
RAPPORT

PROGRAMMA PRECISIELANDBOUW

PROJECT 038

INTEGRALE DON-BEHEERSING (BEWAARFASE)



Datum	10 mei 2011
Auteur(s)	Hein Veenhof, Wouter Zunneberg
Versie	1.5
Classificatie	Vertrouwelijk
Status	Definitief

Inhoudsopgave

1 Inleiding	3
•	1
.1 Aanleiding	3
•	1
.2 Doelstelling	3
•	1
.3 Onderzoeksvragen	3
•	1
.4 Werkwijze	4
•	1
.5 Leeswijzer	4
2 Wensbeeld graanbewaring	5
•	2
.1 Graanmanagement op het akkerbouwbedrijf	6
3 Innovatieve methoden en technieken voor graanbewaring	8
•	3
.1 Besturing van de omstandigheden in graanbewaarplassen m.b.v. beluchtingregelaars	8
3.1.1 AERATION MANAGER software van AERATION CONTROL AUSTRALIA (ACA)	10
3.1.2 Silo monitoring software van INTEGRIS	11
3.1.3 Silo monitoring software van LIROS (uit Zweden)	12
3.1.4 SILOTRACE software van LOREME (Frankrijk)	14
3.1.5 SILOSTAR software van CHOPIN (Frankrijk)	15
•	3
.2 Modelgebaseerde besturing van de omstandigheden in graanbewaarplassen	16
4 Conclusie	19
•	
Bijlage 1.	Literatuurlijst

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In offerteverzoek ZGLE.10.0112, d.d. 16 september 2010, is de vraag als volgt geformuleerd:

“ Optimale beheersing van kwaliteitsaspecten tijdens de teelt en bewaring van granen (i.h.b. tarwe) wordt steeds belangrijker. Initiatiefnemers willen geogste partijen met verschillende specificaties waar mogelijk apart tot waarde te brengen in de keten, waardoor een beter financieel rendement behaald kan worden. Vanwege het belang van de kwaliteitsfactor “DON-gehalte” ligt de focus op het voorkomen en minimaliseren van de hoeveelheid DON (een mycotoxine), zowel in de teelt als tijdens de bewaring. Forse innovaties zijn hiervoor nodig (precisieteelt en precisiebewaring). Het belang van een betere beheersing van schimmels en mycotoxinen zoals DON is mondiaal groot (voedselveiligheid, voedselzekerheid, voedsel-kwaliteit) en kan vele miljoenen extra opleveren in de betrokken ketens.

Om onderzoek naar en ontwikkeling van (zo goed als) praktijkrijpe innovaties zo efficiënt en effectief mogelijk te kunnen uitvoeren, willen de initiatiefnemers hun werkplan uitvoeren in een tweetrapsraket: in de 1e tranche – zowel voor de teeltfase als voor de bewaarfase - richten op inventarisatie, informatie verzamelen over eerdere en aanpalende onderzoeken, afstemmen met Wageningen UR (PRI en Rikilt) en andere kennisinstellingen en het voorbereiden van veldproeven en demonstraties; in de 2e tranche (vanaf inzaai september 2010) richten op het uitvoeren van de veldproeven en demonstraties en het overdragen van kennis.

Een betere beheersing van schimmels en mycotoxinen, zoals DON, is mondiaal van groot belang. Zowel wat betreft de kwaliteit en veiligheid van de humane en dierlijke voeding als ook voor de zekerheid van de voedselproductie en de economische inkomsten, door het voorkomen van inkomstenderving door slechte opbrengsten en slechte kwaliteit.

Hoewel we hier kijken naar de mogelijkheden onder de **Nederlandse omstandigheden** wordt nadrukkelijk ook gekeken of er in het buitenland ontwikkelingen zijn, die mogelijk ook onder Nederlandse omstandigheden toepasbaar zijn.

1.2 Doelstelling

Het belang van een betere beheersing van schimmels en mycotoxinen zoals DON is mondiaal groot (voedselveiligheid, voedselzekerheid, voedselkwaliteit) en kan veel extra geld opleveren in de betrokken ketens (tarwe). De opdrachtgevers voor dit project (Hamster en Wage) willen komen tot een nieuwe manier van werken in de praktijk, die bestaat uit het toepassen van een combinatie van plaatsspecifieke, tijdspecifieke en partijspecifieke technieken en methoden in zowel de teelt als de bewaring van tarwe.

In dit rapport wordt vooral gekeken naar de mogelijkheden tijdens de bewaarfase.

1.3 Onderzoeksvragen

Op basis van ervaringen van de opdrachtgevers zijn voor de bewaarfase zijn een tweetal onderzoeksvragen geformuleerd:

1. Is het mogelijk een betere beheersing van schimmels te krijgen door gebruik te maken van digitale, sensor-, en modelgebaseerde besturing van de omstandigheden in graanbewaarplaatsen.
2. Welke voordelen en nadelen heeft gescheiden opslag van graanpartijen van verschillende kwaliteit.

Op basis van de beschikbare middelen voor dit onderzoek is in overleg besloten alleen nader in te gaan op de eerste onderzoeksvraag.

1.4 Werkwijze

Op basis van literatuuronderzoek is gekeken naar de diverse methoden om graan te bewaren.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op het wensbeeld van activiteiten rondom graanbewaring.

In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op al uitgevoerd en lopend relevant onderzoek (NL, EU, mondiaal) vooral toegespitst op de geformuleerde onderzoeksvragen.

In hoofdstuk 4 zijn de conclusies en aanbevelingen voor het vervolg geformuleerd.

2 Wensbeeld graanbewaring

Graan in bewaring wordt voortdurend en voornamelijk bedreigd door de gevaren van:

1) Schimmelactiviteit

Graan dat opgeslagen is zal in meer of mindere mate geïnfecteerd zijn met graanschimmels (zoals Fusarium). Gunstige omstandigheden van vocht en temperatuur zal hun activiteit stimuleren. Aanwezigheid van schimmels verlaagd de bruikbaarheid van graan en graanproducten door de eventuele ontwikkeling van giftige stoffen (mycotoxine als DON), verkeerde geuren of korrelverkleuring.

Notabene: indien er in de bovenste laag van het opgeslagen graan veel vocht is gevormd, kan aldaar erg makkelijk schimmelvorming optreden. Dit gebeurt vaak; zelfs in graan dat als veilig werd beschouwd toen het werd opgeslagen met een veilig vochtgehalte.

Notabene: uit de literatuurstudie "Integrale DON-beheersing (teeltfase)" is gebleken dat ondanks het nemen van diverse maatregelen een schimmelinfectie (b.v. met Fusarium) niet volledig is te voorkomen.

2) Vochtvorming en vochtmigratie

Een partij graan welke is opgeslagen met een uniform vochtgehalte bevat nog steeds vocht. Dit vocht kan als gevolg van verschillen in temperatuur gaan bewegen binnen de graanmassa. Tijdens de winter wordt het graan aan de buitenkant, dichtbij de wanden van de opslag, kouder dan het graan in het midden van de silo.

