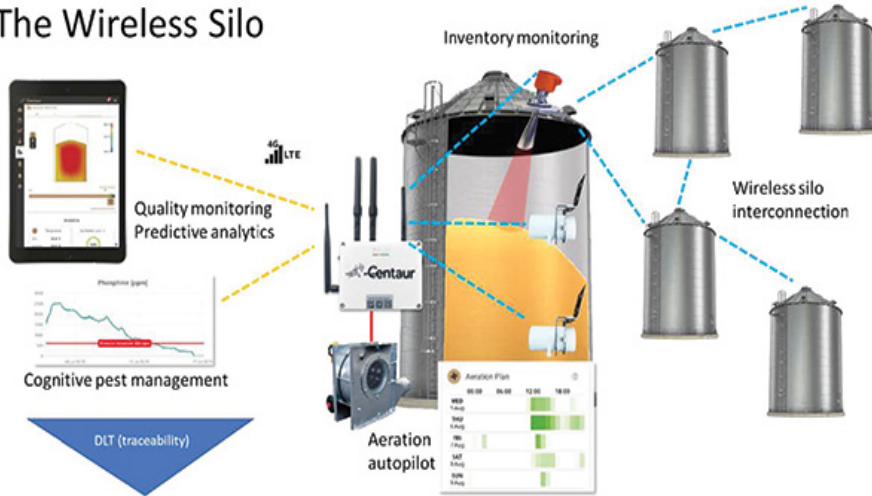


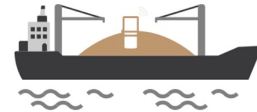
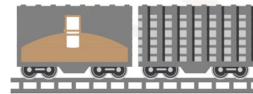


Conservarea calității cerealelor după recoltare cu noua tehnologie
predictiv-cognitivă CENTAUR

The Wireless Silo



LOGISTICS

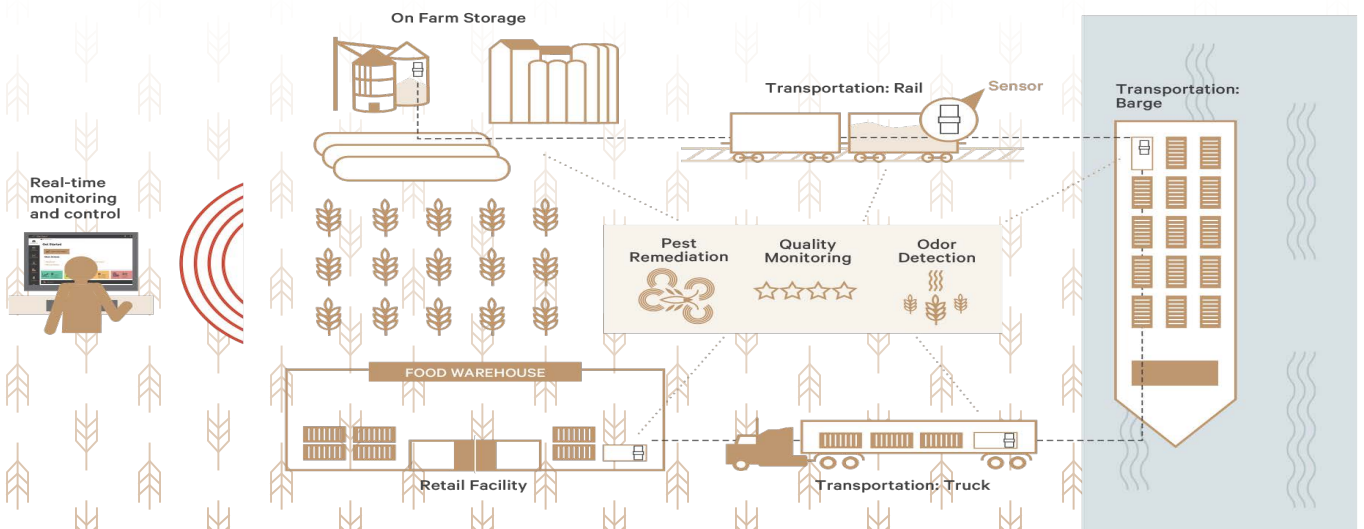


www.centaur.ag

Production Supply Chain Distribution

Piramida Hi-Tech CENTAUR

Hiperledger Sawtooth Blockchain



INTRODUCERE

Satisfacerea cererii de alimente a unei populații în creștere este o preocupare globală majoră. Reducerea pierderilor după recoltare reprezintă o soluție durabilă pentru disponibilitatea și cantitatea de alimente. Cerealele sunt principalul aliment de bază în toate țările și prezintă cele mai mari pierderi post-recoltare pe bază calorică dintre toate produsele agricole [Kumar și Kalita, 2017]. Până la 50% - 60% din boabele de cereale se pot pierde în timpul depozitării. Noile tehnologii bazate pe senzori inteligenți fără fir, datele analitice și software-ul avansat de modelare pot aborda cu succes această provocare și pot reduce pierderile post-recoltare.

DEPOZITAREA CEREALELOR

Depozitarea durabilă și eficientă a cerealelor și a altor produse agricole depinde de mulți factori interdependenți, cum ar fi:

- **fizici/ abiotici**, de ex. temperatura, umiditatea, structura de depozitare
- **Chimici** de ex. dioxid de carbon, concentrații de oxigen
- **Biologici**, de ex. tip cereale / culturi, microorganisme, insecte, acarieni, rozătoare, pășări

Gestionarea eficientă a depozitării necesită menținerea unei calități ridicate a culturilor și prevenirea pierderii. Pentru a atinge aceste obiective, trebuie să evaluați temeinic factorii de mai sus, precum și interacțiunea și impactul acestora asupra cerealelor într-o structură de depozitare.

Păstrarea cerealelor depozitate reci și uscate ajută la menținerea unei bune calități a cerealelor. Umiditatea ridicată și temperaturile înalte din cereale favorizează creșterea rapidă a insectelor, ciupercilor și micotoxinelor. Chiar și la temperaturi generale scăzute, pot apărea puncte fierbinți din cauza insectelor. Activitatea insectelor duce la creșteri dramatice ale infestării într-un timp scurt. Mai mult, pe măsură ce aerul fierbinte se ridică din aceste puncte fierbinți și umezeala se condensează pe suprafețele reci ale boabelor, creșterea mușcăiului poate accelera, determinând în cele din urmă ciupercile termofile să împingă temperaturile boabelor până la 50oC / 122oF [Navarro și Noyes, 2002].

