care transmit informația prin comunicații wireless unui PLC care vehiculează informații către un sistem de achiziție de tip SCADA prin GPRS.



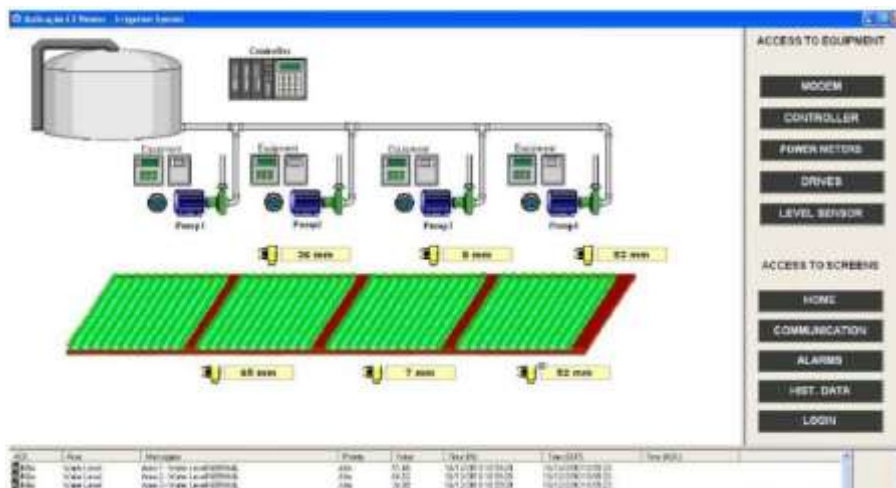


Fig 7. Interfața sistemului de automatizare prin scurgere la suprafață [9]

Logica de comandă este următoarea:

- Dacă nivelul de apă este mai mic decât Refmin în ambii senzori, pompa va funcționa cu frecvență maximă  $f_{max}$ . Acest lucru se estimează că se va întâmpla atunci când se inundă canalul de apă sau în cazul unei evaporări intense.
- Dacă pompa operează cu frecvență redusă, condiția ca să fie oprită este ca nivelul de apă să depășească limita maximă (Refmax) în ambii senzori.
- dacă pompa este oprită (OFF), condiția de a o porni (ON) este ca nivelul de apă să scadă sub referința minimă (Refmin) într-un sensor sau în ambii senzori. În primul caz, pompa este activată cu frecvență redusă, iar în cel de-al doilea caz cu frecvență maximă.

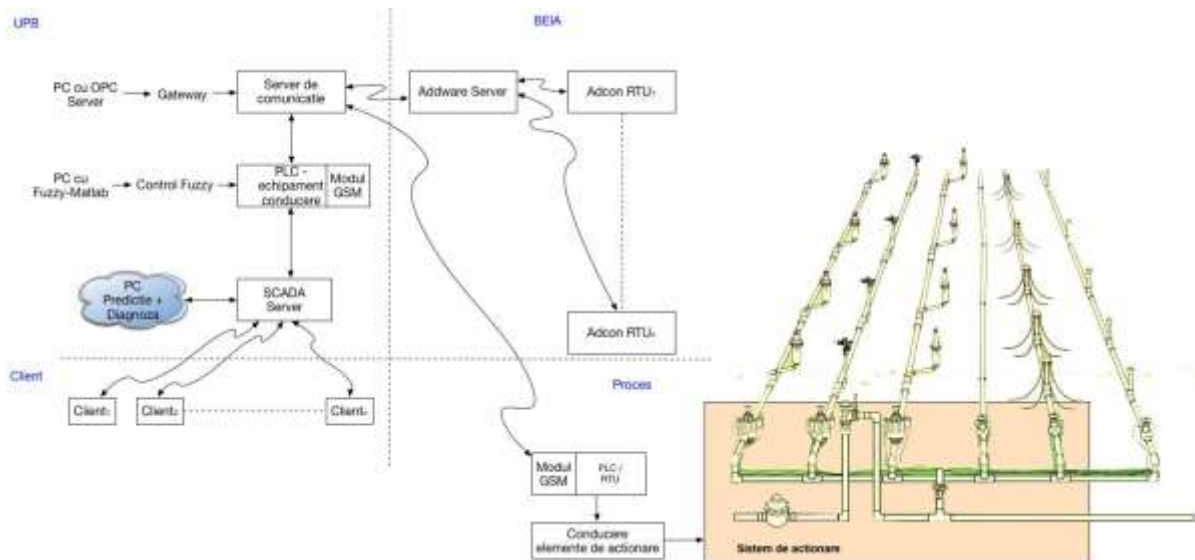
Soluția de telemetrie propusă în cadrul acestei lucrări presupune vehicularea informațiilor dinspre PLC către SCADA prin intermediul tehnologiei GSM.

#### 4. Arhitectura sistemului de management al irigațiilor pentru agricultura de precizie

Sistemul de telemetrie si automatizare propus in continuare vizează o monitorizare atentă a parametrilor esențiali pentru cultură, dar și un sistem de automatizare care să permită controlul irigațiilor într-o manieră care să reducă consumul de energie electrică. Din analiza sistemelor existente și a tendințelor la nivel mondial, se propune arhitectura de sistem de conducere din *figura 8*, ce include:

- O stație de măsurare evoluată de tip Adcon, cu unitate RTU, panou solar și acumulatori, pentru operare autonomă, pentru achiziția parametrilor de câmp și cu posibilitate de transmitere a comenzilor la echipamentele de acționare;
- Elemente de acționare;
- Un sistem SCADA (o stație SCADA Master (HMI) și mai mulți clienți) care, pe baza datelor de proces și a predicțiilor meteorologice, ia decizii în cazul programării irigațiilor.

## Sistem de Automatizare si Telemetrie Eficient energetic pentru managementul Resurselor in Agricultura de precizie (SA-TERRA) – Etapa 2/2017



**Fig 8. Arhitectura sistemului de conducere**

Telemetria pentru sistemul propus este realizată cu o stație Adcon care va măsura parametrii de câmp (umiditatea solului și a aerului, temperatura solului și a aerului etc). Acești parametri vor fi transmiși către sistemul SCADA prin intermediul unui RTU și a unui server de comunicație. Pentru conectarea acestor elemente cu PC-ul sunt necesare conexiuni de tip OPC, prin intermediul unui Gateway (ex. IoT 2020).

Comanda și reglarea automată se realizează prin intermediul unor PLC-uri care implementează algoritmi de conducere și dau comandă către elementele de acționare. Comunicația se realizează prin intermediul unor module GSM astfel încât să se reducă complexitatea fizică a rețelei (a cablajelor). Algoritmii de reglare de tip fuzzy vor fi calculați în Matlab și transmiși spre implementare către un PLC care permite controlul fuzzy.

Funcțiile sistemului SCADA (reglare, predicție, diagnoză) vor fi realizate pe un calculator PC care dispune de mijloacele de conectare bidirecțională cu serverul SCADA, respectiv cu PLC-ul. Acesta va avea mai mulți clienți în funcție de numărul de utilizatori/beneficiari ai sistemului de telemetrie și automatizare.

Echipamentele de acționare (pompe, vane) au un consum redus de energie în scopul asigurării unei eficiențe crescute a sistemului.

