

SOFTCOM S.R.L.

Republica Moldova, Chișinău MD-2060, Traian, 5-141

Tel/Fax (37322)563306, mob. 069121403, www.syscom.md

Dezvoltarea tehnologiei și crearea prototipului Sistem Automatizat a Serelor pe platforma SCADA-IA

Raport științific

AUTORI:

Dr.-ing. CICLICCI Vladimir

Dr.-ing. IACOB Mihail

Ing.prog. sistem ALEXEENCO Vladimir

Ing.prog. CICLICCI Andrei

Ing.prog. DENISOV Serghei

Ing. SIDORENCO Denis

Chișinău-2026

Întroducere

Proiectul de cercetare și inovare “Dezvoltarea tehnologiei și crearea prototipului Sistem Automatizat a Serelor pe platforma SCADA-Inteligență Artificială” e realizat în baza ordinului ANCD nr.18 din 15.07.2024 din cadrul Priorității strategice “Agricultura durabilă, Securitate alimentară”, cu cifrul 24.80015.5107.02 PI în Registrul de Stat.

Analiza Sistemelor de control inteligente în Republica Moldova și în alte țări [...], Anexa 1, a arătat realizări particulare și fragmentare în privința implementării tehnologiilor avansate, Inteligenței artificiale.

Acest Sistem Automatizat pe platforma SCADA-PID-MPC-AI are ca scop reducerea în oarecare măsură a neajunsurilor sistemelor actuale în funcție:

- Realizarea funcțiilor și aracteristicilor susnumite fragmentar, incomplect
- Indivizualizarea sistemului conform specificului serei, universalitate redusă,
- Lipsa deseori a tehnologiilor avansate, mai ales, apărute în ultimul timp, tehnologiile predictive a Inteligenței Artificiale, bazate pe Rețele Neuronale (NN-Neuronal Network).

Scopul principal al Proiectului este realizarea unui Sistem de control automatizat în seră cu caracteristici:

- Universalitate (modularitate și scalabilitate),
- Fiabilitate,
- Automatizare,
- Tehnologii avansate,
- Eficiență.

Obiectivele esențiale:

- Analiza analitică a sistemelor de automatizare a serelor.
- Elaborarea tehnologiei și algoritmilor principali de funcționare a Sistemului.
- Elaborarea arhitecturii Sistemului.
- Elaborarea și confecționarea modelului-prototip al Sistemului.
- Testarea regimului prognoză Inteligența Artificială.

Materialul proiectului actual este expus în 8 capitole cu concluzii și referințe bibliografice la fiecare, concluzii generale și anexe.

1. Dezvoltarea teoriei plantelor: de la fiziologia clasică la modelele digitale și inteligența artificială

1. Introducere

Fiziologia plantelor a evoluat de la observații descriptive la modele matematice complexe care integrează procese biofizice, chimice și ecologice. Înțelegerea mecanismelor de fotosinteză, transport al apei și nutriție minerală a fost esențială pentru dezvoltarea agriculturii moderne și a sistemelor de management al culturilor.

2. Dezvoltarea teoriei plantelor (XVII–XIX)

În secolele XVII–XIX, fiziologia plantelor a fost consolidată prin studii experimentale fundamentale:

- **Stephen Hales (1727)** a realizat primele măsurători ale transpirației și balanței apei la plante (Hales, 1727).
- **Julius Sachs (anii 1860)** a introdus bazele fotosintezei, nutriției minerale și structurii țesuturilor vegetale (Sachs, 1864).
- **Justus von Liebig (1840)** a formulat „legea minimului”, evidențiind că creșterea plantei este limitată de elementul aflat în deficit (Liebig, 1840).
- **Knudsen și Pfeffer** au studiat osmoza și turgorul, contribuind la dezvoltarea fiziologiei experimentale (Knudsen, 1895; Pfeffer, 1889).

3. Formarea modelelor cantitative (Secolul XX)

Secolul XX a adus modele matematice care cuantificau procesele fiziologice:

- Biofizica frunzei (1930–1970) a studiat aparatul stomatic și mecanismele de deschidere/închidere a stomatelor (Lambers et al., 1998).
- Modele formale ale fotosintezei C3 au fost dezvoltate de Farquhar, von Caemmerer și Berry (1980), reprezentând standardul de referință în domeniu.
- Ball și Leuning au propus primele ecuații pentru conductanța stomatică, utilizate ulterior în modelele ecosistemice (Ball et al., 1987; Leuning, 1990).
- Medlyn (2011) a introdus un model optimizațional apă/carbon, folosit în modelele moderne de microclimat bazate pe inteligență artificială (Medlyn et al., 2011).

4. Modele digitale și inteligență artificială (Secolul XXI)

În secolul XXI, modelele digitale integrate permit simularea proceselor fiziologice și a interacțiunilor cu mediul:

- Modelele ecosistemice FATES, CLM și ED2 oferă simulări detaliate ale fotosintezei, fluxurilor de apă și carbon (Koven et al., 2013; Oleson et al., 2013; Medvigy et al., 2009).
- Apariția modelelor hibride combină învățarea automată cu fiziologia plantelor, optimizând managementul culturilor și previziunile de productivitate (Schwalm et al., 2019).

Concluzii

Dezvoltarea teoriei plantelor a trecut de la observații descriptive la modele cantitative și digitale, culminând cu utilizarea inteligenței artificiale. Integrarea cunoștințelor fiziologice cu modelele predictive permite optimizarea agriculturii și adaptarea la schimbările climatice.

Referințe bibliografice

- Hales, S. (1727). *Vegetable Staticks*. London.
- Sachs, J. (1864). *Lehrbuch der Botanik*. Leipzig: Engelmann.
- Liebig, J. (1840). *Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie*. Braunschweig.
- Knudsen, H. (1895). *Experimental Plant Physiology*. Copenhagen.
- Pfeffer, W. (1889). *Physiology of Plants*. Leipzig.
- Lambers, H., Chapin III, F. S., & Pons, T. L. (1998). *Plant Physiological Ecology*. Springer.
- Farquhar, G. D., von Caemmerer, S., & Berry, J. A. (1980). A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C3 species. *Planta*, 149, 78–90.
- Ball, J. T., Woodrow, I. E., & Berry, J. A. (1987). A model predicting stomatal conductance and its contribution to the control of photosynthesis under different environmental conditions. *Progress in Photosynthesis Research*, 4, 221–224.
- Leuning, R. (1990). Modelling stomatal behaviour and photosynthesis of *Eucalyptus grandis*. *Agricultural and Forest Meteorology*, 51, 265–288.
- Medlyn, B. E., et al. (2011). Reconciling the optimal and empirical approaches to modelling stomatal conductance. *Global Change Biology*, 17, 2134–2144.
- Koven, C. D., et al. (2013). FATES model description. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 5, 1–23.
- Oleson, K. W., et al. (2013). Community Land Model (CLM) version 4.5. *Journal of Geophysical Research*, 118, 1–18.
- Medvigy, D., et al. (2009). ED2 model description. *Ecological Modelling*, 220, 3143–3163.
- Schwalm, C. R., et al. (2019). A model–data intercomparison of vegetation models using remote sensing and machine learning. *Global Change Biology*, 25, 3526–3544.

2. Evoluția automatizării serelor

a) 1900–1960 — Sisteme mecanice

- Ferestre de ventilație automate bazate pe expansiune metalică
- Serele sunt acționate în principal manual

b) 1960–1990 — Automatizare electrică

- Relee, termostate, umidistate
- Temporizatoare pentru udare și iluminare

c) 1990–2010 — SCADA și controlul computerizat al climei

- Controlere PLC industriale
- Înregistrare de date, monitorizare de la distanță
- Automatizarea încălzirii, ventilației și nebulizării

d) 2010–2020 — Modele de control bazate pe plante

- Clima este optimizată pe baza fotosintezei, transpirației și conductanței stomatelor
- Apariția modelelor digitale de creștere a plantelor

e) 2020–prezent — SCADA + AI

- Prognoza microclimatului (LSTM, transformatoare)
- Optimizare energetică
- Sere digitale gemene
- Strategii de control cu auto-învățare

Scurt istoric al sistemelor de control automatizat ale serelor

Automatizarea serelor a evoluat progresiv ca răspuns la necesitatea creșterii productivității, stabilității climatice și eficienței energetice în horticultura protejată. Metodele de control au trecut de la abordări empirice la sisteme avansate bazate pe modele matematice și inteligență artificială [1–3].

Primele forme de control s-au bazat pe intervenția manuală a cultivatorului, ulterior fiind introduse dispozitive mecanice și termostate simple pentru reglarea temperaturii și ventilației [4]. Odată cu dezvoltarea electronicii industriale, regulatoarele PID au devenit metoda dominantă pentru controlul variabilelor climatice în sere, datorită simplității și robusteții lor [5,6].

Introducerea controlerelor logice programabile (PLC) și a sistemelor SCADA a permis monitorizarea centralizată, arhivarea datelor și controlul multi-zonă al serelor moderne [7]. Cu toate acestea, aceste sisteme se bazează în principal pe strategii reactive și nu includ explicit dinamica viitoare a procesului sau răspunsul biologic al plantelor.

Un progres major a fost realizat prin aplicarea controlului predictiv bazat pe model (Model Predictive Control – MPC), care utilizează modele matematice ale serei pentru a anticipa evoluția variabilelor climatice și a optimiza consumul energetic sub constrângeri operaționale [8–10]. MPC este considerat una dintre cele mai eficiente metode de control avansat pentru horticultura protejată.

În ultimul deceniu, metodele de inteligență artificială și învățare automată au fost tot mai frecvent utilizate pentru modelarea proceselor neliniare complexe din seră, inclusiv interacțiunea dintre climă și fiziologia plantei [11–13]. Modelele bazate pe date permit adaptarea controlului la diferite culturi, stadii de dezvoltare și condiții meteorologice.