O altă amenințare a calității cerealelor este respirația cerealelor și a microorganismelor însoțitoare, care generează dioxid de carbon, apă și căldură [Kaleta și Gornicki, 2013].

Aerarea este procedura cea mai des utilizată pentru a menține o bună calitate pentru cerealele depozitate în vrac. Principalele obiective ale aerării sunt răcirea volumului de cereale, egalizarea temperaturii pe tot volumul de cereale, prevenirea încălzirii biologice în cerealele umede și eliminarea mirosurilor și a reziduurilor de fumigant. Aerarea constă în deplasarea aerului ambiental sau refrigerat prin cereale până la crearea unui microclimat propice asigurării unei bune calități

Aerarea este un proces complex a cărui planificare implică selectarea mai multor parametri de funcționare, cum ar fi durata aerării, consumul de energie (refrigerare, ventilatoare), starea inițială și starea țintă a cerealelor (incl. Temperatura cerealelor și conținutul de umiditate) și condițiile meteorologice ambiante [Navarro și Noyes, 2002].

PROVOCAREA

Următoarele informații ar ajuta foarte mult un manager de siloz în planificarea unei strategii eficiente și rentabile de manipulare a cerealelor:

- Prognoza exactă, pe termen lung, a factorilor abiotici cruciali (temperatura, conținutul de umiditate) în întregul spațiu de depozitare;
- Estimări precise ale timpului maxim admisibil / sigur de depozitare (cât timp cerealele pot fi păstrate în depozit cu o calitate stabilă și bună a cerealelor);
- O metodă precisă de evaluare și planificare a unui proces de aerare în concordanță cu siguranța alimentelor și obiectivele comerciale, precum reducerea costurilor prin reducerea timpului de funcționare a ventilatorului prin aerare. Obținerea și analiza tuturor acestor informații este o provocare cu care se confruntă astăzi toți managerii de silozuri.

MOTIVELE EȘECULUI CU METODELE TRADIȚIONALE

Metodele tradiționale de monitorizare a stării cerealelor folosesc fie senzori care sunt conectați la structura de stocare (cabluri legate de structura silozului) fie sonde portabile cu senzori electronici introduși manual în cereale de către un operator uman. Aceste metode sunt ineficiente, deoarece factorii critici care afectează starea boabelor nu pot fi astfel capturați. Pot fi, de asemenea, periculoase în anumite situații (prinderea în masă a cerealelor, expunerea personalului la gaze periculoase). De asemenea, acestea nu sunt potrivite pentru volume mari de stocare și un număr mare de active de stocare dispersate geografic. Ca urmare, detectarea timpurie a deteriorării este imposibilă, ducând la folosirea de metode costisitoare de atenuare după ce deprecierea a fost deja extinsă.

Mai mult, utilizarea modelelor care prezic starea bobului este destul de limitată; chiar și atunci când sunt utilizate, astfel de modele sunt extrem de simplificate și au o precizie limitată deoarece ignoră vremea ambientală actuală și prognozată. În majoritatea cazurilor, managerii de silozuri și depozite se bazează pe experiență și intuiție pentru a planifica procesele de aerare, aceasta ducând fie la erori umane costisitoare, fie la o planificare prea conservatoare și implicit la costuri ridicate inutile, precum și la stresul managerului care trebuie să facă cea mai bună presupunere, și judecăți cu impact ridicat. În plus, managerii de stocare cu experiență sunt o resursă greu de atras și păstrat pe baze de normă întreagă, ceea ce duce la întârzieri costisitoare în luarea măsurilor de remediere.

NOI TENDINȚE TEHNOLOGICE ÎN STOCAREA CEREALELOR

Progresele recente în tehnologia hardware Centaur (<http://centaur.ag>) au permis dezvoltarea senzorilor fără fir care măsoară cu înaltă precizie factorii cheie ce afectează calitatea cerealelor (temperatură, umiditate relativă, O₂, CO₂ și multe altele). Acești senzori transmit în siguranță măsurătorile din interiorul stocării cerealelor către CLOUD în timp real, oferind acces la starea cerealelor de oriunde de pe glob. Senzorii pot fi deplasați, de asemenea, cu cereale în tranzit, oferind o trasabilitate sporită.

Conceptul inovativ Centaur constă în modele numerice și metode de simulare pentru uscarea / aerarea cerealelor, creând astfel un sistem total automat pentru gestionarea cerealelor stocate. Acest sistem utilizează modele matematice avansate și analize cognitive de date pentru a prezice starea cerealelor stocate săptămâni sau chiar luni în avans. Sistemul este o combinație de simulare îmbunătățită, de colectare de date în timp real de la senzori, de modele de prognoză meteo și învățare automată (Learning Machine) și de AI (Artificial Intelligence) pentru a îmbunătăți în mod continuu simularea pe baza datelor colectate și analizate. Deși complex pe plan intern, acest sistem este ușor de utilizat și îi ajută pe managerii de silozuri să urmărească semnele de deteriorare mult mai devreme, să ia măsuri de remediere mai eficiente și să facă previziuni exacte despre timpul de depozitare sigur. Managerii de stocare pot adopta acest sistem treptat prin notificarea măsurătorilor, recomandări de acțiune sau măsuri de remediere automate fără intervenția umană.

PREVEDEREA CONDIȚIEI CEREALELOR

În timpul depozitării cerealelor, mulți factori complecși pot influența starea acestora, cum ar fi transferul de căldură între structura de depozitare și mediul ambiant și variațiile ratei de respirație a cerealelor, care produce, de asemenea, căldură ce este transferată în cereale. Într-un cadru de laborator sau la scară mică, acești factori pot fi ușor de înțeles, dar în cadrul volumului mare de stocare al unui siloz expus elementelor mereu schimbătoare (radiații solare, vânt), intuiția umană își arată limitele. În aceste situații, software-ul CENTAUR reprezintă un asistent extrem de valoros.

Centaur a dezvoltat un nou sistem de calcul pentru a efectua simulări pe cereale stocate. Acest software se bazează pe dinamica computerizată a fluidelor (CFD), o metodă științifică dovedită care valorifică resursele de calcul de înaltă performanță disponibile pe cloud (de exemplu, Amazon EC2, IBM Softlayer etc.) în evaluarea mișcării aerului intra-siloz, variația conținutului de umiditate și efectele de transfer de căldură de mai sus.