### 6. Concluzii

Sistemele de management al irigațiilor utilizate în agricultura de precizie ar trebui să răspundă necesităților de apă în vederea creșterii productivității culturilor. Studiul prezentat mai întâi principalii parametri ce trebuie monitorizați în vederea obținerii unei eficiențe ridicate a sistemului de automatizare. Pentru a elabora o arhitectură optimă din punct de vedere energetic și economic, s-au studiat sistemele de conducere automată pentru irigarea prin picurare și prin scurgere la suprafață implementate cu succes în domeniul agricol la nivel mondial.

Sistemul de telemetrie și automatizare propus este compus din 3 componente principale: SCADA, echipamente de acționare și stația de telemetrie. Funcțiile de conducere, predicție și diagnoză asigură o eficiență crescută a irigațiilor, atât din punct de vedere energetic, dar și agricol prin creșterea productivității și prin reducerea riscurilor de boli la plantație. Sistemul de comunicație bidirecțional propus este simplu de implementat.

Soluția prezentată are un consum foarte redus de energie, costuri mici de administrare, scalabilitate, dar și funcții de prognoză și diagnoză care conduc la un impact tehnic important și la un potențial ridicat de comercializare.

## **Mulțumiri**

Prezentul studiu a fost realizat în cadrul proiectului NR 82BG/2016 (PN-III-P2-2.1-BG-2016-0387) - “Sistem de Automatizare si Telemetrie Eficient energetic pentru managementul Resurselor in Agricultura de precizie (SA-TERRA)”.

## **7. Bibliografie**

- G. Rasul, Q.Z. Chaudhry, A. Mahmood, K. W. Hyder, “Effect of temperature rise on crop growth and productivity”, Pakistan Journal of Meteorology, Volue 8, Issue 15, 2011
- “Effect of temperature on crop production”, <http://pstustudy.blogspot.ro/2010/08/effect-of-temperature-on-crop.html>, , Accessed on 1 april 2017
- K. Bellingham, “The Role of Soil Moisture on our Climate, Weather and Global Warning”, <http://www.soilsensor.com/climatechFigure 1 - Proposed telemetry systemange.aspx>, Accessed on 1 april 2017
- I. Korvath, B. H. M. Gerritsen, “Cyber-Physical Systems: Concepts, Technologies and implementations principles”, Karlsruhe, Germany, 2012
- T. Prichard, “Vineyard Irrigation Systems”, Pages 57 - 63 in: Raisin Production Manual. University of California Agricultural and Natural Resources Publication 3393, Oakland, CA
- M. Nabil, “Interaction Of Advanced Scientific Irrigation Management (Asim) With I-Scada System For Efficient And Sustainable Production of Fiber on 10,360 Hectares”, Resource Magazine March/April 2014.
- I. Mareels, E. Weyer, S. K. Ooi, M. Cantoni, Y. Li, G. Nair, “Systems engineering for irrigation systems: Success and challenges”, Annu. Rev. Control (IFAC), vol. 29, pp. 191-204, 2005a
- K Kinzli, D. Patterson, R. Oad, N. Shafike, L. Garcia, D. Gensler, “Improving Irrigation System Performance Through Scheduled Water Delivery in the Middle Rio Grande Conservancy District”, Fifth International Conference on Irrigation and Drainage Irrigation for Food, Energy and the Environment Salt Lake City, USCID Fifth International Conference, Utah — November 4-7, 2009
- L. L. Pfitscher, D. P. Bernardon, L. M. Kopp, M. V. T. Heckler, J. Behrens, “Automatic Control of Irrigation Systems Aiming at High Energy Efficiency in Rice Crops”, 2012 8th International Caribbean Conference on Devices, Circuits and Systems (ICDCS)
- I. Mareels, Su Ki Ooi, D. Aughton, T. Oakes, “Total Channel Control – The value of automation in irrigation distribution systems”, 104 Proceedings USCID Vancouver , 2005b
- Y. Osroosh, R. T. Peters, C. S. Campbell, Q. Zhang, “Comparison of irrigation automation algorithms for drip-irrigated apple trees”, Elsevier Computers and Electronics in Agriculture 128 (2016) 87–99, ISBN 0168-1699, 2016
- S. Shahidian., R.P. Serralheiro ., J.L. Teixeira, F.L. Santos, M.R.G. Oliveira, J.L. Costa, C. Toureiro, N. Haie, R. M. Machado, “Drip irrigation using a PLC based adaptive irrigation system”, WSEAS Transactions on Environment and Development, 2012
- <https://extension.illinois.edu/treehouse/clouds.cfm?Slide=3>, Accessed on 1 april 2017
- Winkler A.J., Cook J.A., Kliewer W. M. and Lider L.A., “General Viticulture”, University of California Press Berkeley, 1974
- Castia T., Franco M.A., Mattivi F., Muggioli G., Sferlazzo G., Versini G., “Characterization of grapes cultivated in Sardinia : chemometric methods applied to the anthocyanic fraction”, Lavoisier, Paris, 1992
- G. Naheed, G. Rasul, “Projections of Crop Water Requirement in Pakistan under Global Warming”, Pakistan Journal of Meteorology, Vol. 7, Issue 13, 2010
- M. Downey, N. Dokoozlian, M. P. Krstic, “Cultural Practice and Environmental Impacts on the Flavonoid Composition of grapes: A Review of Recent Research”, American Journal of Enology and Viticulture, 57: 257-268, 2006
- P. A. Bhosale, Prof. V. V. Dixit, “Water Saving-Irrigation Automatic Agricultural Controller”, International Journal of Scientific & Technology Research Volume 1, Issue 11, 2012
- “Importance of Water Management in Crop Production”, [https://www.indiaagronet.com/indiaagronet/water\\_management/water\\_3.htm](https://www.indiaagronet.com/indiaagronet/water_management/water_3.htm), Accessed on 15 april 2017
- R. Evans, R. E. Sneed, J. H. Hunt, “Irrigation Management Strategies to Improve Water and Energy Use Efficiencies”, 1996
- A. Lacasta, M. Morales-Hernandez, P. Brufau, P. Garcia-Navarro, “Simulation of PID control applied to irrigation channels”, Procedia Engineering, vol 70, 2014 , pp 978 – 987
- M. S. Goodchild, K. D. Kühn, M. D. Jenkins, K. J. Burek & A. J. Dutton, “A Method for Precision Closed-loop Irrigation Using a Modified PID Control Algorithm”, Sensors & Transducers, Vol. 188, Issue 5, May 2015, pp. 61-68
- M.F. Leroux, “Design of an automated irrigation system”, McGill University, 2005
- R.Ji, L.Qi, Z.Huo, “Design of fuzzy control algorithm for precious irrigation system in greenhouse” in Computer and Computing Technologies in Agriculture V. CCTA 2011, IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 370, Springer, Berlin, Heidelberg
- ,S K Saleem, D K Delgoda, S K Ooi, K B Dassanayake, L Liu, M N Halgamuge, H Malano, “Model Predictive Control for Real-Time Irrigation Scheduling”, IFAC Proceedings Volumes, Volume 46, Issue 18, August 2013, Pages 299-304
- G. Suci et. al, Unified Intelligent Water Management using Cyberinfrastructures based on Cloud Computing and IoT, CSCS 21, 2017



INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE  
eLearning and Software for Education

The 13<sup>th</sup> International Scientific Conference  
eLearning and Software for Education  
Bucharest, April 27-28, 2017  
10.12753/2066-026X-17-000