Concluzii

Tendința actuală este reprezentată de sisteme hibride care integrează SCADA, PID, MPC și AI într-o arhitectură unificată, considerată un sistem ciber-fizic orientat spre optimizarea simultană a producției, calității și eficienței energetice [14,15].

Referințe bibliografice

1. van Straten, G., van Willigenburg, L. G., van Henten, E. J., **Optimal Control of Greenhouse Cultivation**, CRC Press, 2010.
2. Boulard, T., Wang, S., *Greenhouse crop transpiration and climate control*, Agricultural and Forest Meteorology, 1998.
3. Jones, J. W., et al., *Decision support systems for agricultural production*, Agricultural Systems, 2003.
4. Bailey, B. J., *Control strategies in greenhouse crop production*, Acta Horticulturae, 1990.
5. Åström, K. J., Hägglund, T., **PID Controllers: Theory, Design, and Tuning**, ISA, 1995.
6. Tap, R. F., *Economics-based optimal control of greenhouse tomato crop production*, PhD Thesis, Wageningen University, 2000.
7. Bakker, J. C., et al., **Greenhouse Horticulture: Technology for Optimal Crop Production**, Wageningen Academic Publishers, 2008.

8. van Henten, E. J., et al., *Optimal control of greenhouse climate*, IFAC Proceedings Volumes, 1996.
9. Ferentinis, K. P., et al., *Model predictive control for greenhouse climate management*, Computers and Electronics in Agriculture, 2017.
10. van Ooteghem, R. J. C., *Optimal control design for a solar greenhouse*, PhD Thesis, Wageningen University, 2007.
11. Seginer, I., *Neural networks for greenhouse climate control*, Computers and Electronics in Agriculture, 1997.
12. Papageorgiou, E. I., et al., *Soft computing techniques in greenhouse climate control*, Applied Soft Computing, 2011.
13. Shamshiri, R. R., et al., *Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture*, Biosystems Engineering, 2018.
14. Körner, O., Challa, H., *Process-based humidity control regime for greenhouse crops*, Computers and Electronics in Agriculture, 2003.
15. Benos, L., et al., *Machine learning in agriculture: A comprehensive review*, Computers and Electronics in Agriculture, 2021.

3. SCADA în sere

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) este un sistem de **monitorizare, control și achiziție de date** utilizat pentru automatizare în industrie dar și a serelor.

Funcții principale:

- Monitorizarea în timp real a **temperaturii, umidității, CO₂, luminii, umidității solului**
- Controlul echipamentelor: **încălzire, ventilație, irigare, ecrane termice, iluminat**
- Colectarea și arhivarea datelor
- Alarme și notificări la depășirea limitelor
- Vizualizare prin interfețe grafice (HMI)

Structura tipică:

Senzori → PLC/RTU → SCADA (server + HMI) → Actuatori

Rol în seră:

- Asigură **stabilitatea climatică**
- Reduce consumul energetic
- Permite operare centralizată și la distanță
- Bază pentru integrarea **PID, MPC și AI**

Limitări:

- SCADA **nu optimizează singur** procesul biologic
- Necesită regulatori (PID) sau/și nivel superior (MPC/AI) pentru control predictive

Concluzii

În sere moderne, SCADA este **coloana vertebrală**, iar inteligența vine din straturile de control superior.

4. Regulatorul PID

1. Introducere

Într-un sistem de control, scopul regulatorului este de a aduce mărimea controlată **cât mai rapid și stabil** la valoarea dorită (set-point). Regulatorul PID folosește **eroarea**:

$$e(t) = r(t) - y(t)$$

unde

$r(t)$ = set-point,

$y(t)$ = valoarea măsurată.

2. Formula matematică generală

2.1 Forma continuă clasică

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

unde

$u(t)$ = semnalul de ieșire al regulatorului,

K_p = coeficientul proporțional,

K_i = coeficientul integral,

K_d = coeficientul derivativ.

2.3 Forma discretă (pentru control digital)

$$u[k] = K_p e[k] + K_i \sum_{i=0}^k e[i] \Delta t + K_d (e[k] - e[k-1]) \Delta t$$
$$u[k] = K_p e[k] + K_i \sum_{i=0}^k e[i] \Delta t + K_d \frac{e[k] - e[k-1]}{\Delta t}$$

Această formă este utilizată în PLC-uri, SCADA și microcontrolere.

3. Interpretarea fizică a termenilor

3.1 Termenul Proporțional (P)

- reacționează **imediat la eroare**
- crește rapid răspunsul
- dar poate produce **depășire (overshoot)** și oscilații
- eroarea permanentă poate rămâne $\neq 0$

$$u_P(t) = K_p e(t)$$

3.2 Termenul Integral (I)

- acumulează eroarea în timp
- **elimină eroarea staționară**
- dar poate **încetini răspunsul** și introduce oscilații

$$u_I(t) = K_I \int e(t) dt \quad u_D(t) = K_D \frac{de(t)}{dt} \quad u(t) = K_P e(t) + K_I \int e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt}$$

3.3 Termenul Derivativ (D)

- reacționează la **viteza de schimbare a erorii**
- **anticipează viitoarea evoluție**
- reduce depășirea și stabilizează sistemul
- sensibil la zgomotul de măsurare

$$u_D(t) = K_D \frac{de(t)}{dt} \quad u(t) = K_P e(t) + K_I \int e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt}$$

4. Cum schimbă coeficienții forma curbei de răspuns

Coeficient	Efect principal	Posibile dezavantaje
K_P ↑	răspuns rapid, amplitudine mai mare	overshoot, oscilații
K_I ↑	elimină eroarea statică	crește oscilațiile, instabilitate
K_D ↑	amortizare, stabilizare	sensibil la zgomot, întârziere

Un reglaj corect găsește **compromisul între viteză și stabilitate**.

5. Avantaje și limitări

Avantaje

- ✓ simplu și robust
- ✓ implementare ieftină
- ✓ aplicabil în foarte multe procese

Limitări

- ✗ performanță redusă la procese neliniare puternice
- ✗ dificil de reglat fără metodă sistematică
- ✗ termenul derivativ amplifică zgomotul

6. Concluzii

Regulatorul PID rămâne standardul industriei datorită **echilibrului între simplitate și eficiență**. Înțelegerea matematică a termenilor P, I și D permite optimizarea răspunsului dinamic și obținerea unui control stabil și rapid.

7. Referințe bibliografice

Åström, K. J., & Murray, R. M. (2008). *Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers*. Princeton University Press.

1. Åström, K. J., & Hägglund, T. (1995). *PID Controllers: Theory, Design, and Tuning*. Instrument Society of America.
2. Ogata, K. (2010). *Modern Control Engineering (5th ed.)*. Prentice Hall.
3. Åström, K. J., & Hägglund, T. (2006). "Advanced PID control." ISA.
4. Rivera, D. E., et al. (1986). "Internal Model Control: PID Controller Design." *AIChE Journal*.

5. Model Predictive Control- MPC (Control Predictiv pe Bază de Model)

Este un tip de control automat folosit în sere pentru a menține temperatura, umiditatea, CO₂ și lumina la valori potrivite pentru plante.

Ideea de bază

Spre deosebire de un **PID clasic**, care reacționează doar la ce se întâmplă acum, **MPC „se uită în viitor”**.

El folosește un **model matematic al serei** ca să prezică:

- cum se va schimba temperatura în următoarele minute/ore
- cum influențează încălzirea, ventilația, ceața, umbrirea etc.
- ce face vremea de afară

Apoi **alege dinainte cele mai bune acțiuni**.

Cum funcționează MPC

1. **Măsoară starea curentă**
 - temperatura → în seră
 - umiditatea
 - CO₂
 - lumina
 - vremea exterioară
2. **Folosește un model al serei**
(un fel de ecuație simplificată „dacă pornesc ventilația → scade temperatura”)
3. **Prezice viitorul pe o perioadă scurtă**
de exemplu 30–120 minute
4. **Calculează combinația optimă de acțiuni**
astfel încât:
 - plantele să rămână în zona ideală
 - energia să fie minimă
 - să respecte limite (ex: nu deschide total la furtună)
5. **Aplică doar primul pas din plan**
6. **Repetă totul după câteva secunde/minute**
(acesta se numește „recedere a orizontului predictiv”)

Ce nu e MPC

- nu este inteligență artificială (deși pot lucra împreună)
- nu „ghicește” fără model
- nu e magie — are nevoie de date bune și senzori buni

Exemple concrete

- Dacă afară urmează să crească temperatura, MPC **nu așteaptă să se încălzească sera**, ci:
 - începe devreme ventilația/umbrirea ca să prevină supraîncălzirea
- Dacă noaptea energia e scumpă, MPC **optimizează încălzirea** ca plantele să nu sufere, dar costul să fie minim.

Ce folosește MPC ca intrări

- temperatură aer/sol
- umiditate & vapour pressure deficit (VPD)
- lumină PAR
- CO₂
- prognoză meteo
- parametrii plantei (dacă există model biologic)

Dezavantaje

- e mai dificil de configurat
- are nevoie de model calibrat
- necesită mai multă procesare decât PID

Concluzii

MPC e util în sere:

- ✓ stabilește mai bine clima decât PID simplu
- ✓ economisește energie
- ✓ gestionează conflictele (ex: încălzire vs ventilație)
- ✓ poate folosi prognoza meteo
- ✓ reduce oscilațiile de temperatură și umiditate

6. Inteligența Artificială în sere

1. Introducere

Creșterea cererii globale pentru produse horticole de calitate ridicată concomitent cu presiunea asupra resurselor energetice și hidrice impune **optimizarea proceselor din sere**. Tradițional, microclimatul a fost controlat prin **strategii PID** sau **control predictiv bazat pe model (MPC)**. În ultimul deceniu, **IA** a devenit un instrument central datorită capacității sale de a **învăța tipare complexe din date și de a realiza predicții robuste** în medii neliniare și variabile.