Această evaluare conduce la prezicerea zonelor din interiorul silozului cu umiditate ridicată, fenomen cauzat în mod obișnuit de curenții de convecție. În plus, detectează prezența celor două gaze implicate în respirația cerealelor și anume O₂ și CO₂. Mai mult, prezice deteriorarea boabelor, timpul de depozitare sigur pe baza pierderilor de substanță uscată, riscul apariției mucegaiului și evoluția capacității de germinare.

ACURATEȚEA METODEI

O modalitate de a testa acuratețea predicției simulatorului Centaur este compararea rezultatelor sale cu datele disponibile din literatura științifică. De exemplu, Jian și colab. [2009] a monitorizat temperatura și conținutul de umiditate în interiorul unui siloz din oțel zincat umplut cu 20t / 735bu de grâu. Experimentul lor a avut loc la Winnipeg, Canada, a început în august 2003 și a durat mai mult de un an. Silozul avea 3,7m / 12,14ft în diametru și 5,7m / 18,7ft în înălțime. Grâul tare roșu de primăvară (umiditatea inițială 13,64%) a umplut 64% din siloz. Boabele de grâu erau în stare bună, deoarece nu s-au observat insecte sau mucegaiuri vizibile. Am obținut datele meteorologice relevante pentru utilizarea de către simulatorul Centaur (Figura 1) și am executat o simulare pentru întreaga perioadă de timp a experimentului original.

Figura 2 compară predicțiile furnizate de simulatorul Centaur cu datele experimentale ale lui Jian și colab. Pentru un punct de sondă situat lângă peretele de nord al silozului și la o adâncime a bobului de 1,0 m / 3,3 ft. Așa cum era de așteptat, temperatura scade până în a 6-a lună (iarnă) și începe să crească din nou odată cu apropierea verii. Abaterea este neglijabilă, cu excepția a două luni din perioada de depozitare (a 5-a și a 6-a lună); acest lucru este atribuit efectelor de îngheț, cum ar fi formarea de îngheț pe pereții silozului. În ceea ce privește nivelul de umiditate, diferența absolută medie între predicțiile și măsurătorile simulatorului este de până la 0,28% ceea ce este considerat extrem de precis.

Comparația predicțiilor simulatorului cu cea a datelor experimentale arată că temperatura și nivelul de umiditate se corelează bine, validând astfel satele simulatorului. În plus, având în vedere intervalul larg de predicție (un an) și gama de condiții ambientale, precizia simulatorului este impresionantă.

Raportându-ne la literatura științifică, putem împărtăși faptul că rezultatele confirmă acuratețea și fiabilitatea simulatorului CENTAUR.

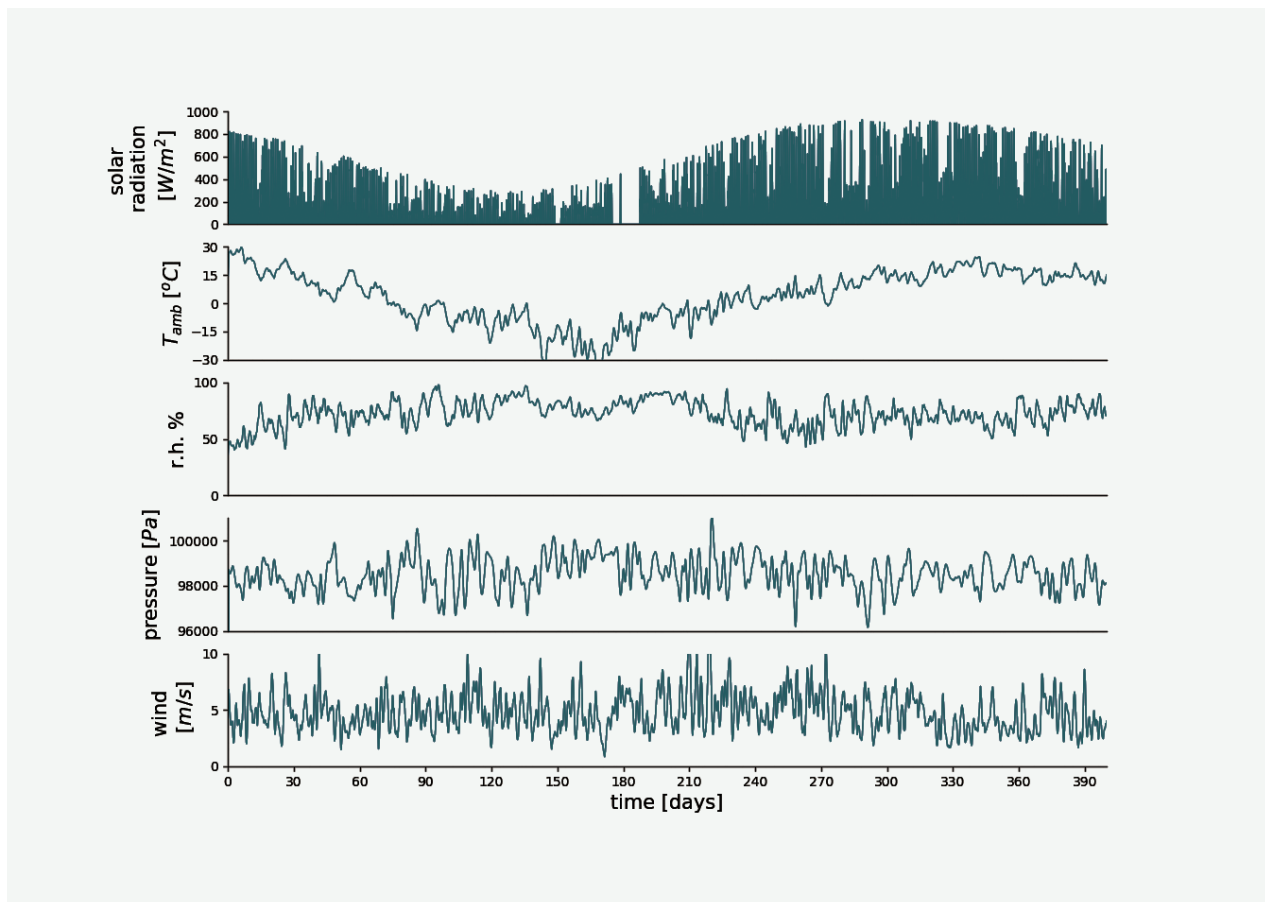


Figura 1: Condițiile meteo (radiația solară, temperatura ambientală, umiditatea relativă, presiunea atmosferică, viteza vântului) în Winnipeg, Canad [2009].

