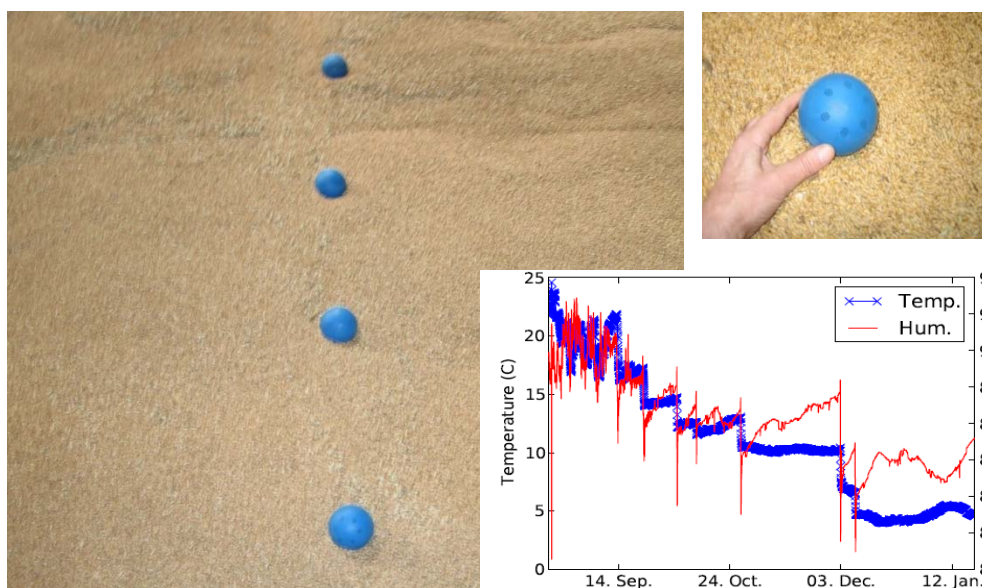




OVERVÅGNING AF KORN- LAGRE MED INTEGREREDE TRÅDLØSE SENSORER

Mechanical Engineering
Technical Report ME-TR-8



DATA SHEET

Titel: Overvågning af kornlagre med integrerede trådløse sensorer.

Undertitel: Mechanical Engineering

Serietitel og nummer: Technical report ME-TR-8

Forfattere: Erik Fløjgaard Kristensen¹⁾, Johannes Ravn Jørgensen²⁾ og Jakob Juul Larsen¹⁾

Institution:

¹⁾ Institut for Ingeniørvidenskab - Mechanical Engineering, Aarhus Universitet ²⁾ Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet

Internetversion: Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) på hjemmesiden for Institut for Ingeniørvidenskab, Aarhus Universitet <http://www.eng.au.dk>.

Udgiver: Aarhus Universitet©

URL: <http://www.eng.au.dk>

Udgivelsesår: 2014 Sideantal: 8

Redaktion afsluttet: Januar 2014

Sammenfatning:

Temperatur og fugtighed i korn og frø skal kendes for at sikre optimal styring af et tørringsanlæg og for at kontrollere, at lagringen sker uden kvalitetsforringelse. Resultaterne har vist, at trådløse sensorbolde kan anvendes til sikker måling af temperatur og fugtighed via måling af den relative luftfugtighed.

På grundlag af det kendte ligevægtsforhold mellem vandindhold i korn og frø og den omgivende lufts relative fugtighed og temperatur omregnes måleresultatet for de traditionelle kornarter og en række frøarter til afgrødens vandprocent. Måleresultaterne vedrørende vandprocent kan kun anvendes, når der ikke blæses i afgrøden. For at opnå brugbare resultater kræves minimum 3 timers stilstand.

En temperaturstigning i et parti korn eller frø skyldes ofte nedbrydning af varen og vækst af skadelige svampe. Hvis temperaturen eller fugtigheden stiger, registreres det via sensorboldene. Måleresultaterne kan direkte anvendes til at styre den nødvendige tørring og køling af afgrøden. Registreringerne vil ligeledes kunne anvendes til at dokumentere lagringsbetingelserne, eksempelvis ved krav om sporbarhed.