2. Arhitectura generală a unui sistem SCADA-IA pentru sere

Un sistem modern de seră include următoarele componente:

2.1 Senzori și achiziție de date

- temperatură aer și substrat
- umiditate relativă și deficit de vapori (VPD)
- radiație fotosintetic activă (PAR)

- concentrație CO₂
- umiditate substrat / tensiune matrică
- debit și EC/pH soluție nutritivă
- imagini RGB / multispectrale

2.2 Platformă SCADA

Colectează, stochează și vizualizează datele în timp real, permițând alarmare și jurnalizare.

2.3 Strat IA

Include:

- modele de **predicție a microclimatului și evapotranspirației**
- detectarea anomaliilor
- clasificarea stărilor plantelor
- optimizare multi-obiectiv

Algoritmii utilizați frecvent sunt rețele neuronale feed-forward, LSTM, random forest, boosting gradient, modele bayesiene și **digital twins**.

2.4 Controlere și actuatori

- încălzire, răcire, ventilare
- ecrane termice și de umbrire
- ceață/nebulizare
- injecție CO₂
- irigare și fertirigare

În practică, **IA lucrează împreună cu PID/MPC**, nu le înlocuiește complet.

3. Aplicațiile principale ale IA în sere

3.1 Predicția și optimizarea microclimatului

IA poate anticipa:

- evoluția temperaturii și umidității
- VPD și riscul de condens
- necesarul energetic
- răspunsul plantei la radiație și CO₂

Astfel se minimizează **oscilațiile microclimatului** și consumul energetic.

3.2 Irigare și fertirigare inteligentă

Modelele IA folosesc:

- transpirația estimată
- faza de creștere
- proprietățile substratului

pentru a decide **momentul și volumul optim de irigare**, reducând pierderile de apă și nutrienți și menținând oxigenarea rădăcinilor.

3.3 Detectarea timpurie a bolilor și stresului

Prin **viziune computerizată** și clasificatori IA se pot identifica:

- simptome incipiente ale bolilor foliare
- atacuri de dăunători
- cloroză, deficit nutritiv
- stres hidric și termic

Aceasta permite **intervenții preventive** și reducerea pesticidelor.

3.4 Estimarea producției

IA permite:

- numărarea automată a fructelor
- estimarea greutatei și calibrului
- predicția calendarului de recoltare

utile pentru **planificarea logistică și economică**.

4. Modele și metode utilizate

Cele mai întâlnite categorii:

- **modele de regresie statistică** (de ex. evapotranspirație)
- **rețele neuronale artificiale**
- **modele hibride (MPC + IA)**
- **învățare prin întărire** pentru politici de control
- **modele fiziologice asistate de IA** (ex. estimarea conducanței stomatale)

Combinția modelelor fizice cu IA (**digital twins**) crește robustețea și interpretabilitatea.

5. Comparatie între IA, PID și MPC

Metodă	Avantaje	Limitări
PID	Simple, robust, ieftin	Nu prevede viitorul, sensibil la neliniarități
MPC	Optimizează sub constrângeri	Necesită model precis, calcul mai mare
IA	Învăță tipare complexe, adaptiv	Necesită date și validare atentă

Integrarea este soluția optimă: SCADA + PID/MPC + IA.

6. Rezultate raportate în literatură

Studii efectuate pe tomate, castraveți și flori au raportat:

- **creșteri de 10–25% ale producției**
- **reduceri de 15–40% ale consumului energetic**
- **economii de apă de 20–50%**

Valorile depind de cultură, infrastructură și calitatea datelor.

7. Limitări și provocări

- dependență de **calibrarea senzorilor**
- necesar de **date mari și curate**
- **transparența algoritmilor (XAI)**
- riscul de **supra-antrenare**
- integrarea cu operatorii umani și securitatea cibernetică

8. Direcții viitoare

- **IA explicabilă** pentru suport decizional
- **control bazat pe fiziologia plantei**
- **integrarea prognozei meteo oficiale**
- **sisteme autonome de recoltare**
- **gemeni digitali ai sereilor comerciale**
- **optimizare multi-obiectiv (randament–calitate–energie–apă)**

Concluzii

Inteligența Artificială reprezintă un **salt tehnologic major** pentru horticultura protejată. Prin combinarea IA cu sistemele SCADA și strategiile clasice de control, serele devin **mai eficiente, predictibile și sustenabile**. Dezvoltarea viitoare va depinde de integrarea modelelor fiziologice, a datelor multimodale și de creșterea transparenței algoritmilor.

Referințe bibliografice

1. van Straten, G., van Willigenburg, L., van Henten, E., & van Ooteghem, R. **Optimal Control of Greenhouse Cultivation**. CRC Press.
2. van Henten, E. J., et al. *Optimal greenhouse climate control using model predictive control*. Computers and Electronics in Agriculture.
3. Liakos, K. G., et al. *Machine Learning in Agriculture: A Review*. Sensors.
4. Shamshiri, R. R., et al. *Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban agriculture*. International Journal of Agricultural and Biological Engineering.
5. Hemming, S., et al. *Digital twins in horticulture: Concepts and applications*. Biosystems Engineering.
6. Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. *Deep learning in agriculture: A survey*. Computers and Electronics in Agriculture.

7. SCADA–PID–MPC–IA

Arhitectura aceasta este considerată **mai eficientă pentru procese complexe** (de ex. sere, energie, industrie) deoarece combină punctele forte ale fiecărui nivel — de la control stabil de bază, până la optimizare predictivă și învățare din date.

Mai jos este logica pe straturi:

1. SCADA — „monitorizare + coordonare”

Rolul SCADA:

- colectează date în timp real
- vizualizează procesele
- permite intervenție umană
- arhivează istoric

De ce e util?

Fără SCADA nu ai vizibilitate, nu poți analiza și nu poți valida performanța.

2. PID — „stabilitate de bază”

PID controlează variabile simple (temperatură, presiune, debit).

☞ Avantaje:

- răspunde rapid
- e robust și simplu
- menține stabilitatea sistemului

Este esențial ca fundație.

Chiar dacă IA sau MPC eșuează, PID poate menține procesul sigur.

3. MPC — „optimizare predictivă”

Model Predictive Control:

- folosește un model al procesului
- anticipează viitorul pe un orizont de timp
- optimizează controlul ținând cont de **restricții**
(ex. limite de temperatură, costuri, consum energetic)

Ce aduce în plus față de PID

- controlează simultan mai multe variabile
- reduce oscilațiile
- minimizează consumul
- gestionează mai bine întârzierile din sistem

4. IA — „învățare și decizie inteligentă”

Inteligența Artificială:

- învață relații complexe între variabile
- face predicții (ex. climă, cerere, răspunsul plantelor)
- ajustează parametri MPC / PID
- detectează anomalii
- optimizează strategia globală

IA NU înlocuiește controlul, ci îl îmbunătățește.

De ce combinația este mai eficientă:

✓ Separare pe timpi diferiți

Strat	Orizont de timp
PID	secunde
MPC	minute–ore
IA	ore–zile–sezoane
SCADA	monitorizare continuă

Fiecare strat face ce știe mai bine.

✓ Redundanță și siguranță

Dacă IA sau MPC cad, **PID menține procesul stabil.**

Asta e extrem de important în aplicații critice.

✓ Optimizare reală, nu doar control

- MPC minimizează consumul / costurile
- IA găsește setări mai bune în timp
- SCADA permite audit, analiză, trasabilitate

✓ Control al proceselor complexe și cu restricții

PID singur nu gestionează bine:

- interacțiuni multiple
- întârzieri mari
- limite fizice
- obiective economice

MPC și IA rezolvă asta.

✓ Scalabilitate

Poți începe cu PID,
adăuga MPC pentru optimizare,
iar apoi IA pentru performanță maximă.

Exemplu simplu dintr-o seră

Ținta: 22°C ziua, umiditate 70%, minimizarea energiei.

- **PID** stabilizează temperatura și umiditatea.
- **MPC:**
 - știe că peste 30 min iese soarele
 - reduce anticipat încălzirea → economie de energie
- **IA:**
 - învață cum răspund plantele
 - ajustează țintele climatice după faza de creștere
- **SCADA:**
 - arată totul operatorului
 - salvează istoricul
 - semnalează alarme

Rezultat: **mai puțin consum, stabilitate mai bună, randament mai mare.**

Când NU este mai eficient?