**ARCHITECTURE FOR RESEARCH, TRAINING AND EDUCATION IN CONTROL  
ENGINEERING**

Daniela Hossu, Ioana Fagarasan, Sergiu Stelian Ilescu, Andrei Hossu, Grigore Stamatescu, Iulia Stamatescu,  
Nicoleta Arghira, Vasile Calofir

*Department of Automatic Control and Industrial Informatics, University "Politehnica" of Bucharest 313 Splaiul Independentei,  
Bucharest, Romania*

*daniela.hossu@upb.ro, {hossu, iulia.stamatescu, nicoleta.arghira}@aii.pub.ro,*

*[grigore.stamatescu@upb.ro](mailto:grigore.stamatescu@upb.ro), {ioana, iliescu, vasile}@shiva.pub.ro*

**Abstract:** *In control engineering both practical and theoretical components of the education are very important for courses as well as laboratory work. The aspects of design and implementation of control need to be integrated in the whole process of learning and training. The paper is presenting a proposal of an architecture of a platform dedicated for research, training and education in control engineering. The proposed architecture is based on components with important "ready to evolve" features. The open platform for study has as input an image process data with an online updating snapshots of data. The structure is based on a connection to the real process to be study and periodically this connection is providing to the platform a new set of data improving an updating image of the process current used by the platform. This transfer of data is obtained from the process via Internet by the simulation and modeling PC of the proposed platform. A fuzzy black-box modeling technique is used in this purpose. In order to complete the functionality of our propose platform, inside the architecture will be included a PLC for implementing and experimenting different types of control strategies from very simple ones to the most advanced algorithms. Also, the proposed platform includes a SCADA station for providing the most complete education and training experience. The advantage of proposed architecture is to use the real data input from a complex industrial process, to build a model improved in time, but to isolate and protect the process from research, training and education area contained in the built platform.*

**Keywords:** *open platform; education; research; training; control engineering; black-box modeling.*

## I. INTRODUCTION

Benefits, such as flexible access, lower costs, or safe learning environment offered by virtual laboratories make them an attractive solution in teaching and learning control engineering. In recent years an increased number of studies have investigated how to manage "Web-Based Learning and Teaching

Technologies" in teaching environments like university laboratories [2] [7] [8]. However real systems with real equipments and production lines are still needed to give the students a general knowledge of the real processes [1].

Our paper is presenting a proposal of architecture of a platform dedicated for research, training and education in control engineering. In our solution the proposed architecture is based on a model improved in time of a complex industrial process, build using the real data input from the process. The real process is isolated and protected from research, training and education area contained in the built platform.

The paper proposes a new paradigm to develop a platform that enables freely experiment with a collection of models improved in time of a complex industrial process. The platform allows students or researchers to be involved in the process of design the collection of models and the controller code appropriate for a certain model, improving the knowledge about the process.

Control systems of industrial processes represent main teaching area of the automatic control study. For the students an important skill is to know main types of industrial control systems like PLC and SCADA systems. Aim of this platform is to make a multifunctional learning, research and training environment for those systems. Course modules include PLC-programming, design of interfaces using SCADA software, modeling and control technologies.

This approach makes possible implementation of more flexible laboratories, appropriate also for Master courses and for training, where students or researchers are expected to develop and test advanced control laws. This approach actively encourage students participation in modeling and control of a real industrial process, writing controller code, design of interfaces using SCADA software and manage the process.

As educational technology, the proposed architecture is part of Linear Learning and Computer-based training (CBT).

Having in mind CBT is involving some intrinsic challenges as: requirements on large resources and also some poor interaction on both directions of transfer of information (restrictions on both the **content** and the **assessment** delivery), CBT learning style is still considered the most suitable for the field of Training and Education in Control Engineering.

Computer-based training is providing, on the other hand, some intrinsic evident pro arguments as the ability to enrich the delivered **content** (with tutorials, samples and videos) and also with a very efficient **assessment** structure (software interactive components are very wide developed for managing the assessments – scoring, reporting and recording – with an efficient feedback to the training actors).

The proposed architecture maintains its open structure and this feature will provide the ability to include interactive components, as the response on the lack of the human interaction.

## II. THE ARCHITECTURE DESCRIPTION

The presented architecture is the architecture of a **virtual laboratory** of training in control engineering. The laboratory is based on a computer simulation of the process to be controlled and here there is no direct control of the real process.

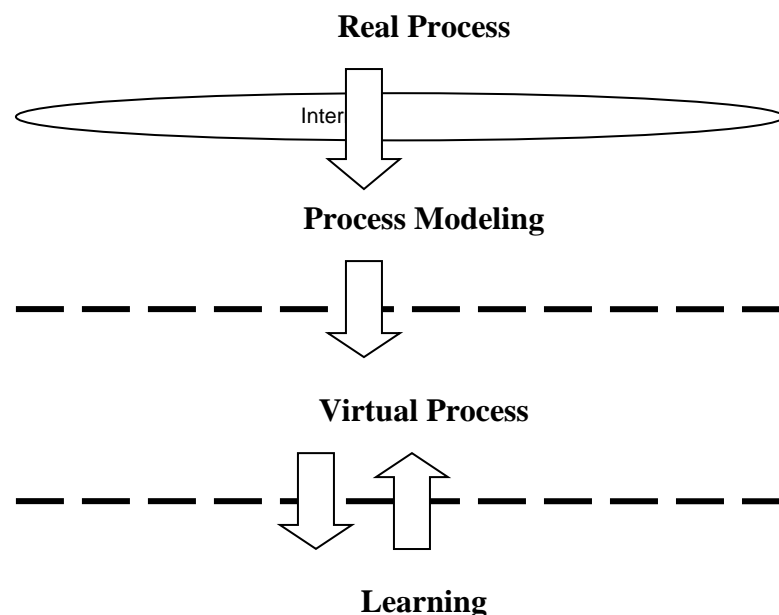
The computer simulation is performed based on a model of the real process and this model is evolving in time while *observing*, *recording* and *modeling* the behavior of the real process for which it is assigned to build a model.

We can dissociate **four structural and functional major layers** of the proposed architecture. From top to bottom, the four layers are the following: the **real process**, the **process modeling**, the **virtual process** (simulated process) and **learning**.

The representation of the partitioning of the presented architecture is highlighting the four structural and functional layers (Figure 1).

The block-arrows located at the border of two neighbor layers are to point out the direction of the data flux between those two layers.

- The **real process layer** contains the sensors, actuators and all the components of the computational infrastructure responsible for observing, recording and transmitting the process data to the process modeling layer.
- The **process modeling layer** is building the process model based on data gathered from the real process. Here are also located the functionalities of validating the resulted process model and updating the existing model.
- The **virtual process layer** contains a computer based process resulted from the simulation of the real process which is the object of the training activity. This virtual process is made accessible for the training layer.
- The **learning layer** it is the visible part of the virtual laboratory and it contains the computational infrastructure responsible for performing the research, training and educational processes.



**Figure 1** The four structural and functional layers of the architecture

## 2.1 The real process layer

In the architecture presented in the paper, the **real process layer** has to provide to the **process modeling layer** the relevant data of description of the states of the process and also for the description of the behavior of the process. The relevant data provided by the real process layer will be sets of data containing *timestamps* and *variables values*.

The *variables values* are supplied by the existing *sensors (measured values of variables)* but also the records of the *values of the commands applied* to the process are attached. The commands applied for influencing the behavior of the process can have the source in an operator (manual) intervention or an automated decision provided by an existing controller.