Der er i forsøgene anvendt et totrins datatransmission set-up, hvor en række sensorer enten direkte eller gennem en nabosensor sender data til en basestation, hvorfra data trådløst videresendes til en internetserver, således at resultaterne kan ses på brugerens computer. Systemet har fungeret uden problemer. Trådløse sensorbolde kan således være et godt alternativ til traditionelle systemer med faste målesensorer placeret i lageret og forbundet med kabler til en kontrolboks.

Emneord: Trådløse sensorer, lagring, korn, frø, temperatur, fugtighed.

Finansiel støtte: Denne publikation er udarbejdet som en del af et projekt der er støttet af NaturErhvervstyrelsen, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri. Projektet har modtaget finansiel støtte via erhvervsstøtteordning "Grønt Udviklings- og Demonstrationsprogram" (GUDP)

Bedes citeret: Kristensen, E.F. m.f. 2014. Overvågning af kornlagre med integrerede trådløse sensorer. Institut for Ingeniørvidenskab, Aarhus Universitet. - Technical report ME-TR-8

Forsidefoto: Erik Fløjgaard Kristensen

ISSN 2245-4594

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

OVERVÅGNING AF KORNLAGRE MED INTEGREREDE TRÅDLØSE SENSORER

Erik Fløjgaard Kristensen, Johannes Ravn Jørgensen og Jakob Juul Larsen

Aarhus University

Sammenfatning

Temperatur og fugtighed i korn og frø skal kendes for at sikre optimal styring af et tørringsanlæg og for at kontrollere, at lagringen sker uden kvalitetsforringelse. Resultaterne har vist, at trådløse sensorbolde kan anvendes til sikker måling af temperatur og fugtighed via måling af den relative luftfugtighed.

På grundlag af det kendte ligevægtsforhold mellem vandindhold i korn og frø og den omgivende lufts relative fugtighed og temperatur omregnes måleresultatet for de traditionelle kornarter og en række frøarter til afgrødens vandprocent. Måleresultaterne vedrørende vandprocent kan kun anvendes, når der ikke blæses i afgrøden. For at opnå brugbare resultater kræves minimum 3 timers stilstand.

En temperaturstigning i et parti korn eller frø skyldes ofte nedbrydning af varen og vækst af skadelige svampe. Hvis temperaturen eller fugtigheden stiger, registreres det via sensorboldene. Måleresultaterne kan direkte anvendes til at styre den nødvendige tørring og køling af afgrøden. Registreringerne vil ligeledes kunne anvendes til at dokumentere lagringsbetingelserne, eksempelvis ved krav om sporbarhed.

Der er i forsøgene anvendt et tottrins datatransmission set-up, hvor en række sensorer enten direkte eller gennem en nabosensor sender data til en basestation, hvorfra data trådløst videresendes til en internetserver, således at resultaterne kan ses på brugerens computer. Systemet har fungeret uden problemer. Trådløse sensorbolde kan således være et godt alternativ til traditionelle systemer med faste målesensorer placeret i lageret og forbundet med kabler til en kontrolboks.