Dacă:

- procesul e foarte simplu
- schimbările sunt lente și previzibile
- nu există resurse pentru mentenanță

atunci **PID + SCADA pot fi suficiente.**

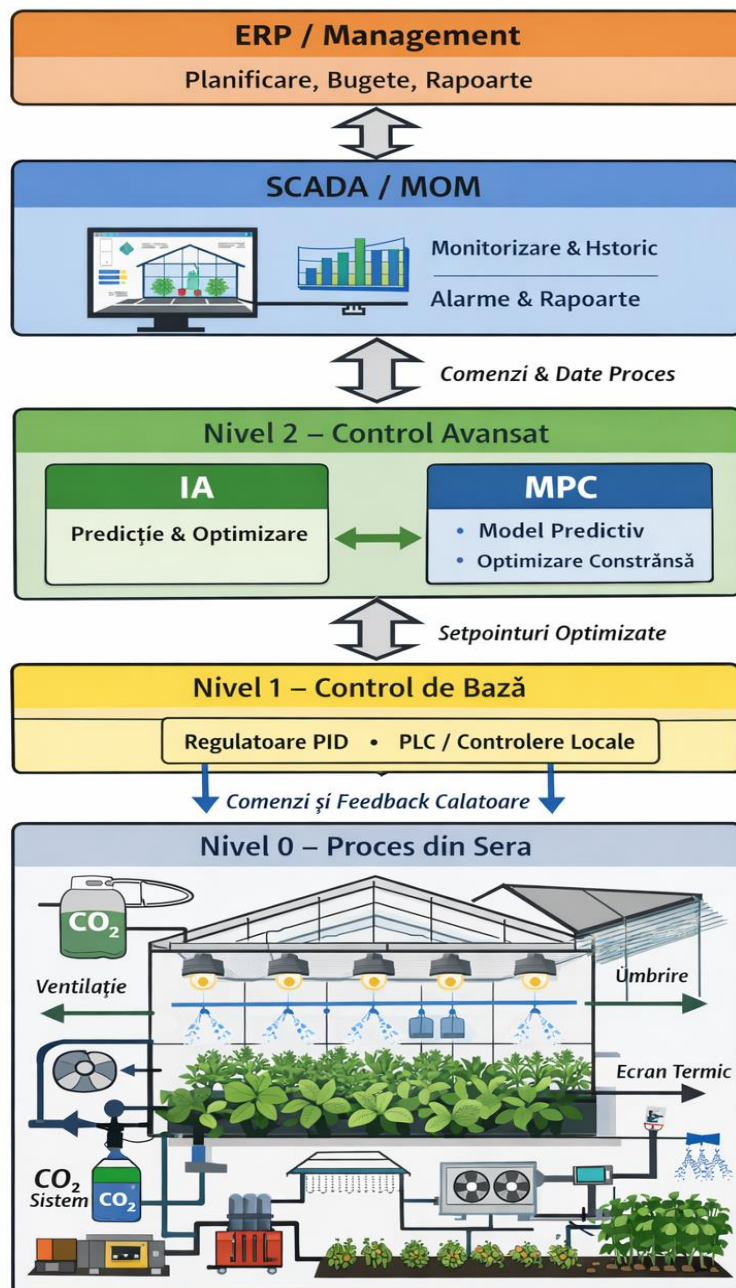
Concluzie

Arhitectura SCADA–PID–MPC–IA este mai eficientă deoarece:

IA învață → MPC anticipează → PID stabilizează → SCADA monitorizează.

Fiecare strat acoperă limitele celuiilalt.

CONTROL INTEGRAT PENTRU MEDIU AUTOMATIZAT ÎN SERĂ (ISA-95):



8. CERCETĂRI ȘI REALIZĂRI PRACTICE

Scopul principal a Proiectului este realizarea unui sistem de control automatizat în seră cu caracteristici:

- Universalitate (modularitate și scalabilitate)
- Fiabilitate
- Automatizare
- Tehnologii avansate
- Eficiență

În baza realizării sistemului a fost luată arhitectura sistemelor industriale de control (ISA 95), având în vedere experiența bogată în acest domeniu: SCADA EL., SCADA RADIOCOM [www.syscom.md].

1. Arhitectura. Obiecte

În cadrul proiectului au fost realizate două arhitecturi a sistemelor de control în seră:

- 1) Sistem de control pentru seră de irigare prin picurare (S_{int}),
- 2) Sistem complex de control pentru seră pe teren (S_{ext})-Anexa1.

Primul sistem a fost amplasat în oficiu (fig.1), al doilea sistem va fi realizat pe o seră (fig.2), pe baza contractului de colaborare (Anexa 2)

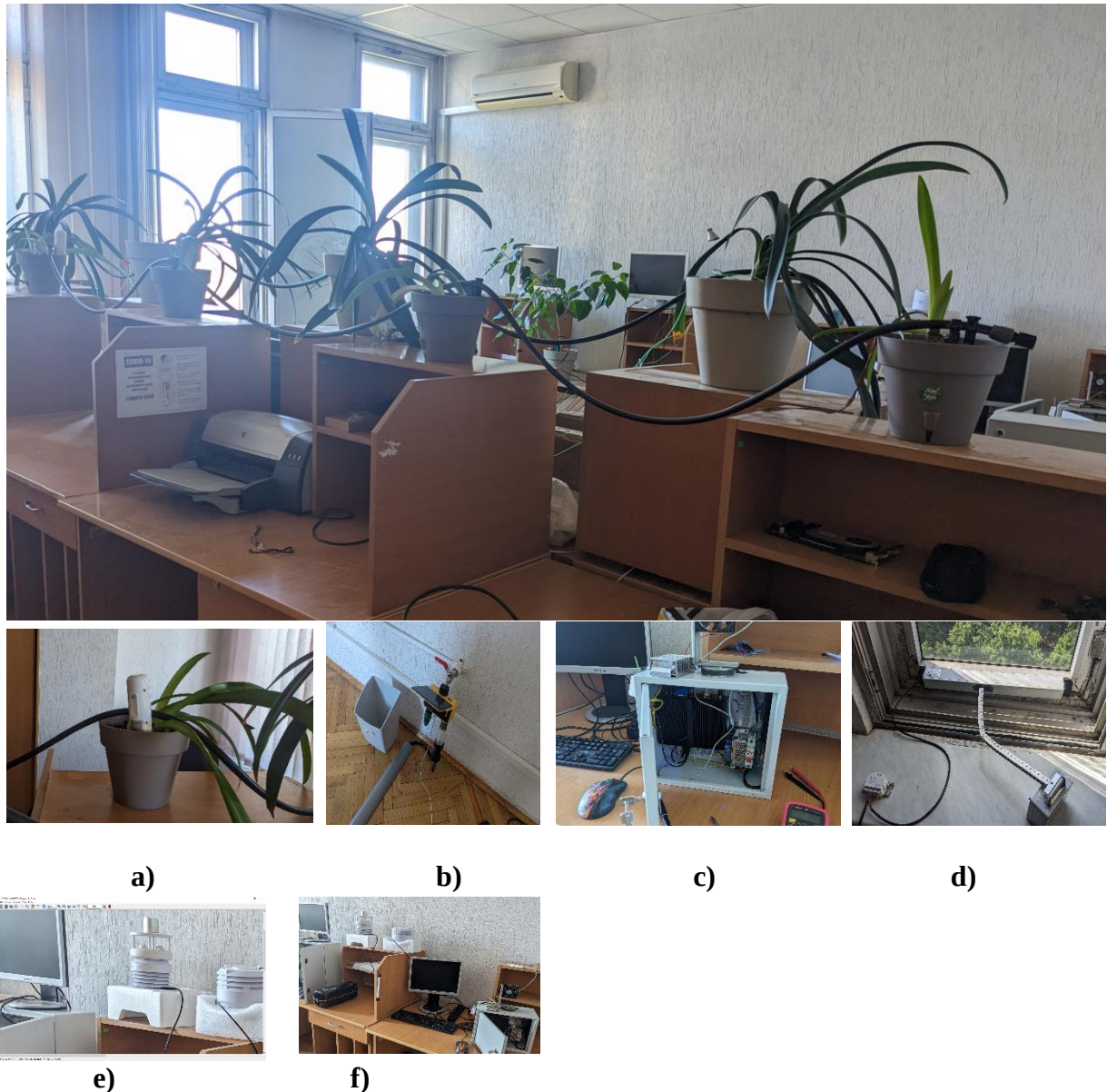


Fig.1

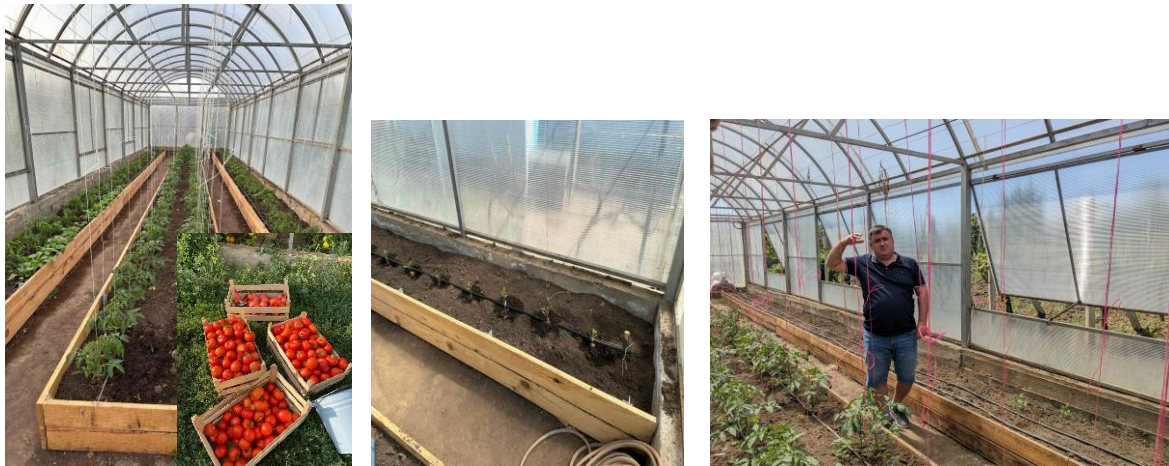


Fig.2

2. Arhitectura. Aspecte generale de realizare.

2.1 Home Assistant

„**Home Assistant**” este o platformă **open-source** pentru automatizarea smart-locuinței. Pe scurt:

- **Controlează și unește** multe dispozitive smart (lumini, senzori, termostate etc.) într-o singură aplicație.
- **Rulează local** pe un calculator mic (ex. Raspberry Pi) sau pe PC, deci **datele rămân la tine**.
- Permite **automatizări** (de ex.: „dacă se face noapte → aprinde luminile”).
- Este **gratuit** și foarte flexibil, dar poate necesita puțină configurare.

Home Assistant (HA) se poate folosi foarte bine pentru automatizări într-o seră.