We can not conduct our own experiments upon the existing process in order to collect new data. This is because we want to obtain a system with *null interference* on the existing real process. Because of this target, the development of an effective process model will be longer (relative with the case when

experiments on the existing process are allowed) because the building of the model “needs to wait for things to happen” in the evolution of the real process (for collecting a more complete set of data).

The real process layer contains a *communication server* for transmitting the collected data from the observation of the real process to the next layer, the process modeling layer. The transmission is performed using internet. No special requirements are necessary to achieve by this communication channel. In fact the communication performances are not relevant because sending a new set of data records is an asynchronous process, relative to the real process evolution.

## 2.2 The process modeling layer

In this architecture, the **process modeling layer** has to provide the model of the process, based on the data sets received from the **real process layer** [3], [4].

The developed process model will become the kernel of the **virtual process layer**. The **process modeling layer** has to be a computational entity able to generate a model of a process from a collection of sets of data as description of the real process. In this layer there is also a module of *internet communication* for managing the communication with the real process layer. The internet based communication has been chosen between these two layers, because in most cases the *real process* is located remotely from *process modeling hardware components*.

The communication between the **process modeling layer** and the **virtual process layer** is performed over network, the LAN of the laboratory. The process modeling layer has also to include a *database* providing the ability to store and maintain the received data from the real process layer. The required model can be developed based on the records of this database.

## 2.3 The virtual process layer (simulated process)

The **virtual process layer** is providing the simulated process of the virtual laboratory. This *simulated process* will be the *object* for the *research, training and education in control engineering* activities, targets of the architecture presented in this paper.

The virtual process is a *computer simulation* reproducing the behavior of the real process (*observed* in the **real process layer**) using the *model* developed in the **process modeling layer**. The **virtual process layer** is *affected* by the **process modeling layer** receiving from it new models as updates (improvements in accuracy) of the current used model.

We consider it could prove to be profitable for the efficiency of the research and educational processes, the ability to maintain the whole history of the evolution of the models into a collection of snapshots of each model before its modification occurred from a new update.

Different instances of older models (different stages of the evolution of the process model) will be active (will be accessible for being used as virtual processes) on request in different stages of the research, training and educational activities. In order to provide this feature to the system, mechanisms of managing and switching (saving and restoring) the *contexts* of the different instances of the virtual process have to be developed.

From the structural point of view, the **virtual process layer** will contain the **Virtual Process**

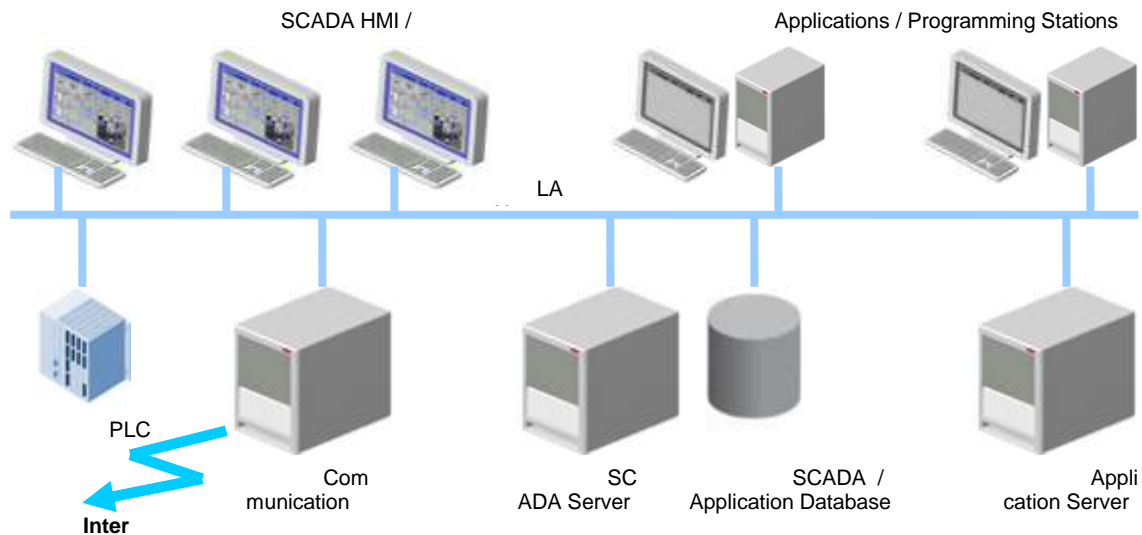
**Server** (it is required from it the ability of serving as *simulated process server* for multiple clients).

The communication between the **virtual process layer** and the **learning layer** is performed over network, the LAN of the laboratory. As component of the virtual process layer will be also the *database* required for managing the instances of the *active virtual process* and of the context of all the *activated virtual processes* and for maintaining the snapshots of all the models during the evolution of the modeling process (in order to have the ability to use them).

## 2.4 The learning layer

The **learning level**, the target of the whole presented architecture, includes many types of possible components as part of its computation infrastructure.

The virtual laboratory built based on the presented architecture could be dedicated to one or more of the multiple fields of research, training and education in control engineering (this is meaning of the *many types of possible components* in the previous sentence).



**Figure.2** The learning layer hardware structure

The laboratory hardware structure includes:

- Stations (Application / Programming) for interfacing with the other components of the architecture
- Application Server – the server holding and running in *server mode* (meaning accessible for multiple clients - workstations) all applications necessary to perform the required tasks
- Communication Server for providing the ability of exposing the existing virtual laboratory as remote laboratory
- SCADA components (SCADA Server) for SCADA based training and education in control engineering
- Applications components for HMI design for SCADA system
- PLC for SCADA applications support and also as base for PLC programming education and training
- SCADA and Application Database.
- The support of the communication between the components of the learning layer is the LAN of the laboratory.

The graphical representation of the learning layer hardware structure is highlighting a possible skeleton of the virtual laboratory subject of this paper (Figure 2).

## III. CASE OF STUDY: IRRIGATION CONTROL

The purpose of an irrigation control system is to save energy and water.

In irrigation control systems the aim is to deliver the required water to the crop in the required amount and frequency [5], [6].



We are studying a control algorithm to make an efficient irrigation strategy based on the actual measured soil humidity. The process I/O image includes:

- from the weather station: air, temperature, relative humidity, precipitation, wind speed, solar radiation.
- from RTU: time specific irrigation amount, soil moisture

The optimal water volume for plants is affected by: air temperature, soil humidity, wind and stage of plant grown. We can consider the change of soil humidity as the most important parameter for development of irrigation strategy. The control system can be gradually developed, taking into consideration first: two inputs (soil humidity amount and the watering frequency) and one output (the amount of water). Since real irrigation systems are not usually available for students training purposes, practical evaluation of development control strategy can be done only on process models. During evolution of the irrigation model complexity, considering also soil type, type of plant or evapotranspiration functions, the developed irrigation control system can effectively estimate the amount of necessary water. A black-box model of a system can be developed.

The laboratory practice includes the following activities:

- to indicate the variables associated to the proposed process (auxiliary variables, inputs and outputs)
- to model the behavior of the process (Takagi-Sugeno fuzzy model) based on the process I/O data image
- to configure and to implement the controller in the PLC
- to design interface for process monitoring using SCADA

#### **IV. CONCLUSIONS**

The aim of the platform is to offer students, engineers or researchers a tool that allow an active participation in the practice, freely experimenting with the models or controllers already developed, or design their own models, based on improved process knowledge, and writing their own controller programs.