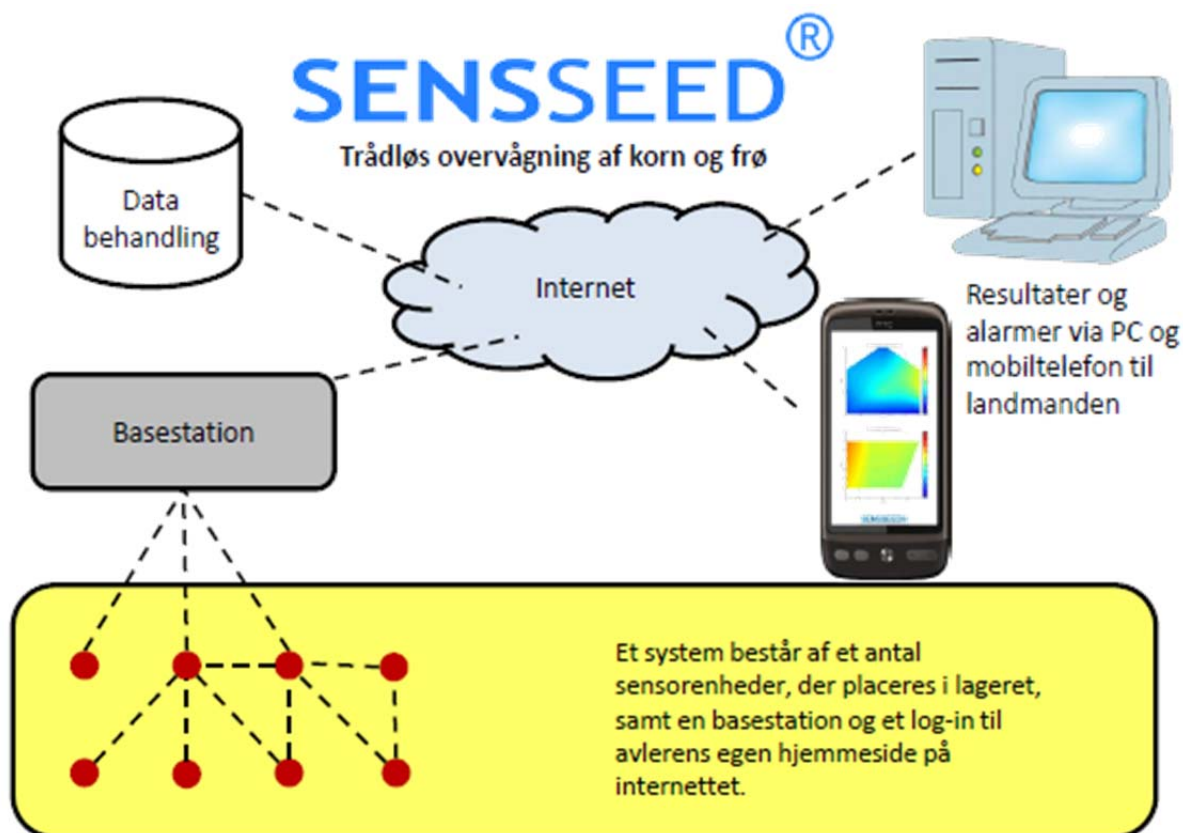
Indledning

Under lagring af korn og frø er det vigtigt at kunne overvåge varen for at sikre og dokumentere kvaliteten. Hertil findes flere forskellige typer og fabrikater af kontrolsystemer baseret på måling af temperatur, og i flere tilfælde også fugtighed. Netop temperatur og fugtighed er afgørende for, om korn og frø kan lagres uden forringelse af kvaliteten. Traditionelt har systemerne været med faste målesensorer placeret i lageret og forbundet med kabler til en kontrolboks.

I denne rapport beskrives funktionsprincippet samt resultater fra forsøg med et trådløst sensor netværkssystem for overvågning. Projektet, der danner grundlag for publikationen er gennemført i samarbejde med firmaet WEBSTECH ApS, som har udviklet systemet, og Aarhus Universitet, Institut for Ingeniørvidenskab og Institut for Agroøkologi.

Funktionsprincip og opbygning af anlæg

Den trådløse sensor netværksopsætning består af en række sensorbolde, som placeres i det oplagrede korn- eller frøparti. Sensorboldene har indbyggede temperatur- og luftfugtighedsmålere. Data overføres fra sensorboldene i afgrøden til en basestation uden for lageret. Signalet fra den enkelte sensorbold sendes enten direkte til basestationen eller via nabobolde, hvis dæmpningen i kornet er for stor. Basen er både en modtagerstation og sendeenhed, som videresender data via internettet til en central computer. Resultater og alarmer sendes herfra tilbage til brugerens PC og/eller mobiltelefon. Funktionsprincippet er vist i figur 1.



Figur 1: System til trådløs overvågning af kornlager. Funktionsprincip og hovedkomponenter i anlægget.