El poate deveni „creierul” care citește senzorii și comandă echipamentele

Ce poți face cu Home Assistant într-o seră

- **Colectare date** — temperatură, umiditate aer/sol, lumină, CO₂, ploaie, vânt
- **Automatizare** — reguli de tip „dacă-atunci”, de ex.
 - dacă **temperatura > 28°C** → **deschide ventilarea**
 - dacă **umiditatea solului scade** → **pornește irigarea**
 - dacă **e noapte** → **î închide ecranele termice**
- **Grafice & istorice**
- **Alerte** — notificări pe telefon
- **Integrare prognoză meteo** pentru acțiuni preventive
 - **Integrare AI / MPC** (prin add-on-uri și servicii externe)
 - **Dispozitive care merg bine cu HA**
- Senzori (Zigbee, Wi-Fi, BLE, LoRa, Modbus etc.)
- Controlere de supape/ relee pentru echipamentele de irigație și ventilație
- Sisteme comerciale care au integrare (ex. Sonoff, Shelly, Tuya etc.)

➤ Avantaje față de soluții clasice

- rulează **local** (datele rămân la tine)
- **flexibil** și extensibil
- cost redus
- seamănă conceptual cu un **SCADA**: achiziție date → logică → comenzi

➤ Limite

- necesită ceva configurare
- nu este, din start, un sistem industrial (redundanță, certificări etc.)
- pentru control foarte „fin” (ex. MPC avansat) e nevoie de integrare suplimentară.

Datorită avantajelor și universalității platforma **open-source Home Assistant** a fost aleasă ca “motor executiv” a arhitecturii Sistemului.

Referințe bibliografice

1. Building Smart Home Automation Solutions with Home Assistant: Configure, integrate, and manage hardware and software systems to automate your home by [Marco Carvalho](#) (Author).
https://www.amazon.com/Building-Smart-Automation-Solutions-Assistant/dp/1801815291?utm_source=chatgpt.com
2. „Your Smart Home Upgrade: Over 100 Ideas for Automation with Home Assistant” – Christoph Rothermel.
<https://chatgpt.com/c/69528192-b228-832a-a5c3-c9051d6cee9d>

2.2 Arhitectura Software

Pe fig. 2.1 este arătată arhitectura soft a fluxurilor de date a Sistemului elaborat. În partea stângă este realizat modulul Home Assistant și controlerul legat nemijlocit cu senzorii și actuatorii din seră.

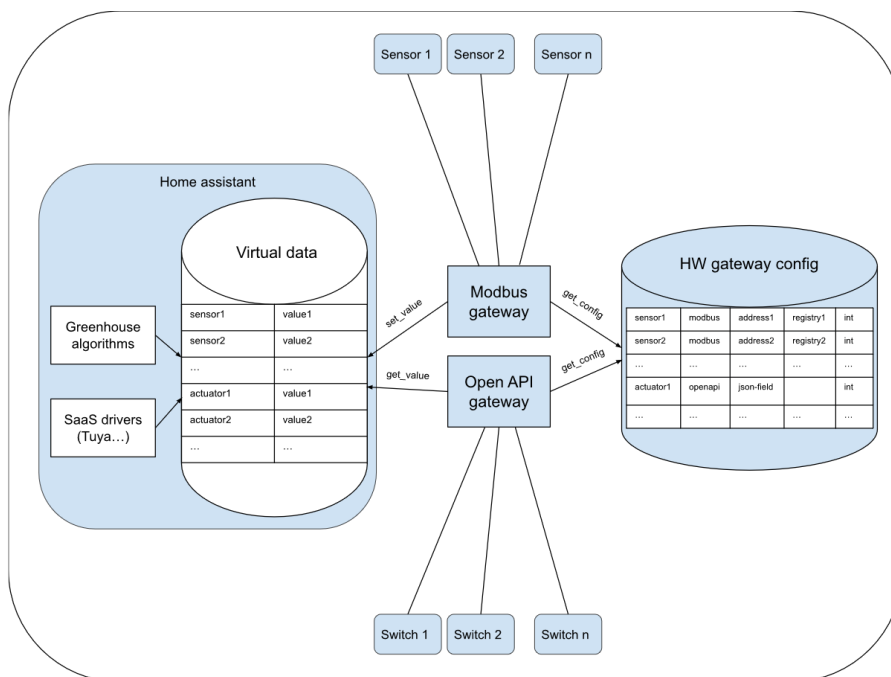


Fig.2.1

Pe fig. 2.2 este prezentată arhitectura cu indicația interfețelor și rețelelor de comunicație. Majoritatea actuatorilor vor fi realizați prin WiFi Switch-uri universale.

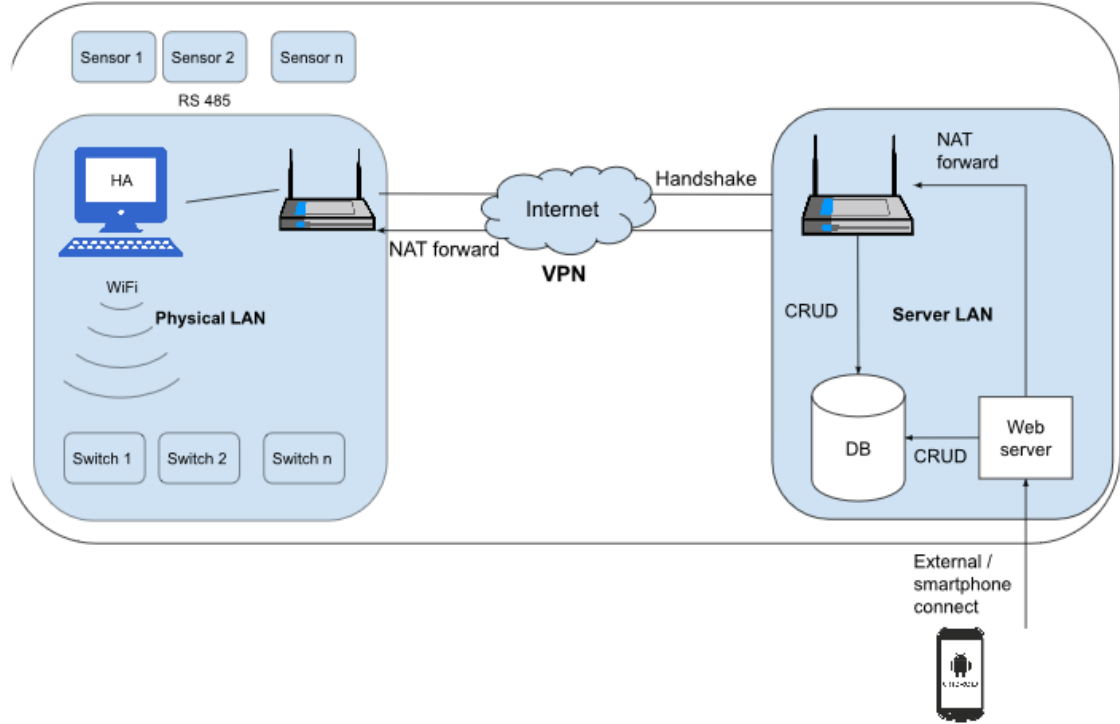


Fig.2.2

3. Arhitectura realizată (prototip) S_int: Irigare prin picurare (Fig.1)

Parametri	Realizare fizică	Control
<u>Actuatoare</u> 1. Aer: a) Temperatură b) Umiditate c) Iluminat d) CO2 e) Ventilație 2. Sol: a) Temperatură b) Umiditate	• Condiționer, Convectoare • Lămpi • Fereastră • Fereastră • Încălzire cu fir, • Irigare prin picurare	Switch Switch, Switch, Switch, Switch, Switch Intelligent watering system
<u>Senzori</u> 1. Aer: T°, H%, Ilux, CO2ppm, Wm/sec, N° 2. Sol: a) Temperatură b) Umiditate	• Senzor complex (meteostație ultrasonoră) • Senzor complex T°+ H%	RS-485 Wi-Fi

<u>Control General</u> 1. Home Assistant 2. PID (Proportional/Integral/Derivative) 3. AI (Artificial Intelligence)- control	Minicomputer Industrial, WEB-Server SOFTCOM, Soft specializat	Internet/Intranet Intranet

Pe Fig.3.1 e arătată arhitectura Hard a Sistemului S_int.