The students can improve the knowledge on new technologies and improve the knowledge about the concepts and techniques of control engineering.

This kind of architecture helps the researchers and master students to have a better understanding of the complex industrial process.

The main objectives of the lab practice are:

- to identify the I/O variables and auxiliary variables
- to realize the model improved in time, based on a collection of a I/O process images from a real industrial process
- to implement the controller in the PLC
- to validate the controller using the virtual process

#### **Acknowledgements**

This work was supported by a grant of the Romanian National Authority for Scientific Research and Innovation, CNCS/CCCDI – UEFISCDI, project number PN-III-P2-2.1-BG-2016-0387, within PNCDI III.

#### **Reference Text and Citations**

- [1] Matti VÄÄNÄNEN, Jussi HORELLI, 2004, Multi-functional Laboratory Demonstration System, International Conference on Engineering Education and Research "Progress Through Partnership" , Ostrava, ISSN 1562-3580, pp. 459-465.
- [2] M. S. Thomas, P. Kumar, and V. K. Chandna, 2004 ,Design, development, and commissioning of a supervisory control and data acquisition (SCADA) laboratory for research and training, IEEE Trans. Power Syst., vol. 19, no. 3, pp. 1582–1588.

## Sistem de Automatizare si Telemetrie Eficient energetic pentru managementul Resurselor in Agricultura de precizie (SA-TERRA) – Etapa 2/2017

---

- [3] L. Ljung, 2001, Black-box models from input-output measurements, [Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2001. IMTC 2001. Proceedings of the 18th IEEE](#), 21-23 May 2001, Print ISSN: 1091-5281, pp. 138-146.
- [4] J. Abonyi, R. Babuska and L.F.AWessels and H.B. Verbruggen and F. Szeifert , 2000, Fuzzy Modeling and Model Based Control With Use of a Priori Knowledge, Mathmod, Section on Modeling for control and supervision, Austria, pp: 769-772.
- [5] Pranita A. Bhosale, Prof. V. Dixit, 2012, Water Saving-Irrigation Automatic Agricultural Controller, International Journal of Scientific & Technology Research, Volume 1, Issue 11, December 2012, ISSN 2277-8616, pp. 118-123.
- [6] Agbetuyi Ayoade Felix, Orovwode H. E, Orovwode H. E., Awelewa A. A., Wara S. T. and Oyediran Tobiloba, 2016, Design and implementation of an automatic irrigation system based on monitoring soil moisture, Journal of Electrical Engineering., pp. 10.
- [7] J. Chacon M. Guinaldo, J. Sanchez , S. Dormido, 2015, A new generation of online laboratories for teaching automatic control, IFAC-PapersOnLine, vol. 28, pp. 140-145.
- [8] M. Chirico, A. M. Scapolla, and A. Bagnasco, 2005, “A new and open model to share laboratories on the internet, IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 54, no. 3, pp. 1111–1117.



The 9<sup>th</sup> IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications  
21-23 September, 2017, Bucharest, Romania

## *Advanced Control Strategies for Irrigation Systems*

Tiberiu Marinescu, Nicoleta Arghira, Daniela Hossu, Ioana Fagarasan,  
Iulia Stamatescu, Grigore Stamatescu, Vasile Calofir, Sergiu Iliescu  
University Politehnica of Bucharest, Bucharest, Romania  
Faculty of Automatic Control and Computers  
Department of Automation and Industrial Informatics

**Abstract**— Water management and irrigation scheduling have become the main subjects of different studies in the last decades, due to their high influence on crop performance indicators. This study presents the most important parameters that have to be monitored in an irrigation management system and the most important ones are synthesized: air moisture and temperature, soil air and moisture, evapotranspiration. Based on the monitoring of these parameters, different control strategies and methods can be applied for optimization and efficiency of irrigation systems. The synthesis in this paper starts with classical control systems and, also, advanced methods such as fuzzy concept, decision support systems and model predictive control. Considering the currently necessity of integration into the Cyber-Physical Systems (CPS) concept, the paper finally proposes an irrigation control system for vineyards. The SCADA architecture is suitable for the Romanian context, it allows flexibility and ease of use and it reduced both energy consumption and irrigation operation costs.

**Keywords**—irrigation, telemetry, control, precision, agriculture

### I. INTRODUCTION

Irrigation quality is a crop performance indicator, its influence being realized both directly and indirectly. If we refer to the high quantity of water that crops need, we see it as a direct influence factor, as soon as its indirectly role could be seen in the influence on the other nutrients availability and on the timing of cultural operations. Irrigation requirements are very different from a region to

another, thus energy efficiency and economic use of water resources depend on a function of soil and crop type, climate and moisture [20].

Many factors influence the potential water-use efficiency. The meaning of the word potential refers to the maximum water-use efficiency that can be achieved when the system is operated properly.

Global temperature has increased with 0.2 - 0.3 [°C] in the last 30 years. The growing season in viticulture is very influenced by high or low temperatures. [17] has shown that for a 1, 2 or 3 [°C] rise of temperature, it will also be a crop water demand increase with 11%, 19% and even 29%.

This paper presents an energy efficient proposed system for irrigation management in vineyards. To understand the system structure, section II presents the monitored parameters with a huge influence on crop productivity. Section III show the main advanced control methods currently used in irrigation management, due to the necessity of an advanced irrigation system able to manage the installation and receive alerts.

The integrated automation and telemetry solution for irrigation management in precision agriculture considering criteria to energy efficiency and economics, along with the latest control technologies is proposed in section IV.

## II. MONITORED PARAMETERS IN IRRIGATION MANAGEMENT

Precision of measurements is of high importance in vineyards productivity, modern techniques frequently used is focused on the optimization of the oenological potential that vineyards have.

Precision viticulture is characterized by a crop that is dependent of a specific region climate and soil type. This dependence expresses the weather influence in vineyards and some of the arguments that support this idea are:

- Daily temperature trend has a huge influence on the grape quality and, consequently, on wine [15];
- Bunch temperature offers an information related to the phenolic compounds maturation [16];
- Solar radiation has an impact on phenolic compound biosynthesis [18].

### A. Air moisture and temperature

Crop is certainly a function of temperature if water is available for optimum satisfaction [1]. Temperature has a great influence on seeds germination. Due to the biochemical processes, the germination phases that include hydration and enzyme activation, its degradation and embryo growth are temperature dependent.

Validated arguments that show the necessity of temperature monitoring are:

- From 5 to 37 [°C], the rate of photosynthesis is doubled at every 10 [°C] increase in temperature;
- The respiration rate becomes double at each 10 °C above the optimum temperature;
- The minimum threshold is the temperature below which no growth is possible.

Relative humidity offers an information regarding the water vapor that is in the air, this parameter being in a strong dependence with temperature. Dew point temperature explains this dependence, because temperature goes down when the relative humidity increases and if the temperature gets cold enough, the air gets to the point in which it holds the highest quantity of water vapors.

Due to these arguments, air moisture and temperature must be monitored in an irrigation management system.

### B. Soil moisture and temperature

Soil is also very important in irrigation management as it is a major source of atmospheric CO<sub>2</sub> and a storage reservoir for carbon with soil moisture being a driving force. Some advantages of soil moisture monitoring are:

- The influence in temperature and weather forecasting, due to the fact that it has an rise of the evaporation rate that increases the temperature [3];
- The increasement of the humidity caused by the evaporation rate of the soil moisture that increases the dew point;

- The dependence between temperature and precipitation. This is highlighted by the low pressure systems that will condense if air moisture is due to the soil moisture evaporation. The result is precipitation occurrence.