Luchtstroming ontstaan door convectie, verplaatst het aanwezige vocht uit de warme gebieden naar koelere delen van het graan. De stijging van temperatuur en vochtgehalte aldaar kan leiden tot een overeenkomstige stijging van de ademhaling van het graan (respiratie) en verhoogde activiteit van micro-organismen. Actievere micro-organismen zorgen voor meer oxidatie van de koolhydraten in het graan met bijkomstig resultaat: extra vocht en warmte. Effecten van schimmelgroei door versnelde respiratie en oxidatietoename kunnen elkaar versterken, en dragen bij aan de geproduceerde warmte. Gevolg kan zijn dat overmatig verwarmd graan zal moeten worden verwijderd, of de temperatuur ervan verlaagd.

3) Insectenvraat

Activiteit van insecten is direct gerelateerd aan de temperatuur en het vochtgehalte van het graan. De bepalende factor met betrekking tot groei en reproductie van insecten is de locatie van dat deel van het opgeslagen graan dat het meest vochtig en warmst is. Insecten consumeren niet alleen het graan, en beschadigen daarbij de graankorrels, maar genereren warmte en ontwikkelen uiteindelijk een temperatuur in het graan die grote schade kan veroorzaken.

In [K.Vranckx] worden naast de drie bovengenoemde een aantal additionele factoren beschreven die invloed hebben op de conditie van de graanmassa:

- de rijpheid van het graan,
- mate van waterdoorlaatbaarheid van graankorrelschal (zweetproces)
- stromingsweerstand van de graanmassa
- mate van beschadiging van de graankorrels
- aanwezigheid van onzuiverheden tussen het graan
- te vroeg kiemende graankorrels
- aanwezigheid van mijten

Hoe deze factoren van invloed zijn op de conditie van de graanmassa en in welke mate valt buiten de scope van dit onderzoek. Bestudeer daartoe [K.Vranckx].

Wanneer ongeacht de oorzaak, de conditie van graan achteruitgaat, is er bijna altijd sprake van stijging van de temperatuur. Het is dus zaak de temperatuur van het graan te kunnen controleren. Het vochtgehalte van het graan is daarbij van groot belang. Essentieel is invloed te hebben op vorming van vochttopeenhoping tussen de graankorrels. Vermindering van het overtollige vocht en (uniform) herverdelen van het resterende vocht is daarbij het beoogde doel.

2.1 Graanmanagement op het akkerbouwbedrijf

In de loop der tijd is veel onderzoek gedaan naar diverse methoden en technieken om temperatuur en vochtigheidsgehalte in een silo te kunnen sturen op een zodanige wijze dat beide geen bedreiging vormen voor de kwaliteit van de aldaar opgeslagen graanmassa. Vele innovatieve ideeën zijn vervolmaakt voor gebruik door de graanteler. Het behouden van graankwaliteit in een silo blijft echter een lastig probleem dat zich wereldwijd voordoet, en met name in de derde wereld landen voor veel verlies van graan zorgt. In onze westerse wereld worden teler en de silo-beheerder geconfronteerd met nieuwe aspecten waar zij rekening mee dienen te houden:

- Afkoelen van graan wordt lastiger door warmere herfst en winters.
- Een afnemend aantal toegestane gewasbeschermingsmiddelen.
- Toename van de vraag naar 'ziektevrij' graan.
- Toename van de vraag naar onbehandeld/onbespoten graan.
- Insecten en mijten zijn meer en meer resistent tegen chemische bestrijdingsmiddelen.
- Een bijkomende eis die een maximum aangeeft voor de niveaus van microtoxines, welke ten grondslag ligt aan deze studie.

Wat kan een graanteler doen om de kwaliteit van het graan in zijn silo te behouden? Na de oogst moet een warme partij graan snel worden afgekoeld door er (bij voorkeur) koelere omgevingslucht doorheen te blazen. Hoe groter dit verschil in temperatuur is, des te sneller zal de koeling verlopen. De omgevingslucht wordt langzaam door de silo geblazen met een snelheid van ongeveer 10 m³/uur/ton (~3 L/s/ton). Zo zal een koufront langzaam door het graan bewegen en over een periode van weken het graan gelijkmatig afkoelen.

De eerste doelstelling daarbij is om het graan binnen veertien dagen af te koelen tot onder de 15 °C om ontwikkeling van schadelijke voorraadinsecten als Graanklander en Getande Graankever te voorkomen. Vervolgens wordt de temperatuur van het graan zo snel mogelijk tot onder de 12 °C gebracht om ook te voorkomen dat andere type insecten gaan groeien (150-200 uur beluchting). Hoe een dergelijke graanberg in een silo van temperatuur veranderd is gevisualiseerd in bovenstaande figuur.

Omgevingslucht blazen door de silo met graan is een goedkope manier om het graan af te koelen.

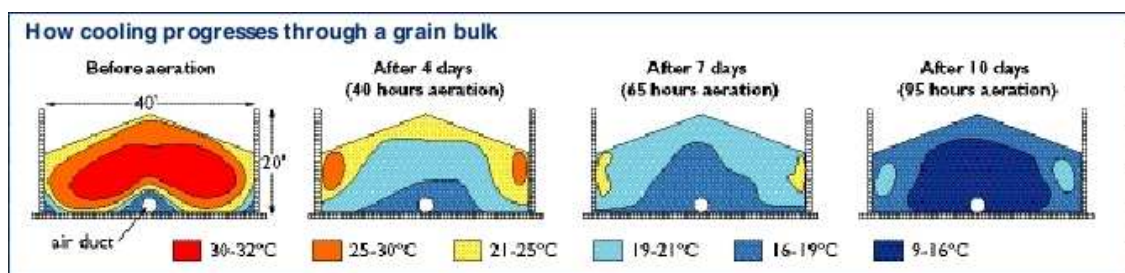
Ventilatoren die van onderaf de silo beluchten kunnen hiertoe automatisch worden geregeld. De temperatuur van zowel graan als de omgevingslucht wordt gemeten. De ventilatoren worden alleen dan ingeschakeld wanneer de omgevingstemperatuur lager is dan die van het graan. Een verschil van 4-6 °C geeft de meest snelle en kosteneffectieve koeling. Zolang bij het beluchten dit verschil van 4-6 °C wordt aangehouden is de invloed van een hogere relatieve luchtvochtigheid van de omgevingslucht onbeduidend. De partij graan wordt er niet vochtiger van.

Het in- en uitschakelen van de ventilatoren gebeurt vaak op basis van metingen van verschilthermostaten of normale thermostaten, met behulp van tijd klokken, of zelfs door handmatige bediening.

N.B.: indien mogelijk kan een tijdschakelaar gebruikt worden om kosten te reduceren door gebruik te maken van off-peak energietarieven.

Met de hierboven genoemde technieken is het voor het beheren van de graanpartij in de silo nog niet duidelijk genoeg hoe de temperatuur verdeling nu daadwerkelijk verloopt. Zelfs de schets in bovenstaande figuur is maar een momentopname. Beslissingen die genomen moeten worden m.b.t. temperatuur en vochtigheidsgraad van het graan in de silo, zullen daarom in de huidige situatie gebaseerd zijn op een ruime foutmarge om de partij graan niet te verliezen.