Med de trådløse sensorer er der ingen mulighed for anvendelse af elektricitet fra nettet. Strømforsyningen baseres på batterier, og her er det nødvendigt med et system som giver sikker drift og lang levetid uden udskiftning eller genopladning af batterierne. Korn og frø gemmes ofte i en periode på op til et år.



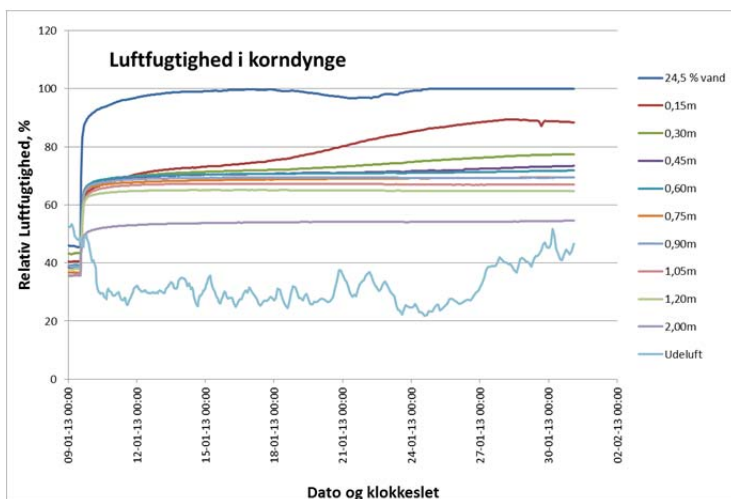
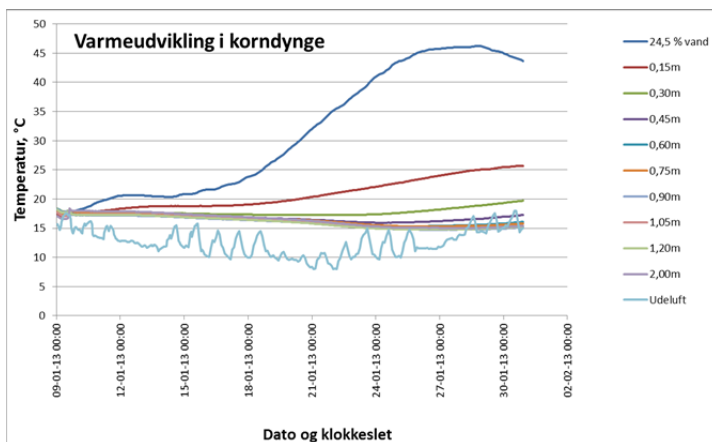
Figur 2. Sensorbold med måleelektronik og sendeenhed. Til højre samlet bold klar til placering i korndyngge.

I dette system anvendes 3,6 volt og 1200 mAh AA batterier og en MSP430 mikroprocessor med en sendefrekvens på 433 MHz. Måleenheden er en kombineret temperatur- og luftfugtighedsmåler. Batteriernes levetid er afhængig af det valgte måle- og sendeinterval. Med en intervalltid på 1 time, som er tilstrækkelig for overvågning og kontrol af korn og frø, har forsøg i praksis vist at de anvendte batterier har tilstrækkelig kapacitet.

Praktisk brug af sensorbolde

Er korn eller frø ikke tilstrækkelig tørt til stabil lagring, vil der ofte ske en temperaturstigning i materialet. Stigningen i temperatur skyldes nedbrydning af korn eller frø på grund af biologisk aktivitet i form af ånding, begyndende spiring og måske også vækst af svampe. Sensorboldene registrerer løbende temperatur og den relative luftfugtighed med forud indstillede tidsintervaller. Aflæsning af temperaturen kan umiddelbart anvendes til at konstatere, om der sker en uønsket udvikling som kræver afhjælpning i form af eksempelvis køling, tørring eller omrøring. Den relative luftfugtighed kan relateres til vandindholdet i det lagrede korn eller frøparti. Materialets vandindhold og luftens relative luftfugtighed vil indstille sig i et bestemt ligevægtsforhold, således at den målte luftfugtighed, såfremt der ikke blæses eller tørres i materialet, er et udtryk for vandprocent i materialet. Der findes omregningsformler og tabeller for en lang række korn- og frøarter, og for hvede, byg, havre, rug, raps, rajgræs og spinat er der i systemet indlagt automatisk omregning til aktuel vandprocent i afgrøden ud fra målingerne af temperatur og relativ luftfugtighed.