Irrigation management is of high importance in a vineyard. In many regions, growers apply irrigations when soil moisture is above an established limit (for example 50 %). Soil moisture is also important because it indirectly influences irrigation (the water application and movement across the field, assuring the intake rate). The application rate depends of sprinkler and low-volume methods such as deep and micro-sprinkles that uses mechanical devices as nozzles [5]. Water that is lost by evaporation could be saved by an efficient irrigation appliance capable of reducing evaporation with 5 to 15 % depending of the frequency that is used.

Irrigation without soil moisture monitoring is not indicated, due to the fact that this parameter has an influence in the balance between canopy size and fruitfulness [19]. The main objective of irrigation is to optimize the plant water stress and this could be done by an efficient soil moisture monitoring. The readings of soil moisture sensor are temperature dependent and field measured resistance needs correction when some differences appear between calibration and field measurements.

Soil temperature monitoring is influenced in an important proportion by solar radiation and humidity. It is considered that soil temperature should be measured by sensors that have no moving parts and that do not need calibration.

### C. Evapotranspiration

A very important parameter for crop growth and health is evapotranspiration. This irrigation management variable is computed based on weather information (air temperature and humidity, wind speed etc.).

Explanation of the interdependence existing among evapotranspiration and meteorological data collected from on-site weather stations is offered by using Penman-Monteith method [13].

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

- $ET_0$  – reference evapotranspiration [mm day<sup>-1</sup>],  
 $R_n$  – net radiation at crop surface [MJ m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>],  
 $G$  – soil heat flux density [MJ m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>],  
 $T$  – air temperature at 2 m height [°C],  
 $u_2$  – wind speed at 2 m height [m s<sup>-1</sup>],  
 $e_s$  – saturation vapor pressure [kPa],  
 $e_a$  – actual vapor pressure [kPa],  
 $e_s - e_a$  – saturation vapor pressure deficit [kPa],

$\Delta$  – slope vapor pressure curve [kPa °C<sup>-1</sup>],  
 $\gamma$  – psychrometric constant [kPa °C<sup>-1</sup>].

A more simpler formula is *Priestley-Taylor* equation based on radiation and temperature.

$$ET_o = \alpha \frac{\Delta(R_n - G)}{\Delta + \gamma} + \beta \quad (2)$$

A simplified formula is Makink that is based on Priestley-Taylor method. They are two coefficients used in this formula:  $\alpha$ , that has a value of 0.61 and  $\beta$  that is 0.012.

$$ET_o = \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{R_s}{2,45} + \beta \quad (3)$$

### III. CONTROL STRATEGIES FOR IRRIGATION SYSTEMS

Based on the monitoring of several parameters, as seen in chapter II, different control strategies and methods can be applied for optimization and efficiency of irrigation systems.

Different approaches can be used for designing the control strategy in drip irrigation systems: constant open-loop control, open loop on/off, feedback control, [23].

#### A. Classical PID Control

Classical control methods such as proportional, integral and derivative methods show good results, Fig. 1.

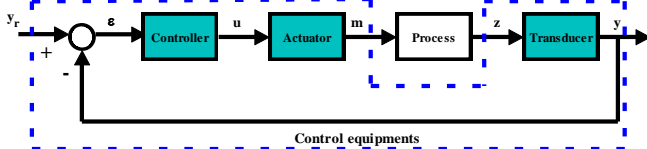


Fig. 1. Classical control system

In [21] a discrete PID controller is used to control an open irrigation channel. The actuator is the opening gate and the controller provides the signal for position of this gate.

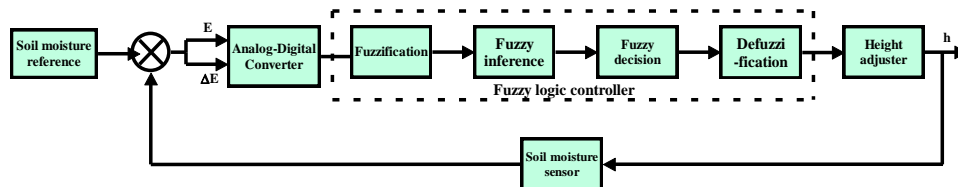


Fig. 3. Fuzzy control architecture

The soil humidity error's membership function assignment, which is of high importance in fuzzy control, is based on the rule that the higher sensitivity membership for little error and the fine stability

PID control is used in [22] in a modified manner, with a constrained integral function, and the goal is supplying the appropriate amount of water to meet the needs of the plant during the diurnal cycle. A diagram of the PID control for soil moisture in dripping irrigation system is presented in Fig. 2.

The controller computes the command signal based on the error between the measured soil moisture from the transducer and the reference one. The actuator is represented by a control relay that acts on the water supply valve. Considering the varying solar radiation levels, the controller can still follow the soil moisture reference, which proved this classical method gives good results.

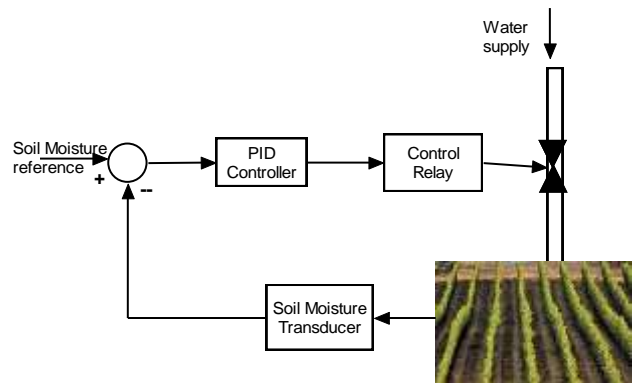


Fig. 2. Soil moisture PID Control

#### B. Fuzzy control systems

Fuzzy control is a strategy used for irrigation management considering several controlled parameters: soil moisture, water supply, loss minimization etc.

The general architecture for fuzzy control of soil humidity is presented in [24], Fig. 3. The water supply is assured through a reservoir house height acts as actuating variable  $h$ . The soil moisture error is the difference between measured soil moisture and the reference one. The system has a variable reference depending on the stage of growth of the plant.

membership for larger error. Totally, there were 16 fuzzy rules in this system.

C. Decision support systems

In [6], a decision support system (DSS) is proposed for water supply prediction and control. This system collects data from a specific weather station. Then, collected data and weather predictions from three different sources are analyzed and the result is an evapotranspiration prediction and an estimation of plant daily development forecast for the next 10 days.

A water distribution planning solution is proposed in [8] for irrigation in an arid district. Optimal water delivery scheduling for irrigation canals is implemented through a DSS system.

The DSS structure consists of a water demand module, a supply module and a planning module, Fig. 4.