Iedere boer zal graag een betrouwbare beluchtingregelaar gebruiken die voor hem de ventilatoren automatisch aan- en uit zet gebaseerd op data over temperatuur en vochtigheidsgraad van de partij graan.



3 Innovatieve methoden en technieken voor graanbewaring

Er is een veelheid aan documentatie te vinden over de ontwikkeling van graanbewaring tot de huidige praktijk. Focus van dit hoofdstuk is de innovatie besturing van de omstandigheden in graanbewaarplaatsen. Het is geen doel van dit onderzoek om een volledig overzicht te geven van methoden en technieken van graanbewaring. We verwijzen graag naar de literatuurlijst in de bijlage. Aanraders daarbij zijn:

- “Graanbewaring op het akkerbouwbedrijf” van K. Vranckx uit 2009.
- “Grain Biology”, Kongskilde. Via www.kongskilde.com.
- “Grain Storage Guide - 2nd Edition”. Via www.hgca.com/grainstorage.

3.1 Besturing van de omstandigheden in graanbewaarplaatsen m.b.v. beluchtingregelaars

Beluchtingregelaars zijn geautomatiseerde systemen die het beheer van de graansilo voor wat betreft aansturing van de ventilator(en) overneemt van de beheerder. Het belangrijkste verschil tussen de huidige beschikbare beluchtingregelaars is de manier waarop zij bepalen wanneer de ventilatoren aan of uit te schakelen. Hieronder een overzicht:

Set-point controllers:

Bij dit type beluchtingregelaars voert de beheerder twee waarden als set-point in: een bepaalde temperatuur en relatieve vochtigheid. Beiden worden gebruikt om de ventilator te sturen. Bijvoorbeeld, voor het koelen, kan de beheerder opgeven dat de ventilator uitsluitend loopt wanneer temperatuur lager is dan 23 graden Celsius en de relatieve vochtigheid lager is dan 85 procent. De door de graanopslag te blazen lucht neemt een deel van het tussen het graan aanwezige vocht op mits die lucht droger is dan het graan.

Moving trigger-point controllers.

Een iets geavanceerdere versie dan de vorige beluchtingregelaar maakt gebruik van de zogenaamde natteboltemperatuur. Deze geeft met één enkel getal een maat voor potentieel aan koeling door verdamping dat in de lucht aanwezig is.

Ook nu worden temperatuur en relatieve vochtigheid continue gemeten echter hieruit wordt één enkel getal voor de natteboltemperatuur berekend. Zolang de berekende natteboltemperatuur beneden een vooraf ingesteld set-point blijft mag de ventilator aan staan. Deze beluchtingregelaar werkt eenvoudig gezegd als een thermostaat die zich continue aanpast. Een (door de beheerder) opgelegd maximum aan relatieve vochtigheid (bijv. <85%) voorkomt dat de ventilator blijft lopen bij zeer vochtige buitenlucht.

Time proportioning controllers

Dit type beluchtingregelaar gebruikt algoritmen om de koelste lucht van een bepaalde periode te selecteren waarbij de ventilator aan mag staan. De algoritmen zijn gebaseerd op:

- Continue meten van temperatuur en relatieve vochtigheid. Eventueel berekenen van natteboltemperatuur.

- De ventilator mag per dag maar een beperkt aantal uren aan staan. Iedere fase in het beheersproces vraagt een andere tijdsduur dat de ventilator aan staat. Voor snel koelen 9-12 uur per dag, en voor normaal koelen is dit maximaal 24 uur per week. Gekozen wordt voor de koelste periode per dag gebaseerd op temperatuur of natteboltemperatuur.
- Een (door de beheerder) opgelegd maximum aan relatieve vochtigheid (bijv. <85%) voorkomt dat de ventilator blijft lopen bij zeer vochtige buitenlucht.

Adaptive discounting controllers

Beluchtingregelaars die gebruik maken van *adaptive verdiscontering*, zetten de ventilator een berekende tijdsperiode aan en vervolgens weer uit. Dit genereert een beluchtingfront dat door de graanmassa stroomt. Er wordt exact berekend hoeveel koeler en of droger de graanmassa van dit front wordt; temperatuur en vochtigheidspercentage van de buitenlucht worden hiertoe gemeten. De ventilator wordt alleen dan aangezet wanneer een beluchtingfront zal ontstaan waarvan verwacht wordt dat dit het gestelde doel dichterbij brengt (dus een koelere en/of drogere graanberg). Keer op keer wordt een beluchtingfront gegenereerd en exact berekend hoe groot het effect ervan (verkoeling en/of verdroging) op de graanberg is. Dit gaat zolang door totdat het doel bereikt is. Vervolgens wordt regelmatig nog een beluchtingfront gegenereerd, om het bereikte resultaat te behouden.

Meetsensoren in de silo zijn niet nodig.

Voordat met dit type beluchtingregelaar gestart kan worden moeten vele configuratiegegevens ingevoerd worden betreffende het graan (soort graan, volume, vochtigheidspercentage, temperatuur), te bereiken doel (qua vochtigheidspercentage en temperatuur), graanopslag (afmetingen, vorm, volume, langste afstand) en ventilator (vermogen, minimale en maximale luchtstroomsnelheid, startvertraging e.d.). Foute gegevens invoeren kan enorm van invloed zijn op het resultaat.

Internal sensing controllers

Dit type beluchtingregelaar opereert op soortgelijke wijze als de Adaptive discounting controller maar gebruikt sensoren binnen in de graanopslag om graankorrel temperatuur en vochtigheid aldaar te meten. Met dergelijke sensoren is het niet meer nodig een veelheid aan configuratiegegevens in te voeren. Het door een enkel beluchtingfront bereikte resultaat wordt namelijk direct gemeten. De geschatte afname die bij de Adaptive discounting controller door berekening wordt bepaald wijkt in praktijk waarschijnlijk nog iets teveel af van de realiteit. Te bereiken doeltemperatuur en vochtigheidsgraad worden nog wel ingevoerd. Dit type van beluchtingregelaars zijn naar verwachting een meer accurate en efficiënte manier van koeling en drogen van graan, maar zijn over het algemeen duurder en complex om te installeren.

In de komende paragrafen volgt de beschrijving van een viertal beluchtingregelaars van de laatste twee typen. De teksten zijn samenvattingen van informatie die ik over die beluchtingregelaars heb kunnen vinden.

Let op: de teksten zijn ooit door verkopers voor marketingdoeleinden gemaakt. Het is geen doel van dit onderzoek om over vergelijkend warenonderzoek te rapporteren.

3.1.1 AERATION MANAGER software van AERATION CONTROL AUSTRALIA (ACA)

[Vrij vertaald van <http://www.aerationcontrol.com/>]

De Aeration Manager maakt gebruik van door CSIRO ontwikkelde Adaptive Discounting Control (ADC) methode. De ADC-methode genereert fronten van buitenlucht door het graan in opslag totdat het de gewenste vochtgehalte en temperatuur heeft bereikt. De Aeration Manager verzorgt de beheerfases: drogen, koelen en onderhoud (in die volgorde) met behulp van buitenlucht en kan tegelijkertijd 8 silo's beheren met daarin verschillende soorten graan met hun eigen graanconditie. Het systeem heeft een gebruiksvriendelijke interface (via een touch screen) en zal indien nodig rekening houden met verwarmde buitenlucht.