For at få et billede af forholdene i hele lageret skal der indlejres et passende antal sensorbolde i lageret. Med henblik på at belyse hvor stor afstand mellem sensorerne, der er acceptabel for at registre en varmeudvikling fra en lomme med fugtigt korn, blev 50kg fugtigt korn, 24,5 pct. vandindhold, indlagt i et parti tørt korn, 14,5 pct. Over en periode på 3 uger blev registreret temperatur og fugtighed i forskellig afstand fra det fugtige korn. Resultatet er vist i figur 3.

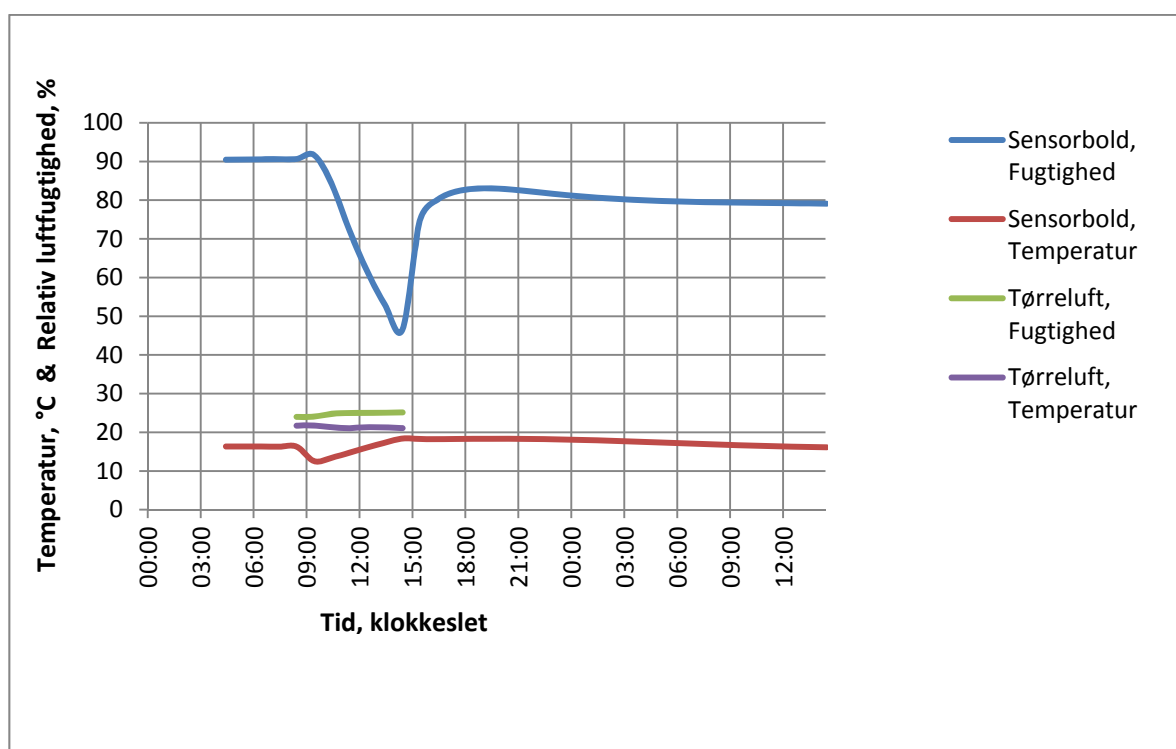


Figur 3. Lomme med fugtigt korn. Ændring i temperatur og fugtighed over tid i forskellig vandret afstand. Øverste kurve er måling i det fugtige korn, mens de øvrige kurver viser temperatur og fugtighed målt fra 0,15 til 2,00 meters afstand fra det våde korn.