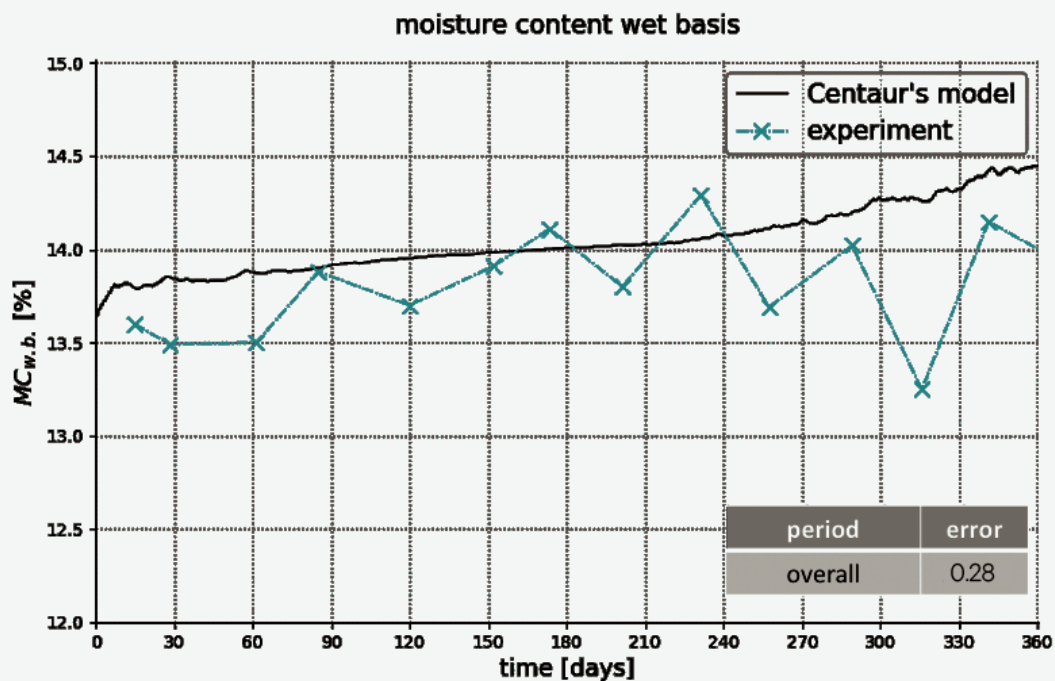
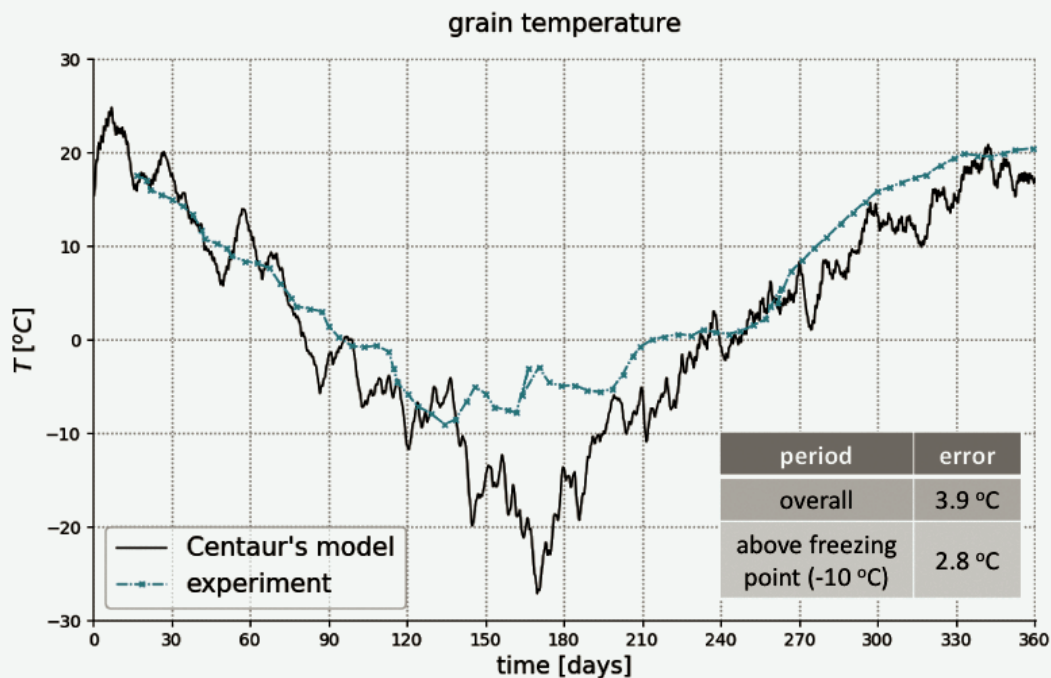


Figura 2: Comparația temperaturii bobului (sus) și a conținutului de umiditate (jos) din predicțiile simulatorului Centaur și datele reale colectate. Simulatorul prezis cu o înaltă precizie conținutul de umiditate (eroarea absolută medie 0,28), precum și temperatura (eroarea absolută medie 2,8°C / 5°F). Unele abateri ale temperaturii cerealelor între a 5-a și a 6-a lună a perioadei de depozitare se datorează efectelor vremii reci, cum ar fi formarea de îngheț pe pereții silozului.

EXEMPLE DE APLICARE

Predicție bazată pe climă

Dincolo de exemplele simple utilizate pentru validare, simulatorul Centaur poate fi aplicat la o gamă largă de scenarii comune stocării cerealelor, dintre care unele pot fi deosebit de provocatoare din punct de vedere tehnic și cu un impact comercial ridicat.