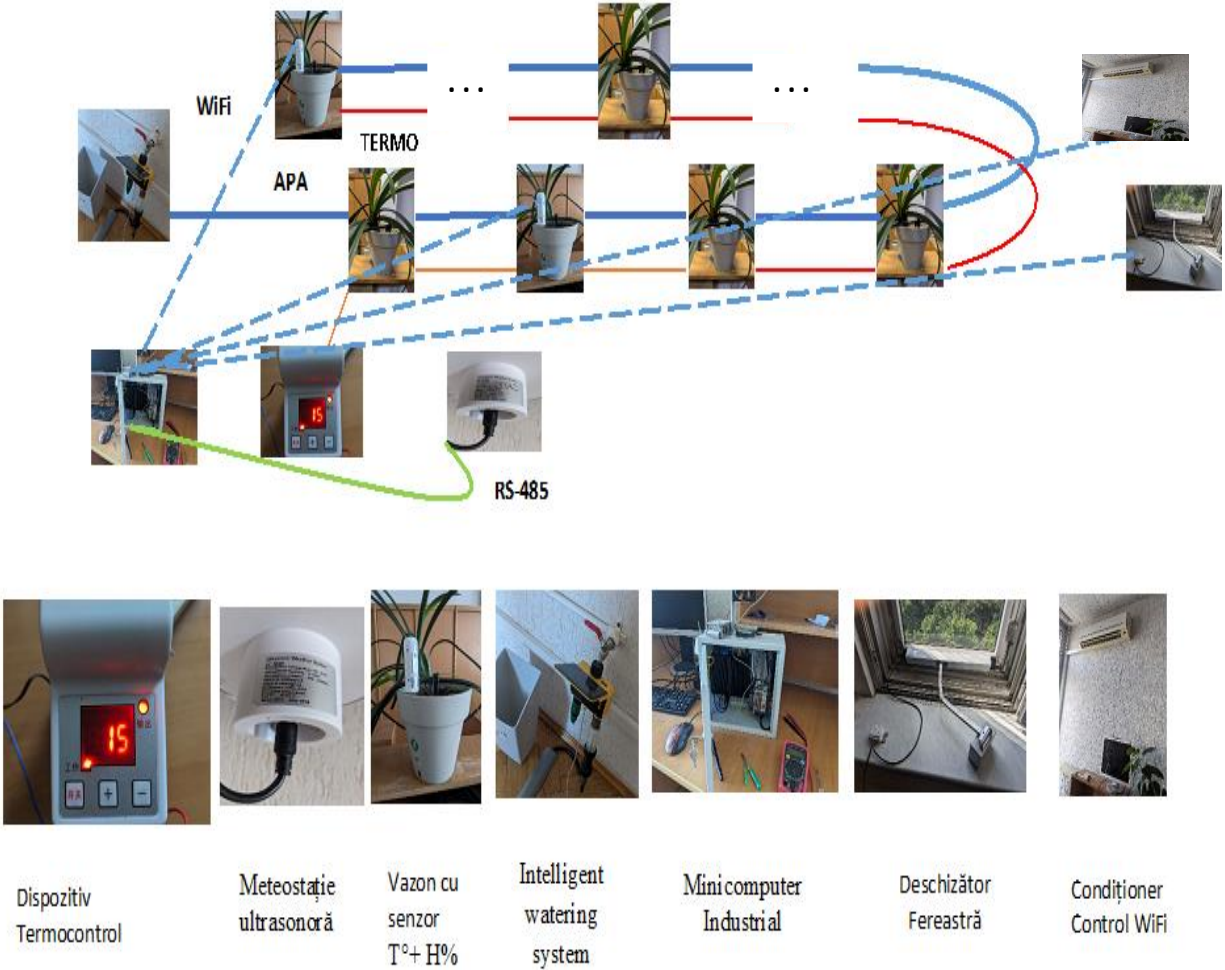


Fig.3.1

4. Arhitectura Sistemului Serei pe teren S_ext

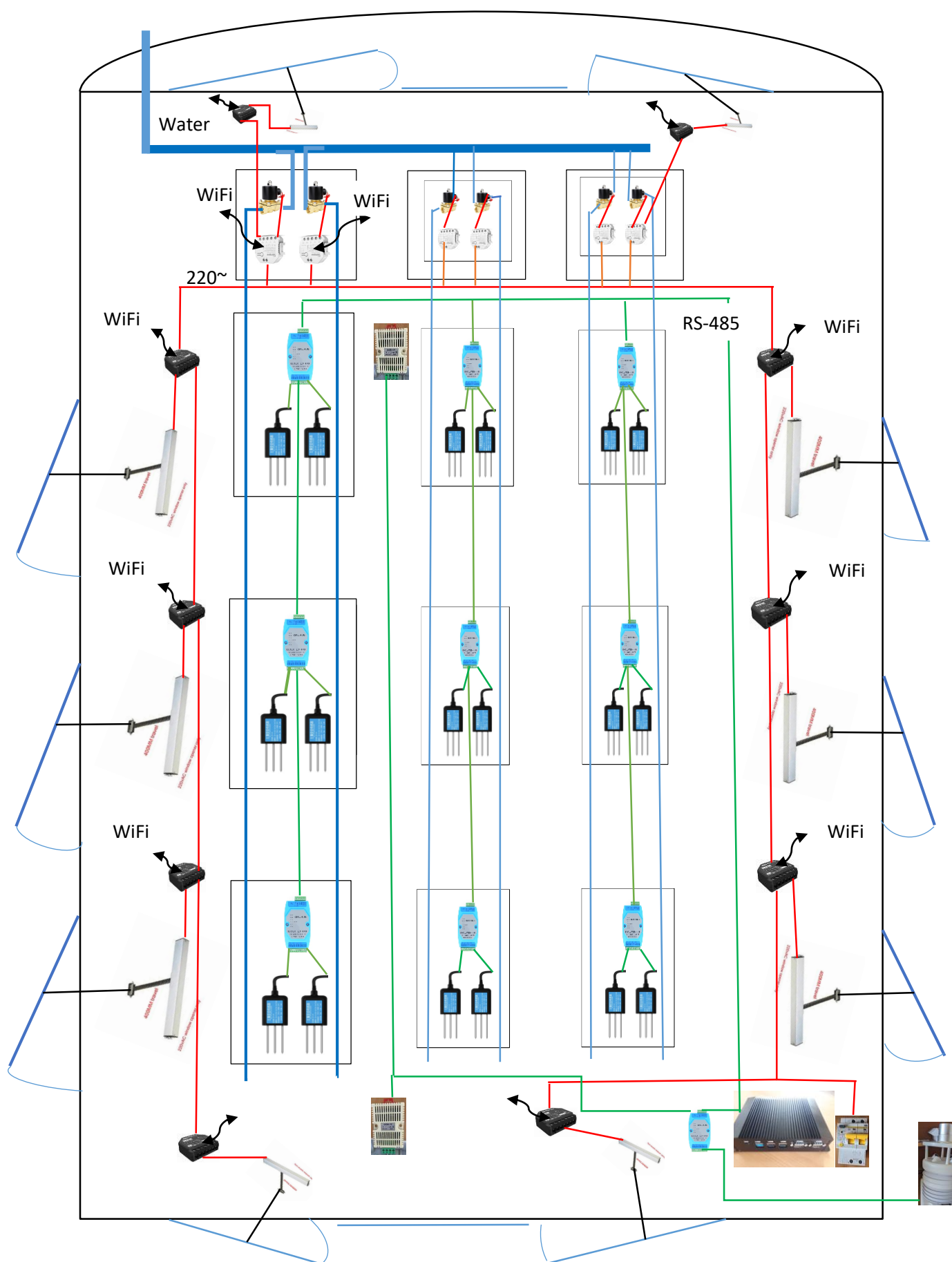




Fig.4.1

5. Încercări și testări

- Toate componentele procurate au fost supuse testărilor inițiale conform ISA-95.
- Softul elaborat a fost testat funcțional împreună cu componentele corespunzătoare în componența Sistemului.
- La bază modelării au fost luate modelele S_int și S_ext.

În rezultatul testărilor inițiale s-a apreciat:

- Toate componentele și interfețele corespund cerințelor sistemelor industriale în ce privește fiabilitatea, exclusiv senzorului Soil Sensor Wireless Mode Zigbee (Fig.3.1). La ultimul s-au depistat următoarele neajunsuri:
 - Alimentarea (bateriei schimbătoare) cade în timp prea scurt (2 săptămîni în loc de 3 luni anunțate)
 - Periodic sau observat deconectări simultane de la sistem prin interfața WiFi.

S-a luat decizia de a înlocui senzorul susnumit cu senzor analogic funcțional cu interfața industrială RS-485 (prin fir)-Fig.4.1.

5.1 Testarea Inteligenței Artificiale

Pentru testarea IA a fost luat ca model fragmente din S_ext și S_int (Fig.4.1, Fig. 3.1, Fig.5.1).

Pe Fig. 5.1 este prezentată simularea fizică a regimului de ridicare a temperaturii în seră cu condiționerul în regim de încălzire, și de scădere a temperaturii cu deschizătorul de fereastră, cum e arătat pe Fig.5.2.

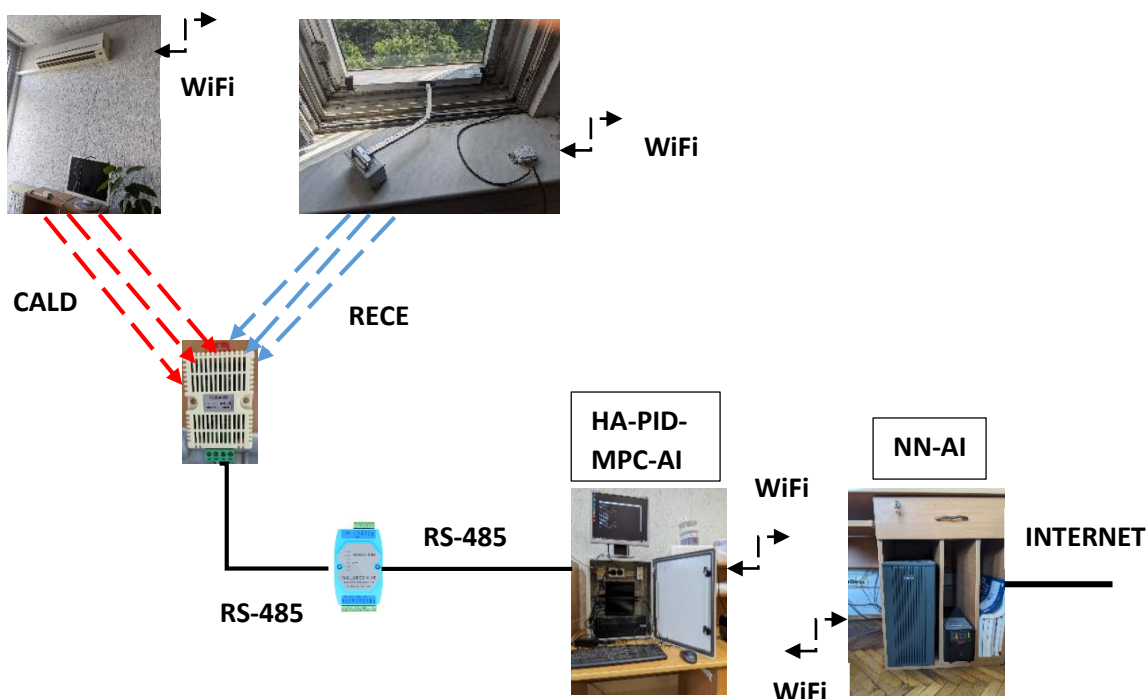


Fig.5.1

Testarea a fost efectuată pe baza rețelei neuronale ML.net. **ML.NET** este un framework de la Microsoft pentru **învățare automată (Machine Learning)** în ecosistemul **.NET**, folosit în special cu **C#**.