De Aeration Manager gebruikt een gesloten-lus principe om de ventilatoren aan en uit te schakelen en houdt automatisch de tot dan bereikte graanconditie bij. Checkt temperatuur en vochtigheid van de buitenlucht en gebruikt deze informatie om te bepalen of de buitenlucht geschikt is voor de huidige beheersfase.

De Aeration Manager voorspelt de tijd om een bepaald vochtigheidspercentage en temperatuur van het graan te bereiken, en toont progressie met een percentage van het te bereiken doel. De Aeration Manager staat toe om ventilatoren niet te gebruiken gedurende bepaalde uren van de nacht (lawaai preventie) en houdt hier rekening mee bij de berekende voorspellingen. Met de Aeration Manager kunnen de ventilatoren zowel handmatig als automatisch gestuurd worden.

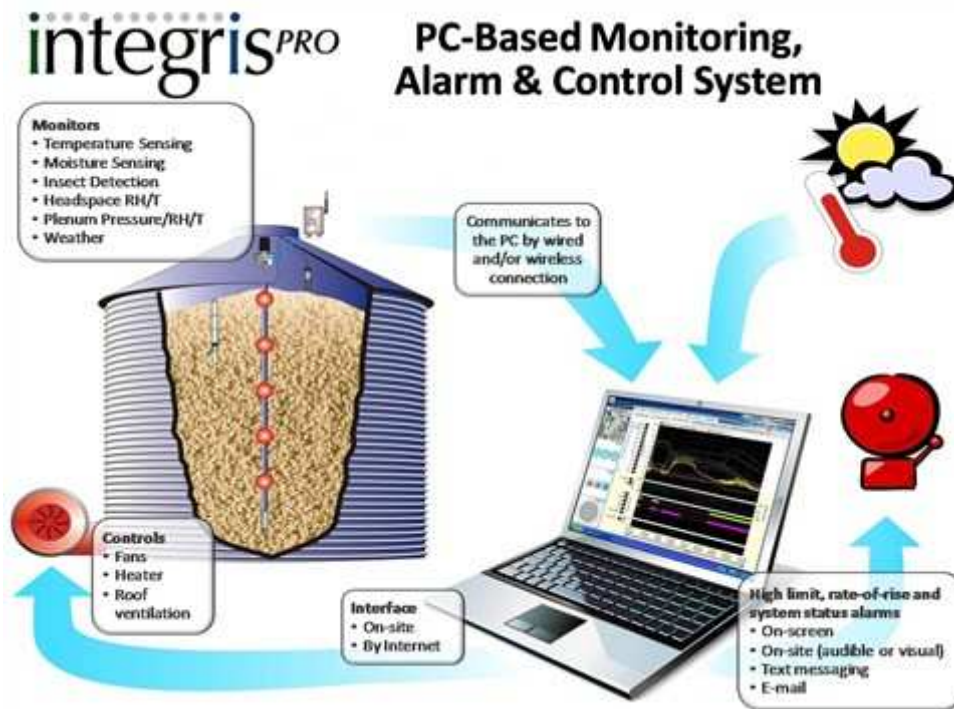


De Aeration Manager geeft feedback over graantemperatuur en vochtigheid zonder sensoren in de silo, heeft toegang tot internet via het mobiele netwerk en is uitgerust met een PDA scherm waarop statusgegevens van de silo en ventilator getoond worden. Het systeem kent 20 verschillende soorten graan die verder gespecificeerd worden met: datum, tonnage, temperatuur, vocht en olie inhoud (indien van toepassing).

Aeration Manager is opgenomen in the Western Australia Innovator of the year 2010 lijst.

3.1.2 Silo monitoring software van INTEGRIS

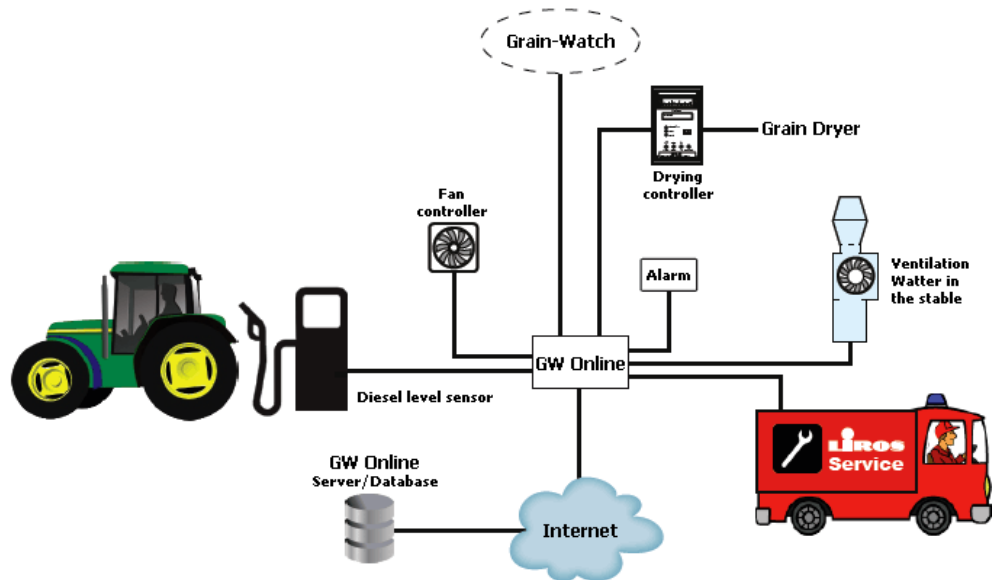
[Vrij vertaald van <http://www.advancedgrainmanagement.com/>]



IntegrisPro Advanced Grain Management is een oplossing waarbij een volledig geautomatiseerde monitoring wordt geleverd. Deze bevat alarmering, continue niveau inventarisatie monitoring en geautomatiseerde beluchttingsregeling. IntegrisPro is de meest ontwikkelde oplossing voor het beheer van graan in opslag. IntegrisPro biedt ook de beste, meest kosteneffectieve manier voor grote telers en commerciële graanbewaarders om hun bottom line te verhogen.

Met IntegrisPro, wordt uw graanopslag winstgevend. Nieuwe marktrijpe technologie stelt u in staat uw graan langer op te slaan waarbij u erop kan vertrouwen dat de topkwaliteit van het graan behouden blijft. Toegenomen bewaartijd stelt de boer in staat te verkopen wanneer de marktprijzen op hun hoogtepunt zijn. De IntegrisPro oplossing **minimaliseert krimp en bederf, vermindert de energiekosten** met maar liefst 80% doordat de **ventilator softwaregestuurd** is en **verhoogt de doorvoer van de droger**, opdat u de hoogste kwaliteit graan behoudt!