Luați în considerare cazul unui siloz cilindric de cereale din oțel în Kansas, parțial umplut cu grâu, pe o perioadă de 6 luni, din vară până în iarnă (Figura 3 prezintă silozul și Figura 4 prezintă condițiile meteorologice). Simulatorul Centaur a prezis temperatura și nivelul de umiditate al întregii cantități din siloz (Figurile 5-7 prezintă aceste predicții pe secțiunile transversale ale structurii). După cum se arată în figura 7, după 5 luni de depozitare, temperatura bobului și nivelul de umiditate nu vor fi uniforme, iar valorile lor vor varia atât pe verticală, cât și pe orizontală. Aceste informații sunt cruciale pentru administratorul silozului, în special în cazul tipic în care silozul nu are senzori cu acoperire suficientă pentru a detecta aceste condiții de dezvoltare în corpul întreg al silozului.

Un videoclip cu întreaga simulare, inclusiv mișcarea aerului intergranular datorită curenților de convecție, este disponibil la <https://youtu.be/iUOIuS6yUH0>

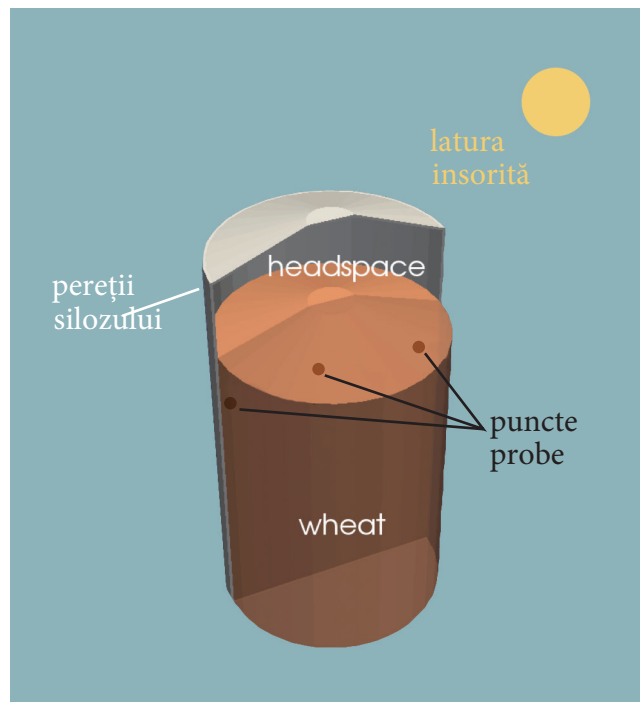


Figura 3: Un siloz cilindric în Kansas parțial umplut cu grâu, după modelul simulatorului Centaur.

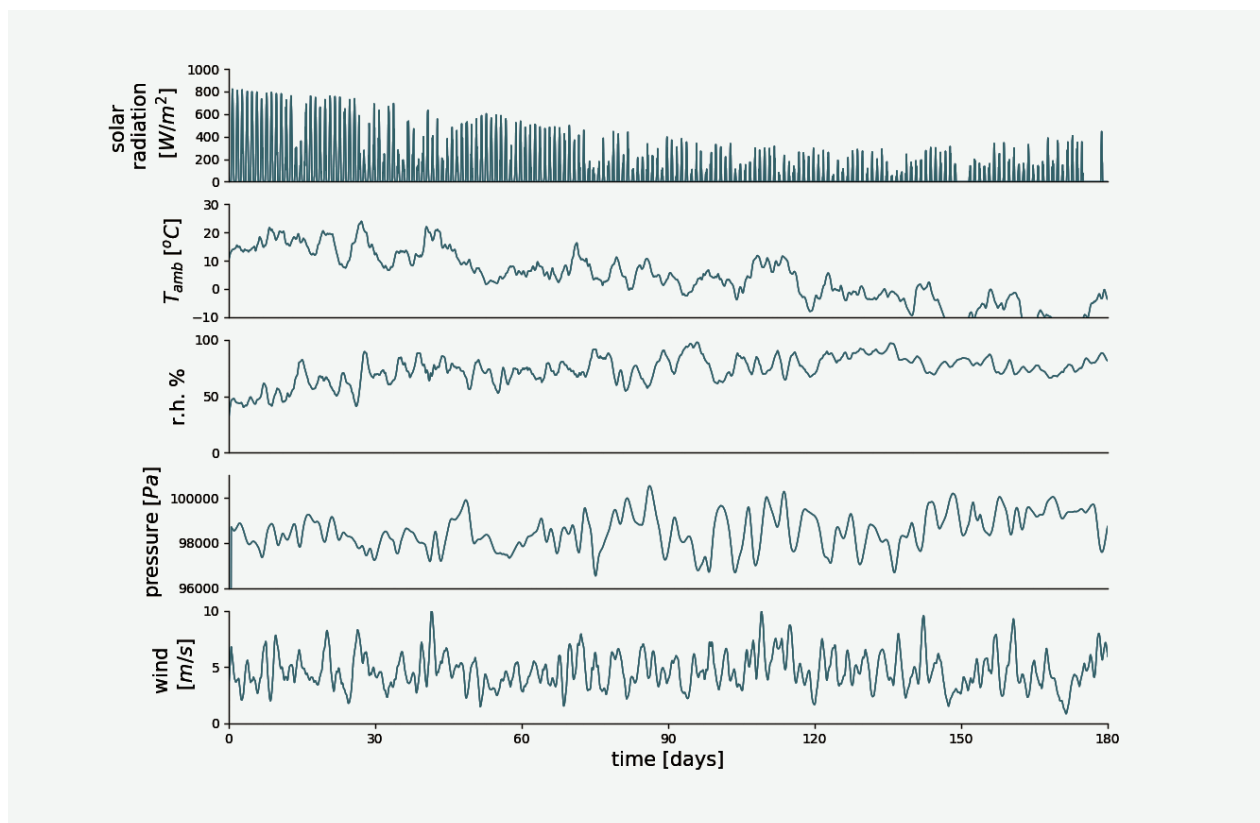


Figura 4: Condițiile meteo (radiația solară, temperatura ambiantă, umiditatea relativă, presiunea atmosferică, viteza vântului) pentru Kansas, SUA, în timpul simulării.