Det ses af figuren, at temperaturen i det fugtige korn efter 2-3 døgn steg til ca. 20 °C, og at der her var en tydelig effekt i form af øget temperatur 0,15m fra det fugtige korn. Efter henholdsvis 9 og 15 døgn kunne der registreres svag øgning af temperatur i 0,30 og 0,45m afstand fra det fugtige korn, mens der i 0,60m og større afstand ikke kunne ses temperaturstigning. I det fugtig korn blev den højeste temperatur på 46°C målt efter 15 - 18 døgn, hvorefter temperatur var svagt faldende. Et tilsvarende forløb fremgår af graferne for relativ luftfugtighed. Ved forsøgets start var den relative luftfugtighed i det tørre korn 65-70% svarende til et vandindhold i kornet på ca. 15%, mens den relative fugtighed målt i det fugtige korn var næsten 100%, hvilket er i god overensstemmelse med kornets vandindhold på 24,5%. Sensoren placeret 0,15m fra det våde korn viste øget fugtighed efter 2-3 døgn, mens der efter henholdsvis 10 og 15 døgn kunne registreres

svagt stigende værdier i 0,30 og 0,45m afstand, og sidst i forløbet også en lille stigning i 0,6m afstand. For sensorerne placeret i større afstand blev der ikke registreret nogen effekt.

Sensorboldene registrerer luftens temperatur og fugtighed, og således ikke direkte kornets tilstand. Ved tørring eller køling blæses der luft gennem kornet, og data fra sensorerne vil her ikke direkte kunne relateres til kornets tilstand. Stoppes blæseren, vil der efter en stilstandsperiode opstå ligevægt, således at temperaturen i luften svarer til kornets temperatur, og den relative luftfugtighed svarer til kornets ligevægtsvandindhold og hermed vandprocenten i kornet. I figur 4 er vist et eksempel på forløbet ved ventilering af en korndynge. Tørreluftmængden svarer til en lufthastighed på 0,1 m pr sekund. Vandindholdet i kornet var 21% før start af tørreblæseren.



Figur 4. Data fra sensorbold under tørring/ventilering af korn. I perioden fra klokken 8:30 til 14:30 ventileres korndynge med 21°C varm luft med en relativ luftfugtighed på ca. 25%.

Det ses, at den registrerede relative fugtighed fra sensorbolden (blå kurve) falder straks efter at der blæses tør luft ind i kornet, og nærmer sig kurven for relativ luftfugtighed i tørreluft (grøn kurve). Den registrerede temperatur fra sensorbolden (brun kurve) falder efter start af blæser, og nærmer sig efter en periode temperaturen i indblæsningsluften (turkis kurve). Temperaturfaldet ved opstart af ventileringen skyldes, at der fordampes vand fra kornet og at der medgår varme til denne vandfordampning. Efter stop af blæser sker der ikke væsentlig ændring i temperaturregistreringen fra sensorbolden. Den registrerede fugtighed ændrede sig væsentlig efter stop af blæseren og stabiliserede sig på omkring 80%, svarende til kornets vandindhold på 18% efter ca. 10 timer. Dog således, at der efter ca. 3 timer kun forekom små ændringer i den målte fugtighed. Forsøget viser således at der minimum skal være 3 timers stilstand før de

registrerede data kan anvendes til bestemmelse af kornets tilstand og eventuelt til styring af tørringsanlæg eller beluftsventilatorer.