3.1.3 Silo monitoring software van LIROS (uit Zweden)



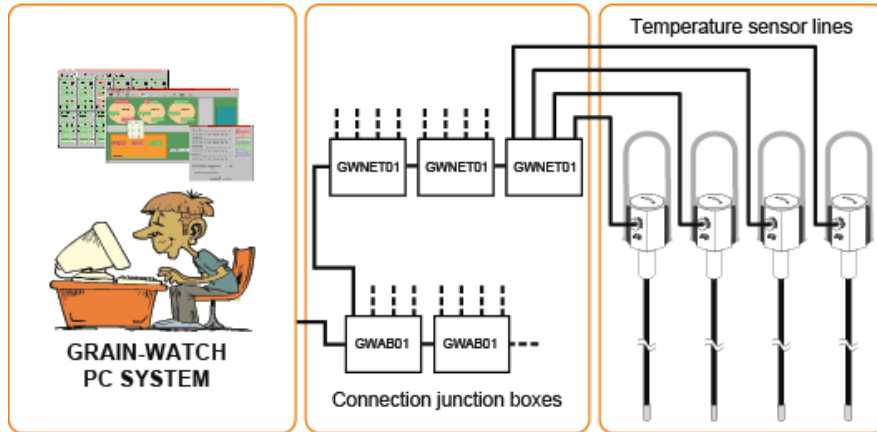
[Vrij vertaald van http://www.liroselectronic.com/gw/gw_online.html]

Het **Grain-Watch Online** systeem stelt u in staat om de temperatuur van het graan in uw opslagruimte te monitoren, alarmerings- en waarschuwniveaus aan te passen of de ventilator van overal ter wereld in real-time te bedienen.

Ons online monitoring systeem bespaart u tijd en tevens reiskosten van en naar uw opslagruimte. Met het Grain-Watch Online systeem, kunt u uw eigen graanopslag of die van uw klant controleren en beheersen in real-time vanaf uw pc, laptop of zelfs uw smartphone.

Voor extra veiligheid worden uw gegevens opgeslagen op twee servers die zich op twee verschillende locaties bevinden. Uw gegevens zijn met een wachtwoord beveiligd tegen ongeoorloofde toegang.

Het Grain-Watch Online systeem is niet beperkt tot alleen controleren van graan temperatuur of aanpassen van de alarmeringnivos. Niveausensoren in uw brandstoftank, anti-diefstal systemen in uw auto, inbraak-alarmeren en vele andere systemen kunnen worden gekoppeld aan het Grain-Watch Online systeem.



3.1.4 SILOTRACE software van LOREME (Frankrijk)

[Vrij vertaald van http://www.liroselectronic.com/gw/gw_online.html]

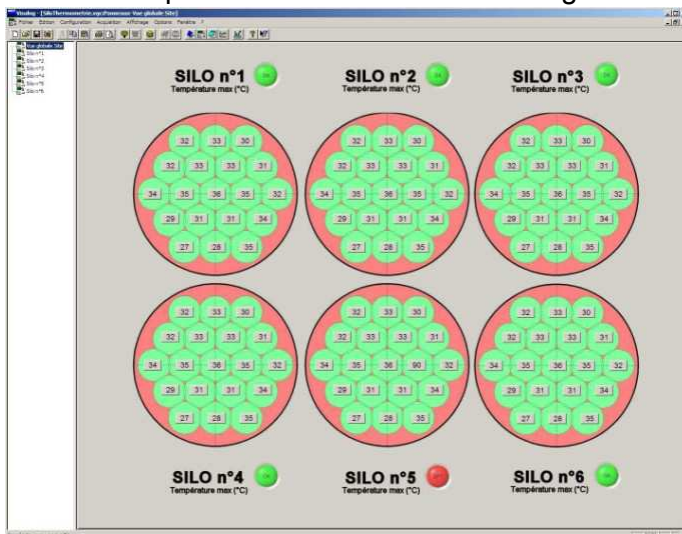
Silotrace is een krachtig en makkelijk te gebruiken hulpmiddel en een ware aanvulling op onze silo temperatuur acquisitie systemen. Silotrace zorgt voor data-acquisitie en opslag op de computer. Het kan maximaal tot 5000 kanalen meten.

Een gebruiker kan doelbestanden en opslag frequentie definiëren. De gemeten waarden zijn weergegeven in lijndiagram, staafdiagram, digitale waarden of in een plant diagram. Een bovenaanzicht (foto of tekening) van de silo kan worden opgenomen als achtergrond van een plant diagram viewer voor het bekijken van real-time sensordata. Alle gegevens kunnen worden geëxporteerd naar spreadsheet. Alarmsignalen kunnen door de gebruiker worden ingesteld (4 alarmen op elke kanaal). Met behulp van e-mails kunnen dienst doende medewerkers opgeroepen worden. Silotrace kan tegelijkertijd omgaan met verschillende silo's.

Silotrace wordt geïnstalleerd op de pc, volledig geconfigureerd en getest volgens het gewenste klant plant.diagram.

Communicatie: Open Modbus protocol op Ethernet-verbinding.

Modbus protocol over RS485-verbinding met USB / RS485 converter op aanvraag.

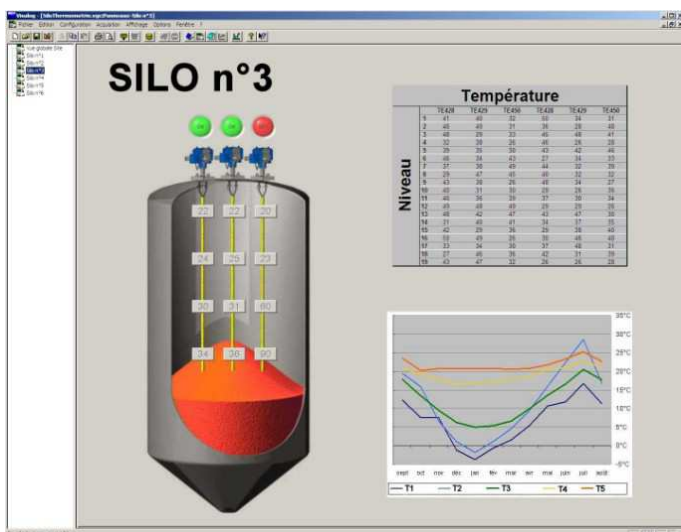


Silo Temperature Solutions



www.loreme.fr

SILOTHERMOMETRY E 1

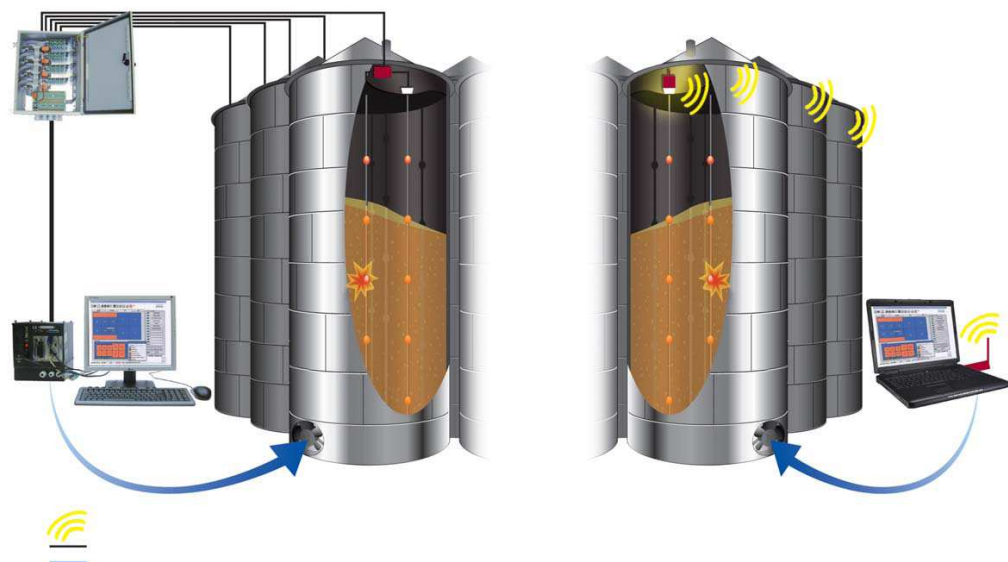


3.1.5 SILOSTAR software van CHOPIN (Frankrijk)

[Vrij vertaald van http://www.chopin.fr/fiche_silothermometrie-installee.php]