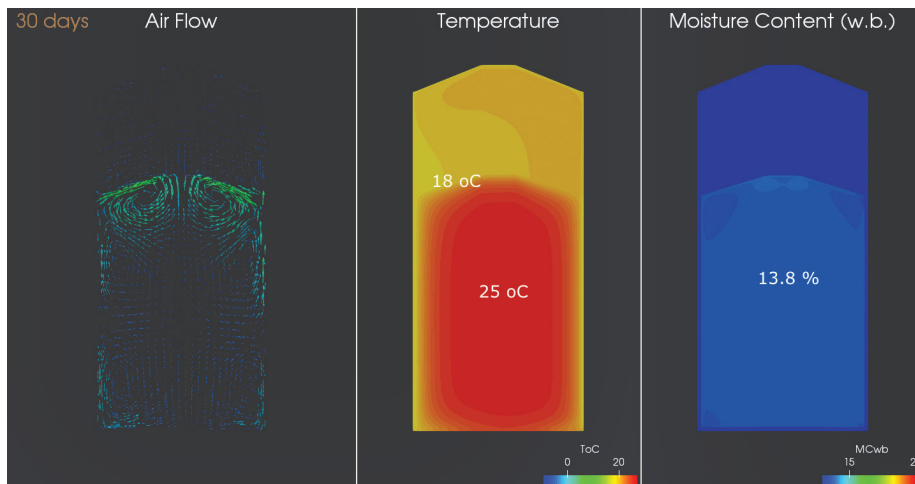


Figura 5: Predicțiile simulatorului Centaur privind distribuțiile spațiale ale fluxului de aer, temperatura bobului și conținutul de umiditate după 1 lună de depozitare. (18oC = 64 oF, 25 oC = 77 oF)

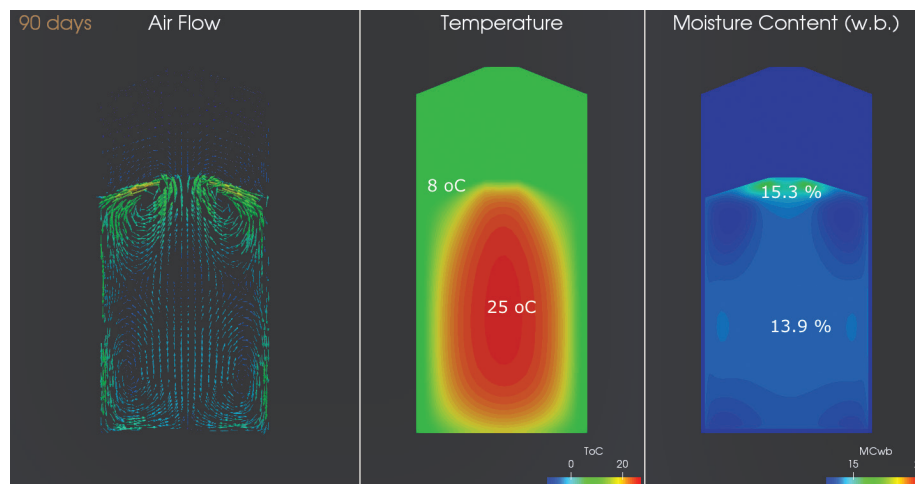


Figura 6: Predicțiile simulatorului Centaur privind distribuțiile spațiale ale fluxului de aer, temperatura cerealelor și conținutul de umiditate după 3 luni de depozitare. (8oC = 46oF, 25oC = 77oF.)

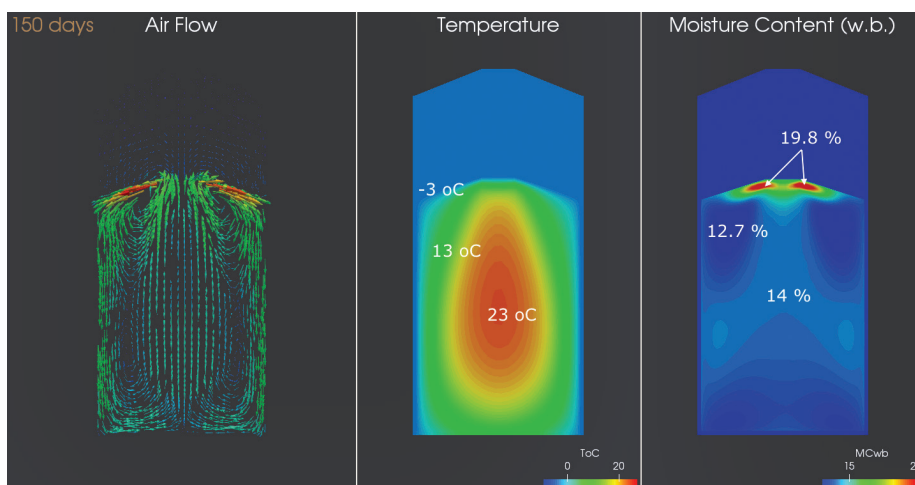


Figura 7: Predicțiile simulatorului Centaur privind distribuțiile spațiale ale fluxului de aer, temperatura bobului și conținutul de umiditate după 5 luni de depozitare. În diagrama din dreapta, săgețile albe evidențiază condensul de umiditate acolo unde este posibil să se formeze mucegai. Un videoclip cu întreaga simulare este disponibil la <https://youtu.be/iUOIuS6yUH0> (-3oC = 27oF, 13oC = 55oF, 23oC = 73oF.)

Predicții folosind tehnologia cognitivă

Există mulți factori imprevizibili și în continuă schimbare (de exemplu, scurgeri de apă de pe acoperișuri, niveluri de infestare, nivel variabil de umplere a silozului) care influențează microclimatul de depozitare a cerealelor. În plus, serviciile meteo oferă previziuni pe termen lung care surprind tendințele meteo generale la locația silozului (de exemplu, o șansă de 50% de furtuni în județ), dar abaterile efective de zi cu zi la aceste tendințe sunt imprevizibile (de exemplu, câtă ploaie va cădea pe siloz).

Senzorii SMART pot măsura acești factori în timp real, transmitând măsurătorile în simulatorul Centaur, care învață și își ajustează continuu previziunile pentru a reflecta mai bine mediul dinamic al silozului. Având în vedere măsurătorile senzorului, simulatorul le compară cu predicțiile sale pentru aceeași locație și în același moment. Dacă există o abatere, simulatorul ajustează previziunile viitoare pe baza măsurătorilor curente efective. De exemplu, dacă simulatorul a prezis o temperatură de 10°C la 9am și 12°C la 10am dar măsoară 9°C la 9am, atunci își va regla predicția de la 10am la 11°C presupunând că niciun alt factor nu declanșează

simulatorul să-și schimbe predicția pentru ritmul de creștere a temperaturii. Simulatorul poate merge mai departe în unele cazuri și poate corecta sau rafina informațiile care i-au fost date, cum ar fi un model meteo, bazat pe măsurători directe (de exemplu, un pluviometru) sau indirecte (de exemplu, o scădere a temperaturii în interior poate implica precipitații). Din punct de vedere tehnic, simulatorul folosește un proces de optimizare iterativ, bazat parțial pe învățarea cognitivă, automată și tehnici de AI, pentru a determina modificările necesare alinierii cu măsurătorile efective.