Fără reglare. Temperatura depășește ținta 27°

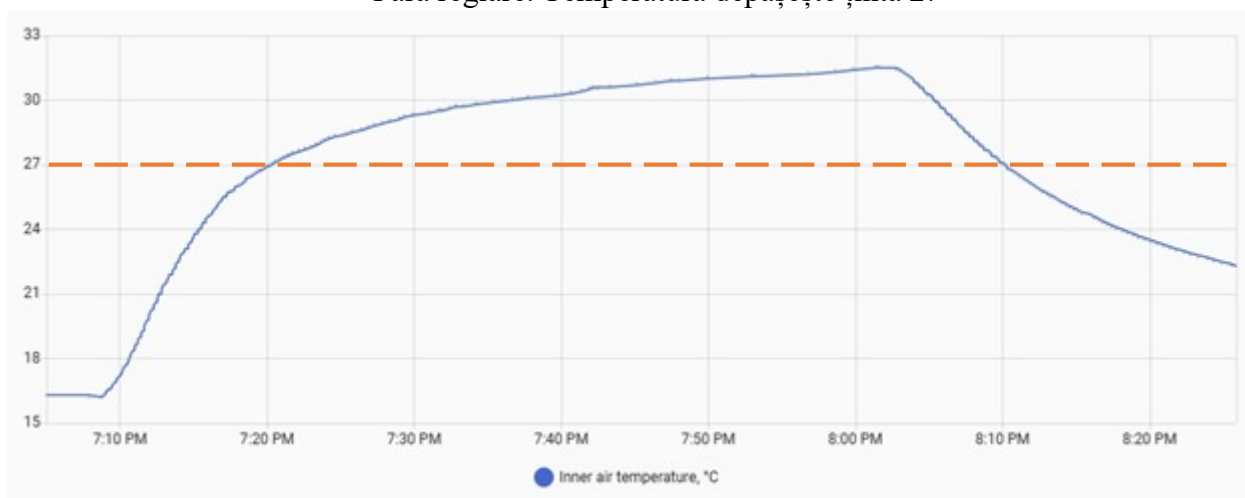


Fig.5.2

Cu reglare- prognoza NN (Neural Network). Temperatura nu depășește ținta 27°

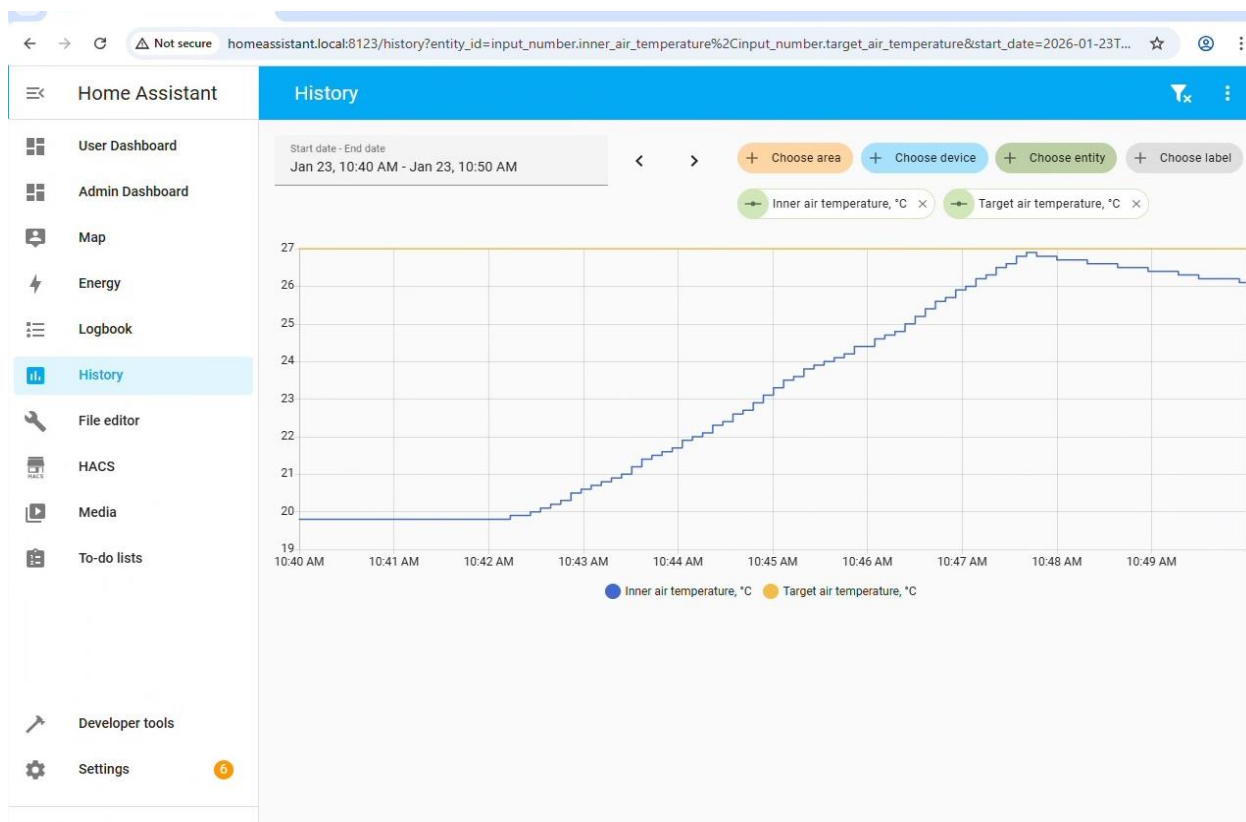


Fig.5.3

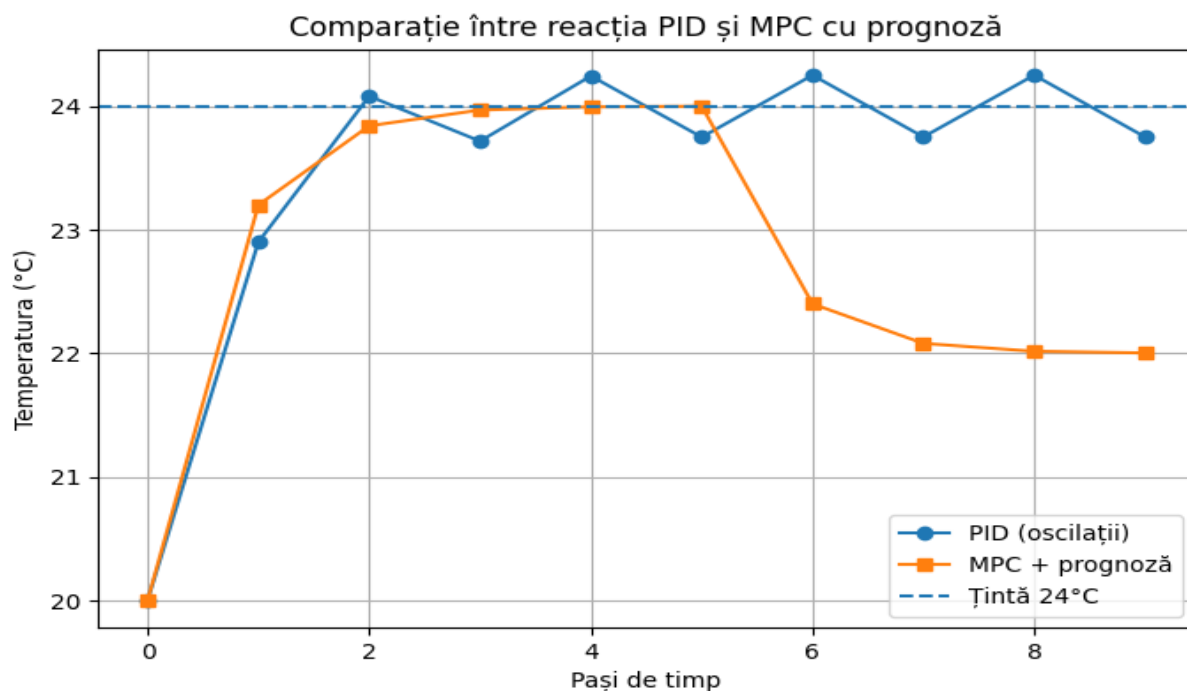


Fig. 5.4

Pe Fig. 5.4 este arătată reacția PID- oscilații care depășesc limita (24°) iar curba a doua MPC+ prognoza nu depășește 24° și nu are oscilații.

Toate graficile sunt efectuate în timp real și înregistrate cu HA (Home Asistent-Fig 5.1).

PID oscilează în jurul valorii de 24 °C (reacționează după ce apare eroarea).

MPC + prognoză se apropie controlat, ținând cont de încălzirea viitoare (de ex. soarele), cu variații mai mici.

Concluzii

Inteligența Artificială:

- învață relații complexe între variabile
- face predicții (ex. climă, cerere, răspunsul plantelor)
- ajustează parametri MPC / PID
- detectează anomalii
- optimizează strategia globală.

Concluzii generale

Dezvoltarea teoriei plantelor, din secolul XVII până în prezent, a trecut de la observații descriptive la modele cantitative și digitale, culminând cu utilizarea inteligenței artificiale.

Automatizarea serelor (din 1990 până în prezent) a evoluat progresiv ca răspuns la necesitatea creșterii productivității, stabilității climatice și eficienței energetice în horticultura protejată. Metodele de control au trecut de la abordări empirice la sisteme avansate bazate pe modele matematice și inteligență artificială.