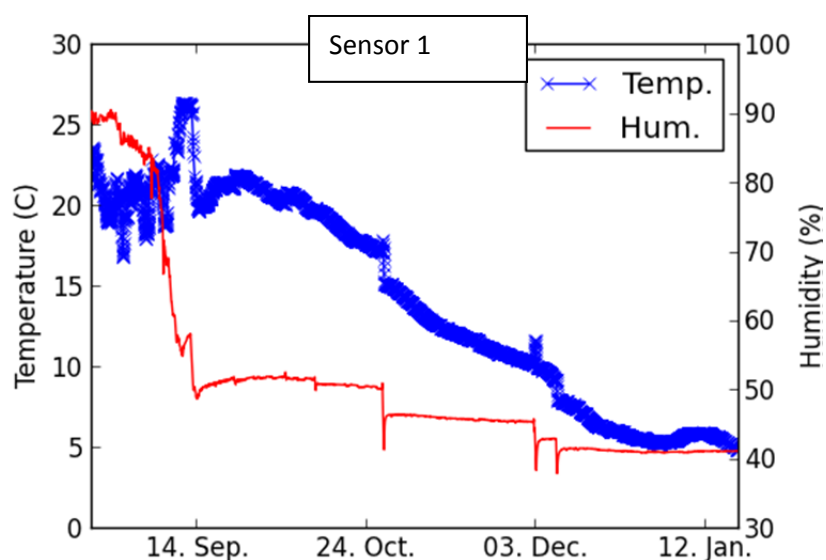
Resultater fra overvågning af kornlagre med byg til malt og fremavl, fra høst og frem til salg af kornet det efterfølgende forår, er vist i tabel 1. Der er udtaget prøver af kornet til kvalitetsbestemmelse ved de enkelte sensorbolde, og eksempler er vist i tabellen.

Tabel 1. Kvalitet af korn ved indlægning på lager og frem til medio januar der følgende år.

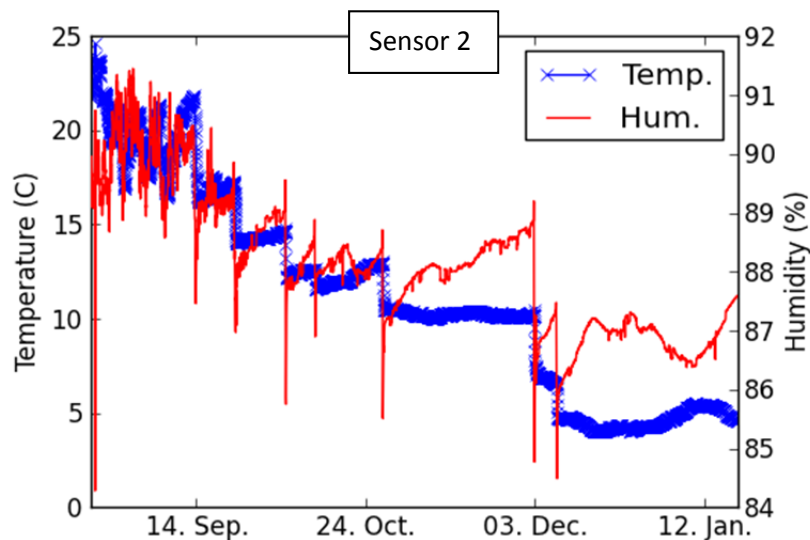
Sensor nr.	Prøvedato	Vandpct.,%	Protein, %	Spirepct.% ¹⁾
1 (651)	Uge 33/34	18,4	10,7	-
	1. november	12,0	10,1	97
	15. januar	12,1	10,7	99
2(658)	Uge 33/34	18,7	10,9	-
	1.november	17,7	10,3	95
	15. januar	18,3	10,1	92
3(9898)	Uge 33/34	13,8	9,9	-
	8. november	12,6	9,9	99
	15. januar	12,7	10,0	99

¹⁾ Spireprocent bestemt i henhold til AUBRY efter 3 døgn.