Rezultatul final al acestui proces de învățare nu reprezintă doar predicții îmbunătățite la locațiile supravegheate dar, prin extensie, oferă și o precizie îmbunătățită a predicției pe întregul volum de stocare (Figura 8). În plus, simulatorul Centaur este rezilient și adaptabil atunci când apar evenimente neașteptate, cum ar fi acoperișul prin care se produce o infiltrație de apă sau pierderilor de aer din cauza unei găuri neobservate. Aceste lucruri sunt imposibil de observat și de gestionat de către operatorii umani folosind tehnologiile tradiționale.

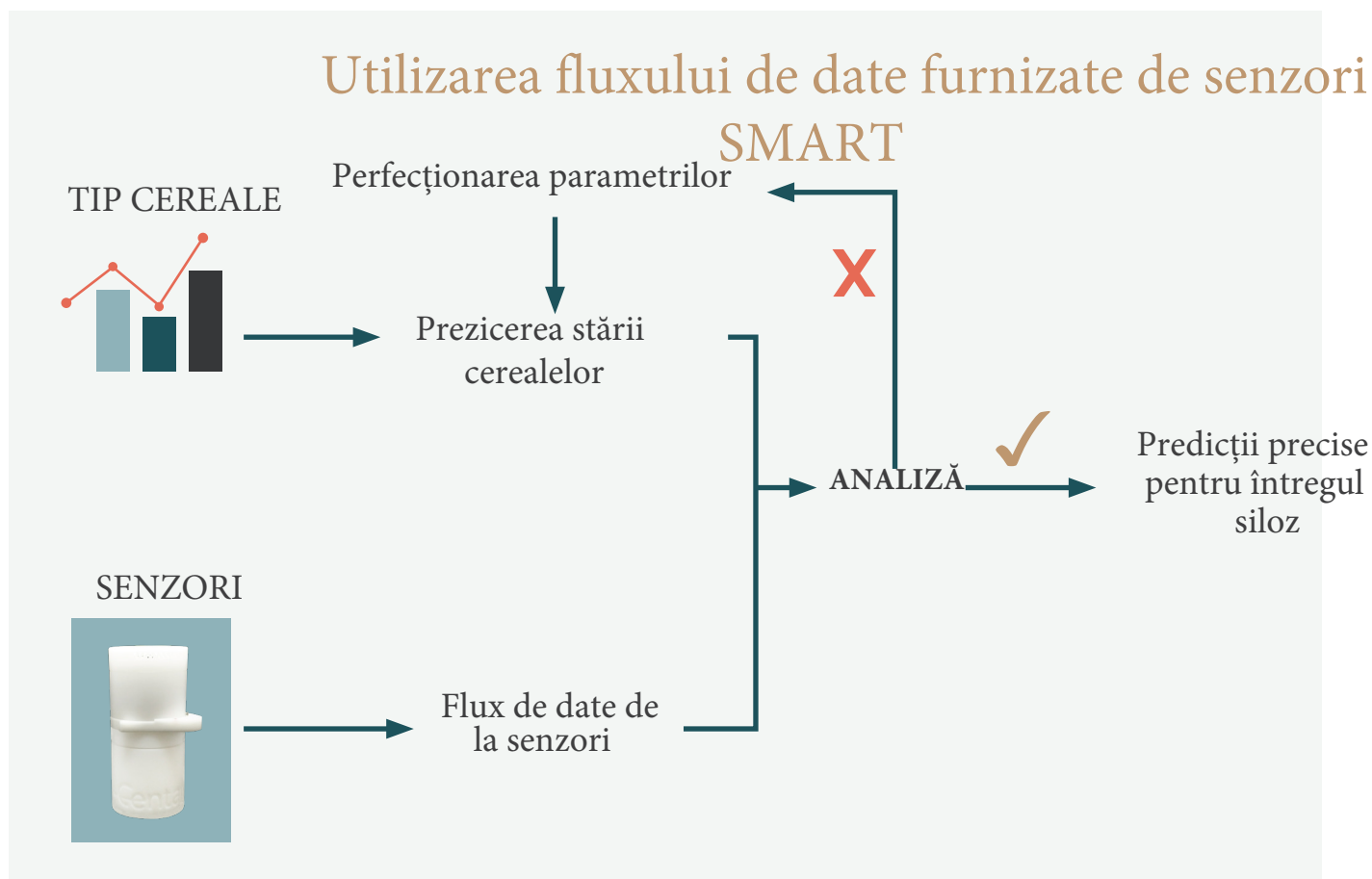


Figura 8: Utilizarea datelor senzorilor pentru a îmbunătăți încontinuu predicțiile simulatorului Centaur într-un sistem cognitiv, de învățare automată.

AERAREA În timpul unui proces tipic de aerare, un ventilator forțează aerul recede jos în sus. Pe măsură ce aerul se mișcă în sus, răcește bobul și, în cele din urmă, iese din conductele de aerare din partea superioară (Figura 9). Simulatorul Centaur ia în considerare o varietate de date pentru a face o predicție avansată a rezultatului aerării. Unele dintre aceste date sunt specificate de administratorul silozului (de exemplu, temperatura forțată a aerului), alte date sunt presetate (de exemplu, geometria silozului și caracteristicile ventilatorului de aerare), altele sunt măsurate în mod constant de senzorii Centaur (de exemplu, starea cerealelor, condițiile climatice actuale și previzionate). Predicția simulatorului Centaur creează valorile cheie de aerare în timp, de ex. Figura 10 prezintă temperatura bobului și conținutul de umiditate la trei înălțimi diferite ale volumului bobului. Folosind o astfel de analiză managerii de silozuri pot planifica un proces de aerare optim reducând în același timp costurile prin programarea automată a orelor de funcționare a ventilatorului.

Mai mult decât atât, folosirea platformei CENTAUR scurtează timpul de instruire al noilor manageri de silozuri, ajutându-i să dobândească experiență și intuiție într-un cadru virtual lipsit de erori.