Tendința actuală a dezvoltării sistemelor de control în sere este reprezentată de sisteme hibride care integrează SCADA, PID, MPC și AI într-o arhitectură unificată, considerată un sistem ciber-fizic orientat spre optimizarea simultană a producției, calității și eficienței energetice.

Scopul principal a Proiectului, realizarea unui Sistem de control automatizat avansat în seră, bazat pe arhitectura combinată SCADA-PID-MPC-AI, este actual.

În lucrare au fost analizate tehnologiile și componentele de arhitectură (soft și hard) a Sistemelor de control automatizat în sere.

Au fost elaborate 2 arhitecturi (S_int și S_ext).

Prototipurile Sistemelor S_int și S_ext au fost testate și încercate fizic.

O atenție deosebită a fost oferită în Proiect testării Inteligenței Artificiale.

Experiențele efectuate pe testările Inteligenței Artificiale au arătat posibilitatea prognozelor automat și evitarea exceselor în seră.

Parametrii calitativi a arhitecturilor sistemelor au fost asigurate de:

- Modularitatea și scalabilitatea- utilizarea standardelor internaționale (ISA-95, ModBus, TCP/IP), componente universale HA, senzori, actuatori,
- Fiabilitatea- standardele IEC 61508, utilizarea componentelor și tehnologiilor industriale,
- Tehnologii avansate-integrarea metodelor PID, MPC, AI, HA,
- Eficiență- Complexul de metode și tehnologii, optimizare parametri cu AI.

În perspectivă se presupune dezvoltarea proiectului în direcțiile teoretice și practice:

- Studiarea mai profundă a posibilităților teoretice și practice a AI (NN) pentru Sistemul de Control în Seră,
- Realizarea practică a Serei automatizate și acumularea și prelucrarea datelor pentru 1-2 sezoane,
- Testarea Sistemului în Seră pe teren,
- Diseminarea mai largă a Sistemului în RM și peste hotare (Anexa1, Anexa2).

Anexe

Anexa 1. Contract nr.7-1 De colaborare și cercetare științifică din 01 Iulie 2025.

CONTRACT nr. 7-01

De colaborare în cercetările științifice

01 Iulie 2025

Republica Moldova

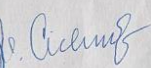
SOFTCOM S.R.L., reprezentat prin administratorul dr. Ciclicci Vladimir, care acționează în baza statutului întreprinderii, denumit în continuare Partea 1, și domnul dr. Iacob Mihail, denumit în continuare Partea 2, au încheiat actualul Contract despre următoarele:

1. Luând în considerație Contractul ANCD-SOFTCOM cu privire la Crearea Sistemului Automatizat a sereilor pe platforma SCADA-Inteligență Artificială și existența serei active, proprietatea d-lui dr. Iacob Mihail (satul Minjir, vezi foto), părțile au convenit de a colabora în cercetările științifice susnumite.
2. Partea 2 va oferi Sere din satul Minjir pentru testările și funcționalitățile necesare.
3. Partea 1 va instala echipamentul necesar pentru automatizarea Serei și va efectua lucrările de testare a Sistemului Automatizat.
4. Ambele Părți vor contribui la exploatarea experimentală a serei, analizele rezultatelor automatizării și diseminarea rezultatelor obținute.
5. Contractul actual este valabil pentru 24 luni și poate fi prelungit automat cu fiecare 12 luni, cu convenirea ambelor părți.

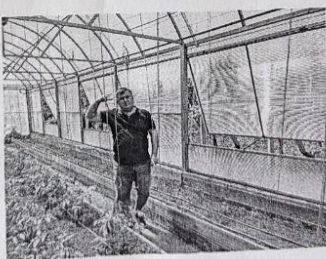
Partea 1:
SOFTCOM S.R.L.
C.F. 1003600088402
Administrator, dr. Ciclicci Vladimir

Partea 2:
Domnul dr. Iacob Mihail
ID 0961409963923









Anexa 2. Letter of Intent (LOI) of September, 2025.

Letter of Intent (LOI)

This Letter of Intent (the "LOI") is entered into as of September, 2025, by and between:

SOFTCOM S.R.L., located at [Republic Moldova of, Chisinau, Decebal 76, of.703, represented by PhD Vladimir Ciclicci, director, hereinafter referred to as "Party A", and

INVERNADEROS Y TECNOLOGIA S.A.U., located at Ctra-Grao Almazora km. 1,5, 12100, GRAO DE CASTELLON (ESPAÑA) represented by RUBÉN CASTILLO ZAFRA, CO-OWNER, hereinafter referred to as "Party B".

1. Purpose

The purpose of this LOI is to outline the preliminary understanding between Party A and Party B regarding a potential business collaboration related to Technical partnership, Joint production and Research activities in the field of manufacturing greenhouses with intelligent control systems based on SCADA- Artificial Intelligence, and supply greenhouses structures to distribute in Moldova (and possible in other countries).

2. Confidentiality

Both Parties agree to maintain the confidentiality of any proprietary or sensitive information exchanged during discussions and negotiations, in accordance with a separate Non-Disclosure Agreement (NDA), if executed.

3. Legal Status

This LOI is non-binding and does not create any legal obligations on either party, except for the obligations regarding confidentiality, governing law, and dispute resolution.

4. Duration

This LOI shall remain in effect until unless extended by mutual written agreement.

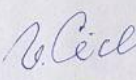
5. Governing Law

This LOI shall be governed by and construed in accordance with the laws of Spain and Moldova, Republic of.

6. Signatures

PhD Vladimir Ciclicci, director
Softcom S.R.L.
Date: 25.09.2025

RUBÉN CASTILLO ZAFRA, CO-OWNER
INVERNADEROS Y TECNOLOGIA S.A.U.
Date: 19.06.2025




inverca
INVERNADEROS Y TECNOLOGIA S.A.U.
Ctra. Grao-Almazora, km 1,5
12100 Grao de Castellón [Spain]
Tel. (+34) 964 282 232 - inverca.es
C.I.F./V.A.T.: ES A12378550

Rezumat

Proiectul “Dezvoltarea tehnologiei și crearea prototipului Sistem Automatizat a Serelor pe platforma SCADA-Inteligență Artificială” are ca scop principal realizarea unui Sistem de control automatizat în seră cu caracteristici:

- Universalitate (modularitate și scalabilitate),
- Fiabilitate,
- Automatizare,
- Tehnologii avansate,
- Eficiență ridicată.

Acest Sistem Automatizat pe platforma SCADA-PID-MPC-AI are ca scop reducerea în oarecare măsură a neajunsurilor sistemelor actuale în funcție:

- Realizarea funcțiilor și aracteristicilor susnumite fragmentar, incomplect
- Individualizarea sistemelor conform specificului serei, universalitate redusă,
- Lipsa deseori a tehnologiilor avansate, mai ales, apărute în ultimul timp, tehnologiile predictive a Inteligenței Artificiale, bazate pe Rețele Neuronale (NN-Neuronal Network).

Obiectivele esențiale a Proiectului sunt:

- Analiza analitică a metodelor și sistemelor de automatizare a serelor. Selectarea metodelor și tehnologiilor eficiente și perspective,
- Elaborarea tehnologiei și algoritmilor principali de funcționare a Sistemului,
- Elaborarea arhitecturii Sistemului,
- Elaborarea și confecționarea modelului-prototip al Sistemului,
- Testarea Sistemului,
- Testarea regimului de prognoză Inteligența Artificială.

Ca metode esențiale de cercetări s-au luat crearea prototipurilor fizice și tehnologiile informaționale avansate.

Scopul principal a fost realizat și obiectivele esențiale au fost îndeplinite:

Au fost realizate prototipurile a două sisteme de control în seră S_int și S_ext (interior și exterior). Sistemele au fost construite pe baza metodelor și tehnologiilor avansate:

SCADA-PID-MPC-AI. Realizarea a fost efectuată cu conformitatea standardelor internaționale: ISA-95, OPC UA, ModBus, IEC 60870/104 TCP/IP, IEC 61508.

Testările componentelor de sistem și prototipelor de sistem au fost efectuate.

Au fost efectuate testările AI. Experiențele efectuate pe testările Inteligenței Artificiale au arătat posibilitatea prognozelor automat și evitarea exceselor în seră.

Summary

The project “Development of technology and creation of the prototype of the Automated Greenhouse System on the SCADA-Artificial Intelligence platform” has as its main goal the creation of an automated greenhouse control system with the following characteristics:

- Universality (modularity and scalability),
- Reliability,
- Automation,
- Advanced technologies,
- High efficiency.

This Automated System on the SCADA-PID-MPC-AI platform aims to reduce to some extent the shortcomings of current systems in terms of:

- Fragmentary, incomplete realization of the aforementioned functions and characteristics
- Individualization of the system according to the specifics of the greenhouse, reduced universality,
- The frequent lack of advanced technologies, especially, recently emerged, predictive technologies of Artificial Intelligence, based on Neural Networks (NN- Neuronal Network).

The essential objectives of the Project are:

- Analytical analysis of greenhouse automation methods and systems. Selection of effective methods and technologies and prospects,
- Development of the main technology and algorithms of the System operation,
- Development of the System architecture,
- Development and manufacture of the prototype model of the System,
- System testing,
- Testing of the forecasting regime Artificial Intelligence.

The creation of physical prototypes and advanced information technologies were taken as essential research methods.

The main goal was achieved and the essential objectives were met:

Prototypes of two greenhouse control systems S_int and S_ext (interior and exterior) were created. The systems were built on the basis of advanced methods and technologies:

SCADA-PID-MPC-AI.

The implementation was carried out in compliance with international standards: ISA-95, OPC UA, ModBus, IEC 60870/104 TCP/IP, IEC 61508.

Testing of system components and system prototypes was carried out.

AI testing was carried out. Experiments conducted on Artificial Intelligence tests have shown the possibility of automatic forecasting and avoiding excesses in the greenhouse.