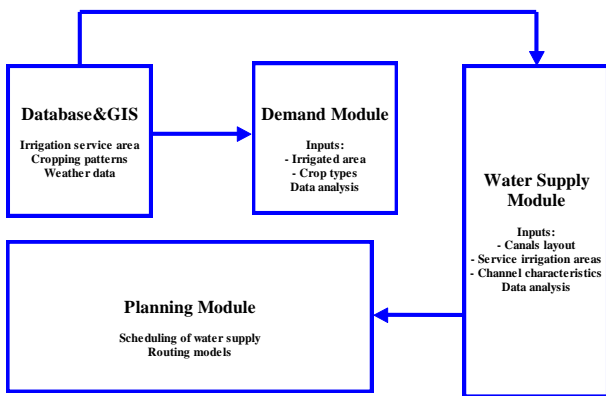


Fig. 4. DSS architecture for water supply scheduling, [8]

D. Model Predictive Control

Model predictive control (MPC) approach is common used in industry offering a number of features:

- 1) is robust against uncertainty
- 2) system constraints can be handled
- 3) is easy to accomplish tuning
- 4) is used in multivariable control applications

In MPC control strategy the future evolution control sequence of the system is determined based on system model by minimizing a cost function. The cost function is obtained by minimizing the deviation from set points over the prediction horizon, Fig. 5.

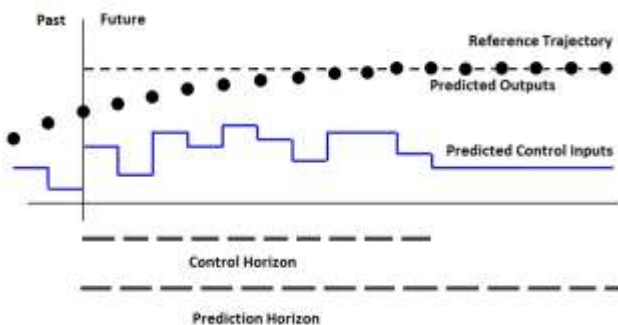


Fig. 5. MPC control

In [25] a Model Predictive Control framework for real-time irrigation scheduling is developed. A state space formulation of the water balance model is developed. The accuracy of the water balance approach is affected by uncertain measurements, such as evapotranspiration and precipitation and constraints such as limited water. The soil moisture deficit set-point tracking is accomplished by the MPC controller. The MPC controller also incorporates input and output constraints. The controller successfully tracks the commanded set-point as well as meets the constraints.

IV. PROPOSED SYSTEM FOR IRRIGATION CONTROL IN VINEYARDS

Irrigation control strategies should be integrated in complex automation and telemetry systems. There are several such systems in the world, adapted on specific crops and weather. Two of the implemented irrigation management systems are presented further.

The *Advanced Scientific Irrigation Management* application is a complex SCADA systems used for optimization irrigation in an arid district in USA, [6].

In order to implement the irrigation program, it is used a 6 six days sample code for each of the 369 parcels. Then, code is transferred to the SCADA master system which controls the 93 RTU stations by radio communications. Irrigation channels are controlled by a Decision Support System (DSS), as described in section III.

Advantages of this system should be summarized as the overcome of water infiltrations, water costs, water-supply shortages, some specific irrigation issues.

In [7] an implementation of an automated irrigation system, installed in Australia is presented. Efficiency of the irrigation system can be improved by an information infrastructure including sensors, actuators and supervisory control and data acquisition communication network. The task of the supervisory control is to ensure that the physical flow capacities are not exceeded. An irrigation system model is constructed based on the interconnection of the individual pool models. In order to achieve an entire irrigation system under closed loop control where water orders are met in real time on demand, the research and development effort has focused on controlling water quantity and quality in open channels.

Due to knowledge and existing technologies in the third wave of the information processing, communication and computing, a new telemetry system for precision agriculture should be integrated into the Cyber - Physical System (CPS) concept. The CPS paradigm has two connotations. On the one hand, it solves the issues related to the way in which inquiry is done, whereas the second one is a model that underpins all specific states of the components of the process [4].

## Sistem de Automatizare si Telemetrie Eficient energetic pentru managementul Resurselor in Agricultura de precizie (SA-TERRA) – Etapa 2/2017

Considering the analysis on the control systems implemented over the world and the specific conditions in the Romanian context, an energy efficient irrigation system for water supply control in vineyards is proposed,

Fig. 6. The irrigation management system for the precision agriculture could be seen as a MIMO system.

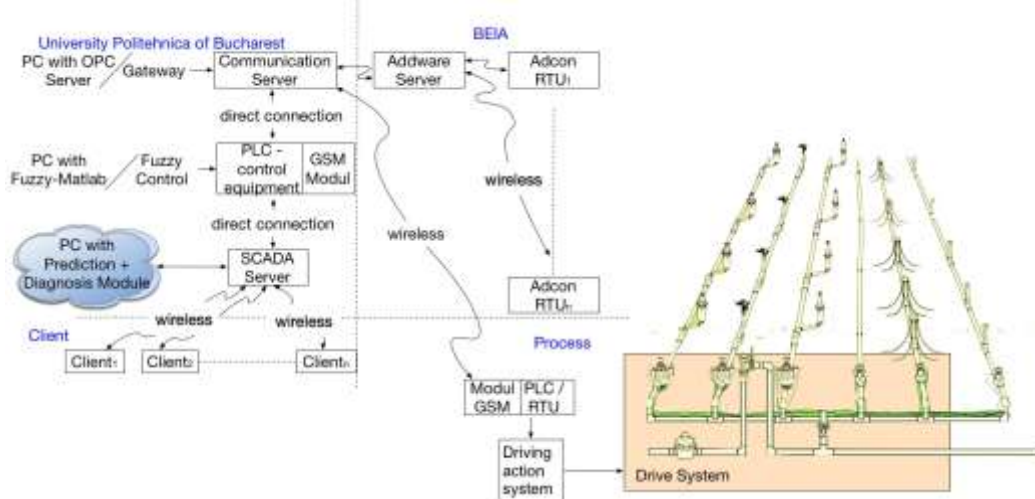


Fig. 6- Proposed irrigation control system

The control strategy follows a fuzzy approach and it considers soil moisture control and the disturbances can be air temperature and evapotranspiration, as it is a plant disease indicator.

Thus, the system must be fully interconnected and decentralized, being equipped with the following:

- **One or more telemetry stations** that establish the irrigation necessity. Considering the arguments exposed in the 2nd paragraph, it is of highly importance to have sensors for air and soil temperature, air and soil humidity and evapotranspiration computation, [26]. With these parameters, they could be calculated the precipitations necessity and the irrigations efficiency.

- **A SCADA system** (a SCADA master and clients) that receives all information from process and, using some specific decision algorithms, sends commands to actuators. It must be done a software application that collects and processes data from sensors and that has the capability of displaying it in a logical format. The main characteristics that a SCADA system for irrigation management must have are presented in Fig. 7. **A RTU (Remote Terminal Unit)** that includes solar panels and batteries for independent operation is used for acquisition of other field parameters and actuators control.

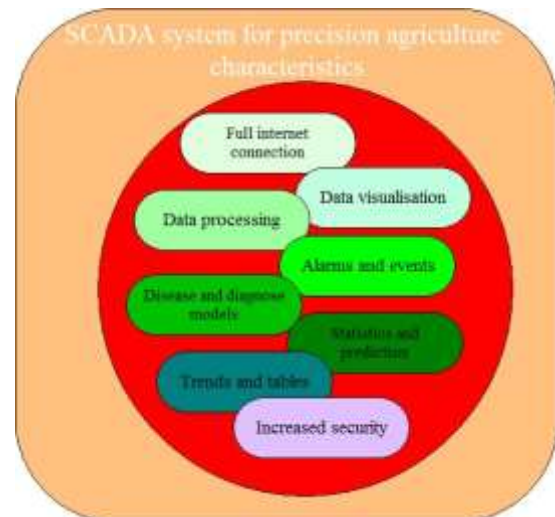


Fig. 7 - Main characteristics of the SCADA system in irrigation management

- **The actuators** consist of pumps, valves and other equipment that operate directly to irrigate the vineyards. All these are chosen for energy efficiency of the system, but also for efficient water management.