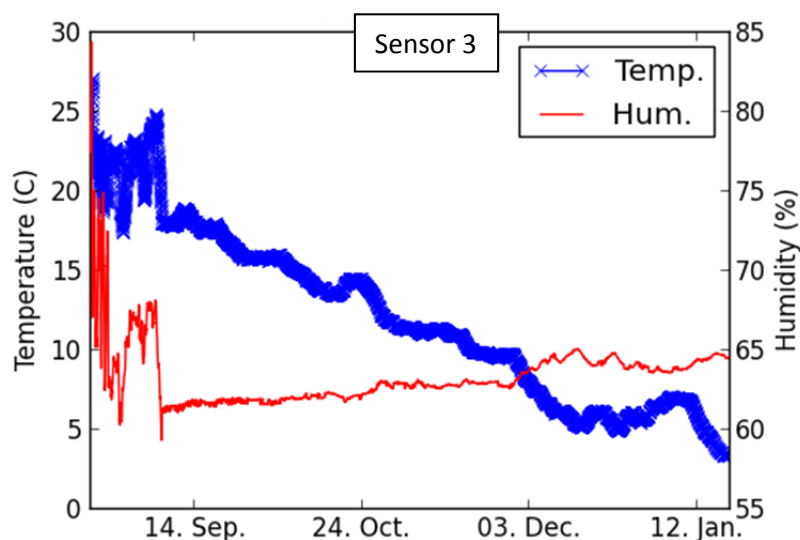
Sensor 1 og 2 var placeret i et planlager med ca. 6.000hkg fremavlsbyg, hvor det gennemsnitlige vandindhold ved indlægning var 17,5 procent i gennemsnit varierende fra 15,2 til 18,8 procent. Kornet blev løbende tørret og beluftet gennem lagringsperioden, således at vandindholdet var 14,0 procent i gennemsnit den 15. januar. Sensor 3 var placeret i planlager med ca. 1.200hkg maltbyg, hvor vandindholdet ved indlægning var 14,1 procent i gennemsnit, varierende fra 14,8 til 13,8 procent. Kornet blev beluftet og kølet ned i løbet af efteråret, og vandindholdet var 15. januar i gennemsnit 12,7 procent. Måleresultaterne for temperatur og relativ luftfugtighed fra de 3 sensorer er vist i figur 5 – 7.



Figur 5. Temperatur og luftfugtighedsforløb i kornlager med fremavlsbyg. Kornets vandindhold faldende fra 18,4% ved indlægning til 12,1% ved forsøgets afslutning.



Figur 6. Temperatur og luftfugtighedsforløb i kornlager med fremavlsbyg. Kornets vandindhold var 18,7% ved indlægning og 18,3% ved forsøgets afslutning.



Figur 7. Temperatur og luftfugtighedsforløb i kornlager med maltbyg. Kornets vandindhold faldende fra 13,8% ved indlægning til 12,7% ved forsøgets afslutning.

De store udsving, som ses specielt på grafen for fugtindhold, forekommer ved start af blæser ved køling eller ventilering af kornet.

Sensor 1 og 2 var begge placeret i korn med høj vandprocent ved forsøgets start. Kornet ved sensor 1 blev efter indlægning nedtørret, således at vandindholdet ved prøveudtagningen den 1. november var 12 procent. Kornet ved sensor 2 blev derimod ikke tørret i væsentlig grad, og vandindholdet var ved forsøgets afslutning fortsat højt, ca. 18 procent. Af figur 6 ses det, at der i perioderne mellem køling eller ventilering forekom stigning i fugtigheds- og temperaturmålingerne fra sensorbolden. Af kvalitetsanalyserne fremgår det, at der i kornet ved sensor 1 var høj spirevitalitet ved forsøgets afslutning, mens der var væsentlig dårligere spireprocent i det utilstrækkeligt tørrede korn ved sensor 2. Sensor 3 var placeret i tørt korn med

en høj spireprocent, som kun blev kølet 4-5 gange i løbet af lagringsperioden. Kvaliteten og spireprocenten var meget høj også ved forsøgets afslutning. Der ses således klar sammenhæng mellem måleresultaterne fra sensorboldene og kvalitetsændringerne i kornet.

Konklusion

Trådløse sensorbolde kan anvendes til sikre målinger af temperatur og fugtighed i korn- og frølagre.

Der er i forsøgene anvendt et totrins datatransmission set-up, hvor en række sensorer enten direkte eller gennem en nabosensor sender data til en basestation, hvorfra data trådløst videresendes til en internetserver, således at resultaterne kan ses på brugerens computer. Systemet har fungeret uden problemer. Trådløse sensorbolde kan således være et godt alternativ til traditionelle systemer med faste målesensorer placeret i lageret og forbundet med kabler til en kontrolboks.

Kristensen, E. F., Jørgensen, J. R. og Larsen J. J.:

Titel: Overvågning af kornlagre med integrerede trådløse sensorer, 2014