Met behulp van “silothermometry” kunt u continu en optimaal uw graanconditie beheren door een volledig automatisch systeem. Het zorgt voor optimalisering van de ventilatie en stelt op die manier de voorraden veilig. Tevens staat het systeem garant voor optimale opslagcondities. Door het gebruik van vaste “silothermometry” kunt u voldoen aan de nieuwe ATEX en INERIS 02ATEX0091 X normen voor certificering.

De vaste temperatuursondes zijn zo ontworpen dat ze toegepast kunnen worden in willekeurig welke silovorm. Ook u bent daardoor verzekerd van nauwkeurige, betrouwbare en continue metingen van de graantemperatuur in uw graanopslag met als doel permanente bewaking van uw graanvoorraad. De elektrische bedrading van een temperatuursonde schuift in een kabelhuls waardoor het zeer eenvoudig is de sensoren aan te passen zonder verwijdering van de kabelhuls (zelfs als de silo vol is met graan). Een essentiële aanvulling voor het monitoren van temperatuur gemeten door de sondes,



zijn het STAM en SILOSTAR systeem. Beide zijn doeltreffende instrumenten om continu en optimaal zicht te hebben op het gedrag van uw graan in opslag.

Het semi-automatisch systeem STAM biedt u een permanente faciliteit voor het controleren van temperaturen. STAM en SILOSTAR zijn wederzijds compatibel waardoor u kunt beginnen met de STAM lezer en op termijn dit systeem, in overeenstemming met uw wensen te ontwikkelen tot een meer complete oplossing zoals de SILOSTAR.

De extreme gebruiksvriendelijkheid van SILOSTAR (zorgt voor automatische controle van de temperaturen en de verwerking van de metingen op de PC) maakt dat dit systeem zeer makkelijk bruikbaar is voor iedereen, en de gebruiker heeft dan ook geen speciale kwalificaties nodig.

De ruimtelijke weergave van temperatuurverdeling over de silo, per cel en per sonde, geeft een gedetailleerd temperatuurbeeld van elke locatie in het opslagsysteem. In het geval van het detecteren van een te hoge temperatuur, worden het alarm en de ventilatie automatisch geactiveerd. Opwarming van het graan wordt zo betrouwbaar afgehandeld. SILOSTAR regelt alles en geeft u een perfecte gemoedsrust.

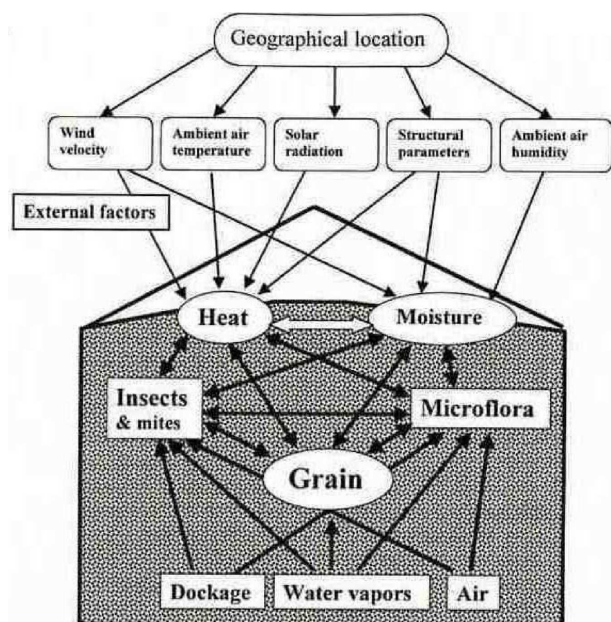
3.2 Modelgebaseerde besturing van de omstandigheden in graanbewaarplaatsen

De beluchting van graansilo's is een handig middel om de temperatuur en de vochtverdeling in een silo te regelen. Door het gedrag van vocht en temperatuur beter te kunnen voorspellen tijdens de beluchting van het graan zal de beheerder c.q. teler in staat zijn om beluchting efficiënter te laten verlopen waarbij graanbederf wordt geminimaliseerd.

Wiskundige modellering is een bijzonder nuttige methode om inzicht te krijgen in de stroming van lucht in de graansilo. Het is minder duur dan experimentele studies en wordt niet beïnvloed door veranderende weersomstandigheden in het veld. Veel onderzoek is gedaan naar het juist voorspellen van vochtigheidspercentage, temperatuur, luchtsnelheden en druk in graanopslagplaatsen. Naar aanleiding daarvan zijn o.a. methodes ontwikkeld die gebruik van maken van computermodellen op basis van Computational Fluid Dynamics (CFD) technieken. Software dat gebruik maakt van zo'n CFD model lost numeriek de differentiaalvergelijkingen op die o.a. warmte- en massatransport beschrijven, voorspelt de luchtsnelheden, vochtgehalte, temperaturen en druk in de hele graansilo en het verloop daarvan in de tijd.

Diverse gegevens kunnen dienen als input voor een CFD model. Onderzoekers hebben een veelheid aan wiskundige modellen bedacht die rekening houden met allerlei parameters die van invloed kunnen zijn op de kwaliteit van een voorspelling. [Navarro et.al. (2002)] beschrijft een aantal factoren die zeker moeten worden beschouwd met betrekking tot warmteoverdracht in een graanberg:

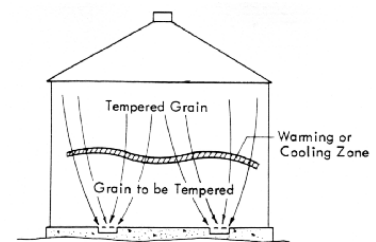
1. Windsnelheid
2. Omgevingstemperatuur.
3. Effecten van zonnestraling.
4. Atmosferische weersveranderingen die het gevolg zijn van de grote schommelingen in luchtdruk.
5. Structurele parameters; grootte en vorm, materiaal, type fundering, aantal en grootte van openingen.
6. Warmteoverdracht van de silo en omgeving door convectorie, straling en geleiding naar de grond.
7. Interne factoren zoals de fysische en thermische eigenschappen van een berg graan, de ademhaling van het graan zelf, en de ademhaling en populatiedynamiek van de fauna en flora in het graan.