### V. CONCLUSIONS

Irrigation management systems should be focused on the adequate supply of water in order to increase crop productivity.

This study focuses at first on the main parameters that must be monitored in an irrigation management system to discover the advantages and effects of their control. Both soil and air moisture and temperature are monitored with specific measurement probes and evapotranspiration can be calculated using Penman-Monteith, Priestley-Taylor or Makkink method.

The control strategies for irrigation systems are classified into 4 categories, from classical to new trends in irrigation control: PID control, fuzzy control systems, decision support systems for water supply prediction and control and model predictive control.

The main contribution of the paper is the proposal of an irrigation control system for vineyards, from a Cyber-Physical Systems perspective. The SCADA architecture allows a CPS approach and the fuzzy control strategy is suitable for the Romanian context. Based on the high quality of measurements, the system computes the water supply necessity based on a fuzzy controller. The communication system based on GSM modules at the field level brings flexibility and ease of use for the telemetry and automation system.

The system architecture has many other benefits such as low energy consumption, low administration costs and forecasting and diagnosis functions.

#### ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by a grant of the Romanian National Authority for Scientific Research and Innovation, CNCS/CCCDI – UEFISCDI, project number PN-III-P2-2.1-BG-2016-0387, within PNCDI III.

#### REFERENCES

- G. Rasul, Q.Z. Chaudhry, A. Mahmood, K. W. Hyder, "Effect of temperature rise on crop growth and productivity", Pakistan Journal of Meteorology, Volume 8, Issue 15, 2011
- "Effect of temperature on crop production", <http://pstustudy.blogspot.ro/2010/08/effect-of-temperature-on-crop.html>, Accessed on 1 april 2017
- K. Bellingham, "The Role of Soil Moisture on our Climate, Weather and Global Warming", [http://www.soilsensor.com/climatechFigure 2 - Proposed telemetry system.aspx](http://www.soilsensor.com/climatechFigure2-Proposedtelemetrysystem.aspx), Accessed on 1 april 2017
- I. Korvath, B. H. M. Gerritsen, "Cyber-Physical Systems: Concepts, Technologies and implementations principles", Karlsruhe, Germany, 2012
- T. Prichard, "Vineyard Irrigation Systems", Pages 57 - 63 in: Raisin Production Manual. University of California Agricultural and Natural Resources Publication 3393, Oakland, CA
- M. Nabil, "Interaction Of Advanced Scientific Irrigation Management (Asim) With I-Scada System For Efficient And Sustainable Production of Fiber on 10,360 Hectares", Resource Magazine March/April 2014.
- I. Mareels, E. Weyer, S. K. Ooi, M. Cantoni, Y. Li, G. Nair, "Systems engineering for irrigation systems: Success and challenges", Annu. Rev. Control (IFAC), vol. 29, pp. 191-204, 2005a
- K. Kinzli, D. Patterson, R. Oad, N. Shafike, L. Garcia, D. Gensler, "Improving Irrigation System Performance Through Scheduled Water Delivery in the Middle Rio Grande Conservancy District", Fifth International Conference on Irrigation and Drainage Irrigation for Food, Energy and the Environment Salt Lake City, USCID Fifth International Conference, Utah — November 4-7, 2009
- L. L. Pfitscher, D. P. Bernardon, L. M. Kopp, M. V. T. Heckler, J. Behrens, "Automatic Control of Irrigation Systems Aiming at High Energy Efficiency in Rice Crops", 2012 8th International Caribbean Conference on Devices, Circuits and Systems (ICCDSCS)
- I. Mareels, Su Ki Ooi, D. Aughton, T. Oakes, "Total Channel Control – The value of automation in irrigation distribution systems", 104 Proceedings USCID Vancouver, 2005b
- Y. Osroosh, R. T. Peters, C. S. Campbell, Q. Zhang, "Comparison of irrigation automation algorithms for drip-irrigated apple trees", Elsevier Computers and Electronics in Agriculture 128 (2016) 87–99, ISBN 0168-1699, 2016
- S. Shahidian., R.P. Serralheiro, J.L. Teixeira, F.L. Santos, M.R.G. Oliveira, J.L. Costa, C. Toureiro, N. Haie, R. M. Machado, "Drip irrigation using a PLC based adaptive irrigation system", WSEAS Transactions on Environment and Development, 2012 <https://extension.illinois.edu/treehouse/clouds.cfm?Slide=3>, Accessed on 1 april 2017
- Winkler A.J., Cook J.A., Kliewer W. M. and Lider L.A., "General Viticulture", University of California Press Berkeley, 1974
- Castia T., Franco M.A., Mattivi F., Muggioli G., Sferlazzo G., Versini G., "Characterization of grapes cultivated in Sardinia : chemometric methods applied to the anthocyanic fraction", Lavoisier, Paris, 1992
- G. Naheed, G. Rasul, "Projections of Crop Water Requirement in Pakistan under Global Warming", Pakistan Journal of Meteorology, Vol. 7, Issue 13, 2010
- M. Downey, N. Dokoozlian, M. P. Krstic, "Cultural Practice and Environmental Impacts on the Flavonoid Composition of grapes: A Review of Recent Research", American Journal of Enology and Viticulture, 57: 257-268, 2006
- P. A. Bhosale, Prof. V. V. Dixit, "Water Saving-Irrigation Automatic Agricultural Controller", International Journal of Scientific & Technology Research Volume 1, Issue 11, 2012
- "Importance of Water Management in Crop Production", [https://www.indiaagronet.com/indiaagronet/water\\_management/water\\_3.htm](https://www.indiaagronet.com/indiaagronet/water_management/water_3.htm), Accessed on 15 april 2017
- R. Evans, R. E. Sneed, J. H. Hunt, "Irrigation Management Strategies to Improve Water and Energy Use Efficiencies", 1996
- A. Lacasta, M. Morales-Hernandez, P. Brufau, P. Garcia-Navarro, "Simulation of PID control applied to irrigation channels", Procedia Engineering, vol 70, 2014, pp 978 – 987
- M. S. Goodchild, K. D. Kühn, M. D. Jenkins, K. J. Burek & A. J. Dutton, "A Method for Precision Closed-loop Irrigation Using a Modified PID Control Algorithm", Sensors & Transducers, Vol. 188, Issue 5, May 2015, pp. 61-68
- M.F. Leroux, "Design of an automated irrigation system", McGill University, 2005
- R. Ji, L. Qi, Z. Huo, "Design of fuzzy control algorithm for precious irrigation system in greenhouse" in Computer and Computing Technologies in Agriculture V. CCTA 2011, IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 370, Springer, Berlin, Heidelberg
- S. K. Saleem, D. K. Delgoda, S. K. Ooi, K. B. Dassanayake, L. Liu, M. N. Halgamuge, H. Malano, "Model Predictive Control for Real-Time Irrigation Scheduling", IFAC Proceedings Volumes, Volume 46, Issue 18, August 2013, Pages 299-304
- Suciu, G; Suciu, V; Cirstea, V; Focsa, A (; Halunga, S et al, 2015 Proceedings of 14TH ROEDUNET International Conference - Networking In Education And Research, Pages: 218-222, 2015