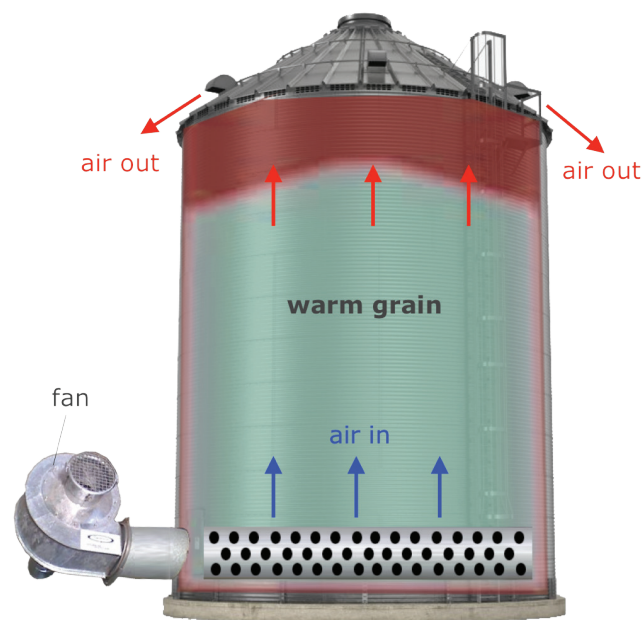


Figura 9: Ilustrarea procesului de aerare. Un ventilator forțează aerul rece de la baza silozului în sus. Pe măsură ce aerul se mișcă în sus, răcește bobul și, în cele din urmă, iese din canalele de aerare din partea de sus.

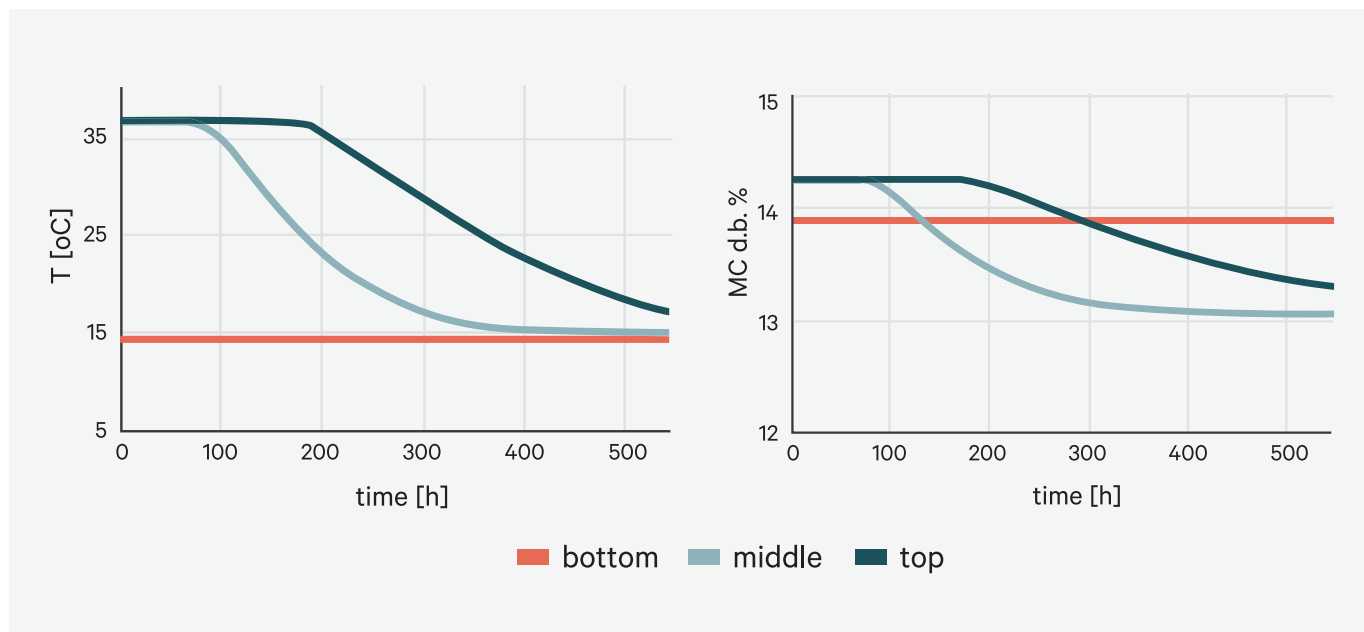


Figura 10: Prognozele privind temperatura și conținutul de umiditate a cerealelor pentru procesul de aerare la trei înălțimi diferite (podea inferioară, mijlocie și superioară).

BENEFICIILE

Aceste noi capacități predictive, combinate cu utilizarea simultană a senzorilor fără fir, permit o cunoaștere aprofundată a stării cerealelor stocate, făcând posibile beneficii fără precedent:

- Predicția și prevenirea deteriorării produselor.
- Îmbunătățirea cerealelor și asigurarea comercializării premium.
- Costuri de operare mai mici și timpi de funcționare reduse ai ventilatorului.
- Transparența lanțului de aprovizionare și satisfacerea pretențiilor de calitate ale comercianților cu amănuntul.
- Valoare de piață mai mare a cerealelor.

Noile tehnologii prezentate în acest articol sunt oferite ca parte a platformei Internet-of-Crops™, disponibilă pe <http://centaur.ag>. Centaur creează un lanț de calitate post-recoltare pentru culturi și alimente, utilizând senzori de cultură inteligenți și soluții de analiză predictivă. Centaur își îmbunătățește în mod constant capacitățile analitice pentru mărfurile stocate .

REFERENCES

- Jian F., Jayas D.S. and White N.D.G., Temperature fluctuations and moisture migration in wheat stored for 15 months in a metal silo in Canada, *Journal of Stored Products Research* 45 (2009) 82-80
- Kaletka A. and Gornicki, K., Criteria of Determination of Safe Grain Storage Time – A Review, *Advances in Agrophysical Research*, Ch. 12, 2013
- Kumar D. and Kalita P., Reducing Postharvest Losses during Storage of Grain Crops to Strengthen Food Security in Developing Countries, *Foods* 2017, 6(1), 8.
- Navarro, S. and Noyes, R.T., *The mechanics and physics of modern grain aeration management*, CRC press, 2002.