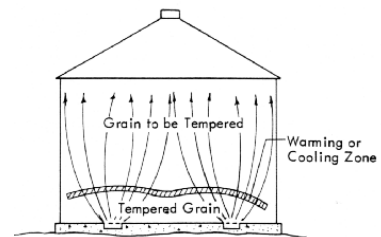
Het aan en uitzetten van de ventilator van een silo heeft als doel een beluchtingfront door de silo te laten stromen. Een beluchtingfront kan zowel naar boven als naar beneden door de graan massa verplaatst worden (zie figuur hiernaast). N.B.: de meeste ventilatoren hebben de mogelijkheid om ofwel te duwen (blazen) of te trekken (zuigen) maar er zal per richting wel een verschil zijn in stromingscapaciteit.

Het CFD model kan gebruikt worden om een voorspelling te doen over waar een beluchtingfront in de graansilo (of al erbuiten) zich zou moeten bevinden nadat de ventilator een bepaalde tijd heeft aangestaan. Tevens kan het CFD model gebruikt worden om te berekenen hoeveel dit beluchtingfront de huidige conditie van de graanmassa dichter bij het vooraf gestelde doel brengt.

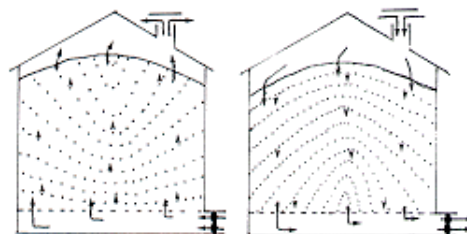
Aanwezigheid van ander materiaal dan graankorrels in de graanmassa, zoals ongedierte, schimmels, maar ook onkruidzaden en zand/kiezel, hebben effect op hoe het beluchtingfront zich door de silo verplaatst. Dit effect zal meer impact hebben zodra deze vreemde materialen zijn geconcentreerd op één locatie. Omdat bij beluchting vaak gebruik gemaakt wordt van langzame luchtstromen, zal elke verhoogde weerstand een groot effect hebben op de luchtstroom patronen. Als gevolg hiervan duurt het veel langer om het beluchtingfront geheel voort te bewegen door de graanberg (zie figuur hieronder).



Negative pressure—cooling or warming zone moves down through the grain.



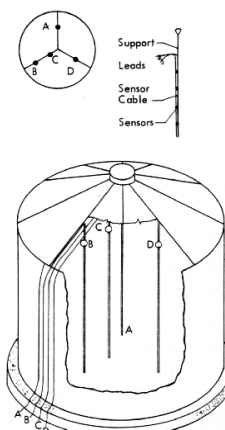
Positive pressure—cooling or warming zone moves up through the grain.

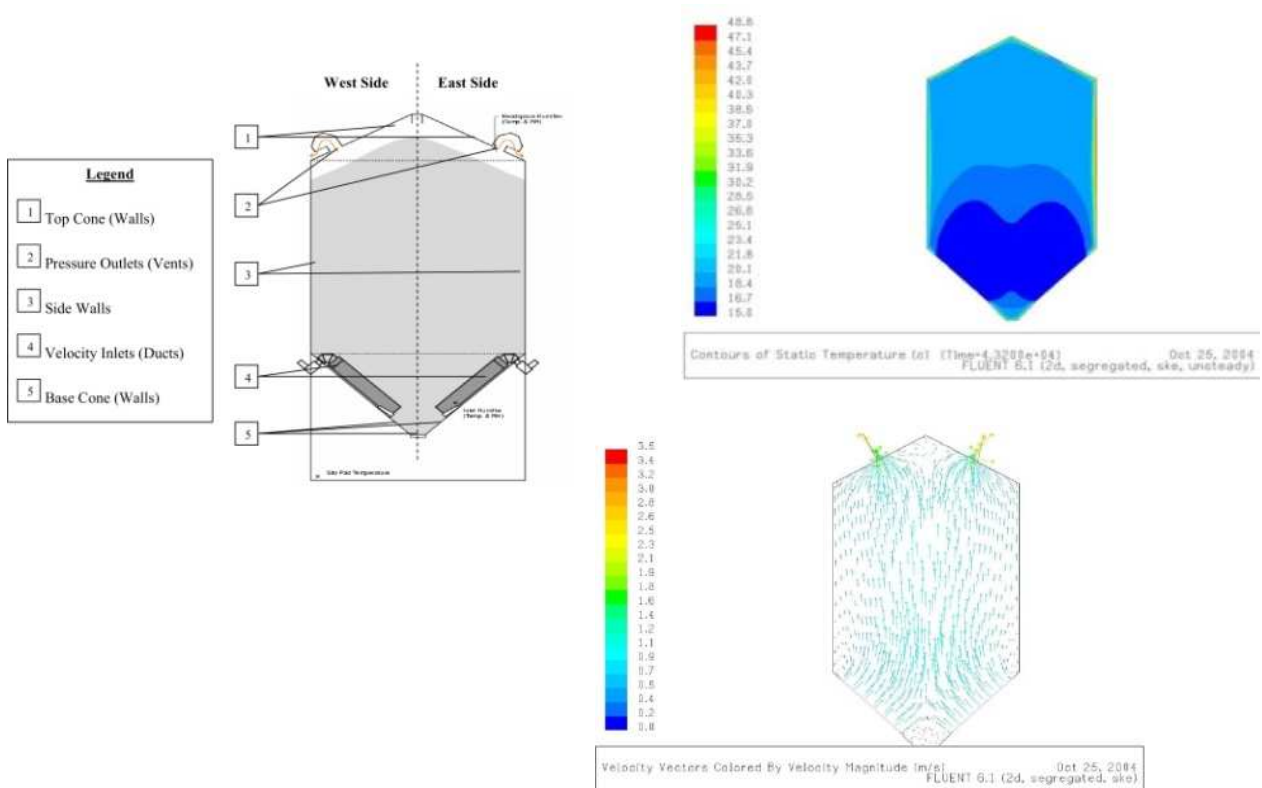


Omdat een wiskundig model waarop het CFD model is gebaseerd, geen rekening houdt met dergelijke opeenhopingen van vreemde materialen is het erg belangrijk om aanwezigheid ervan te voorkomen. Zo ook zal een gat in de wand van de silo veel effect hebben op de daadwerkelijke luchtstromen in de silo en de positie van een beluchtingfront; iets wat bij het voorspellen met een CFD model niet is ingecalculleerd.

Om de berekende voorspelling te toetsen is een vergelijking nodig met meetwaarden uit de graanopslag zelf. Dit kan gedaan worden door diverse sensorkabels hangend aan het plafond te voorzien van een veelheid aan sensoren. Het beeld dat ontstaat door vochtigheidsgehalte, temperatuur of luchtstroming te bekijken gemeten door sensoren die op gelijke hoogte hangen, geeft een indicatie of het beluchtingfront geheel/gedeeltelijk gepasseerd is. Deze informatie kan eventueel gebruikt worden om te bepalen hoe lang de ventilator aan moet blijven staan bij het volgende beluchtingfront.

Wanneer een berekende voorspelling veel afwijkt van de gemeten locatie van een beluchtingfront zou de beheerregelaar van de graansilo aan moeten geven dat er iets mis is met de partij graan in opslag en ook een bijbehorend advies doorgeven. Voorbeeld: een alarmerend sms wordt naar de beheerder verstuurd met de locatie en grootte van een opeenhoping van gedetecteerde schimmels.





Ter illustratie: in de figuur hierboven zijn een silo en met daarnaast voorspelling van temperatuurverloop en luchtstroming na een aantal dagen beluchten.

Deze technologie is nog niet zo ver ontwikkeld dat deze verkrijgbaar is in commercieel verkrijgbare silo beheerregelaars. Er verschijnen de laatste jaren meer onderzoeksartikelen over juist de toepasbaarheid van CFD modellen in de beluchting van graan en bij het drogen van graan. De tools die voor het modelleren nodig zijn worden steeds geavanceerder. Computers om dergelijke wiskundige modellen door te rekenen zijn nog te duur; iets dat in de nabije toekomst opgelost kan worden.

4 Conclusie

In dit onderzoek is gekeken naar praktijkrijpe innovaties betreffende de bewaring van graan in silo's. De essentie van precisiebewaring is beschreven en enkele op de markt aanwezige innovatieve graanbewaringssystemen, gebaseerd op technieken van precisiebewaring, zijn summier beschreven.

Opdrachtgevers kunnen we adviseren in het geplande vervolgproject (in veldproeven en demonstraties) graanbewaring uit te voeren met silo-beluchtingregelaars gebaseerd op:

- *Internal sensing controllers*
- *CFD modellen.*

De tweede groep is nog in ontwikkeling maar zal in korte tijd meer bruikbare systemen opleveren. Voorkeur heeft een onderzoek waarbij beide technologieën vergeleken worden op basis van praktijkproeven.

Bijlage 1. Literatuurlijst

- “Cereal Grain Drying and Storage”, Government of Alberta, Agriculture and Rural Development.
[http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/crop1204](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/crop1204)
- “Grain Drying, Handling and Storage Handbook” MWPS-13, Midwest Plan Service, Iowa State University. 1988. www.mwps.org
- “Grain Drying, Handling, and Storage Publications” North Dakota State University.
<http://www.ag.ndsu.nodak.edu/abeng/postharvest.htm>
- “On-Farm Grain Storage Costs: Consider All the Factors” University of Minnesota.
<http://www.bbe.umn.edu/extens/enotes/ensum99/onfarm.html>
- “Condominium Grain Storage” Iowa State University Ag Decision Maker file A2-36.
<http://www.extension.iastate.edu/agdm/crops/pdf/a2-36.pdf>
- “Cost of Storing Grain” Iowa State University Ag Decision Maker file A2-33.
<http://www.extension.iastate.edu/agdm/crops/pdf/a2-33.pdf>
- “The Economics of On-Farm Storage” MF-2474, Kansas State University Extension. 2007.
<http://www.ksre.ksu.edu/library/agec2/mf2474.pdf>
- “Renting On-farm Grain Storage” “What to do with All That Corn?” and “Grain Storage Challenges in Iowa for the 2005 Crop” Iowa State University Ag Decision Maker newsletter, October 2005.
<http://www.extension.iastate.edu/agdm/>
- NTEGRIS PRO. Automated Monitoring Alarm & Control System.
<http://www.advancedgrainmanagement.com/media/3206/integrispro.pdf>
- HGCA publication: “Grain Storage Guide -2nd Edition”, 2003
- HGCA signposts: “Best practice in grain storage for cereals and oilseeds”.
http://www.hgca.com/document.aspx?fn=load&media_id=5494&publicationId=4160
- R. Myhan, “Airflow modeling in a grain silo”. Techn. Sc., No. 12, Y 2009. Dept. of Agricultural Process Engineering, University of Warmia and Mazury in Olsztyn.
- “Question and Answers about Aeration Controllers”, MF-2090, Mei 2002. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service.
- D. Bartlett, D.M. Armitage, B.Harral, “Optimizing the performance of vertical aeration systems”,. HGCA Project Report No. 269. Januari 2002.
- Canchun Jia, Da-Wen Suna, Chongwen Cao. “Computer simulation of temperature changes in a wheat storage bin”. Journal of Stored Products Research 37 (2001). p. 165±177.
- D. de Carvalho Lopes et.al. “Aeration simulation of stored grain under variable air ambient conditions”, Postharvest Biology and Technology 42 (2006) p.115–120.

- D. de Carvalho Lopes et.al. "Aeration strategy for controlling grain storage based on simulation and on real data acquisition", Computers and Electronics in Agriculture. (2008).
- A. Charles, "Ambient Air Temperature Aeration Controller". Dissertation. 2006. Faculty of Engineering and Surveying, University of Southern Queensland.
- G. Faulker, "*Numerical Investigation Into the Aeration of Grain Silos*". Dissertation 2004. Faculty of Engineering and Surveying , University of Southern Queensland, Toowoomba, Australië.
- D. Garg, D.E. Maier. "*Modeling non-uniform airflow distribution in large grain silos using Fluent*", 9th Int. Workshop Conference on Stored Product Protection. Oktober 2006, Sao-Paulo, Brazilië.
- C. Jones, "*OSU Temperature activated automatic aeration controller*". Oklahoma State University. 2010
- C. Jones, J. Hardin, Factsheet. "BAE-1101 Aeration and Cooling of Stored Grain". Oklahoma State University. 2010
- L. Lawrence, J. Darby, "*New aeration system offers ultimate control*", . Farming Ahead February 2006 No. 169. www.farmingahead.com.au
- D.E. Maier, F.W. Bakker-Arkema, "Grain drying systems". Facility Design Conference of the Grain Elevator & Processing Society. (2002). St. Charles, Illinois,U.S.A..
- D. Maier et.al., "*Modeling airflow in outdoor grain pile aeration systems*". 9th Int. Working Conference on Stored Product Protection. Oktober 2006, Sao-Paulo, Brazilië.
- Navarro, S., R. Noyes, D. Armitage, and D. Maier. 2002. Objectives of aeration. In *The Mechanics and Physics of Modern Grain Aeration Management*, 1–34, ed. S. Navarro and R. Noyes. Boca Raton: CRC Press.
- D.A. de la Torre, R. Bartosik, E.D. Piñeiro. "Validation of a Simulation Model for Wheat Aeration in Argentina".Int. Comm.of Agricultural and Biological Engineers, Section V. Conference "Technology and Management to Increase the Efficiency in Sustainable Agricultural Systems", Rosario, Argentina, 1-4 September 2009.
- Vo Tan Thanh, E. Vranken, D. Berckmans, "Data-based mechanistic modelling of three-dimensional temperature distribution in ventilated rooms filled with biological material". *Journal of Food Engineering* 86 (2008) p.422–432.
- K.Vranckx, "Graanbewaring op het akkerbouwbedrijf", Katholieke Hogeschool Kempen. 2009
- C. Warrick, "*Keeping Aeration under control*", . Farming Ahead Maart 2010 No. 218. www.farmingahead.com.au
- J. Z. et.al., "The development of grain storage scientific and technical research in China and relevant theory exploration". 10th Int. Working Conference on Stored Product Protection. Estoril, Portugal, 2010