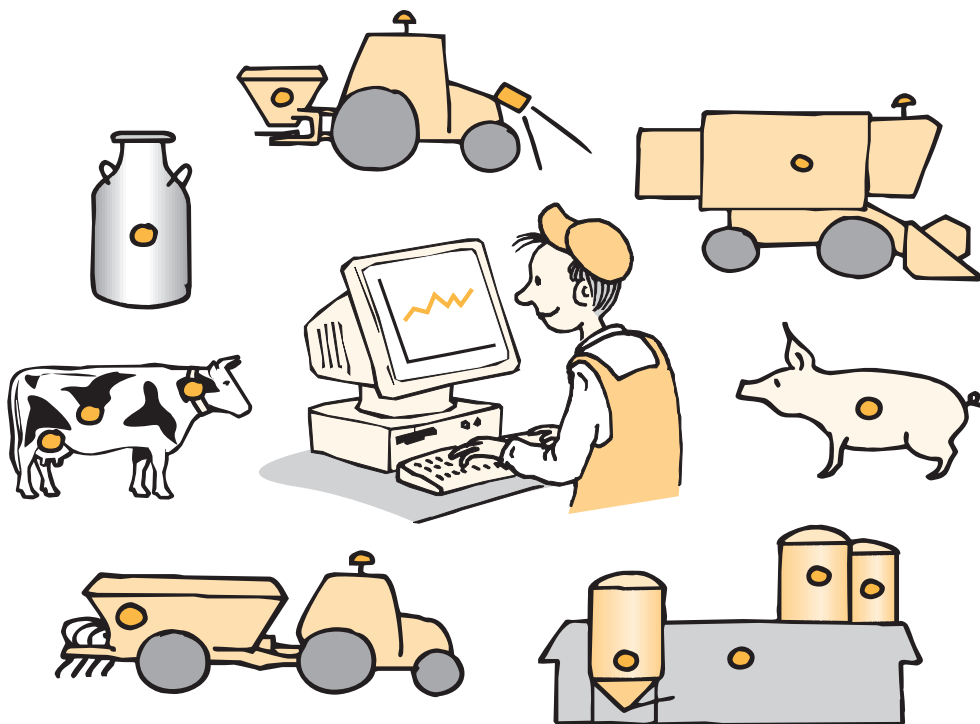


TEKNIK FÖR LANTBRUKET

89

Sensorrika system på gården

Christel Benfalk, Mikael Gilbertsson, Mats Gustafsson
& Lars Thylén



Institutet för jordbruks- och miljöteknik

2001

Sensorrika system på gården

Allt högre krav på god kvalitet, hög avkastning och kvalitetssäkring ställs på dagens jordbruksprodukter, samtidigt som miljöbelastningen ska minska. Sensorer, som mäter och registrerar olika värden, blir därför ett allt viktigare redskap inom jordbruket.

Med sensorrika system kommer man att kunna mäta kvaliteten på spannmål eller mjölk on-line, direkt på gården. Då kan jordbrukaren/mjölkbonden undvika ekonomiska förluster samtidigt som konsumenten får en kvalitetssäkrad råvara. Vidare blir mätning av avkastning ute på fältet ett direkt svar på om en differentierad insats givit effekt, vilket skonar miljön från onödiga utsläpp. Inom djurproduktionen kan sensorer kontrollera djurens hälsotillstånd genom att mäta flera faktorer.

JTI forskar kring sensorer, här sammanfattas såväl dagsläget som visioner.

Varför sensorer i jordbruket?

Skälen till att använda sensorer inom jordbruket är många. Teknisk kvalitet i form av proteinhalt och bakningsegenskaper i spannmålen kommer att värderas högre, liksom den hygieniska kvaliteten på exempelvis mjölk, ägg och kött. Därtill förstärks den internationella konkurrensen med en stark prispress.

Jordbruket ställs alltså inför en lång rad utmaningar. För att möta konkurrensen krävs en allt effektivare produktion – som samtidigt måste vara miljövänlig med mindre emissioner och minskat läckage av näringsämnen samt ge högkvalitativa, hälsosamma produkter med hög hygienisk standard. Konsumenterna kommer också kräva spårbarhet i livsmedelsproduktionen som i

vissa sammanhang är förknippad med kvalitet.

För att kunna säkerställa produkternas kvalitet krävs bättre möjligheter att mäta och registrera – både inom växtodlingen och animalieproduktionen.

Med sensorsystem kan man mäta variationer i mark, exempelvis pH eller basmättnadsgrad. Utifrån resultaten kan lantbrukaren optimera

tillförseln av tillsatsmedel, till exempel kalk. Men även om man optimerar tillförseln av insatsmedel kommer ändå slutproduktens kvalitet att variera eftersom vissa odlingsbetingelser, speciellt vädret under odlingssäsongen, inte kan påverkas. Därför är det intressant att med sensorrika system mäta produktkvaliteten på exempelvis spannmål och potatis.

Kvalitetssäkring med sensorer

Proteinhalten i spannmål, som sätter värdet på grödan, har mätts i ett antal forskningsprojekt med god framgång. Inom mjölkproduktionen har fett- och proteinhalt i mjölk mätts men värdet av att kunna mäta detta on-line har inte ansetts vara tillräckligt intressant. Däremot vore det önskvärt att kunna mäta celltalet med sensorer – dels för att spåra mastit, dels för att mäta mjölkens kvalitet. Många försök har gjorts för att ta fram teknik för detta, men ingen har varit tillräckligt tillförlitlig för att kunna ge säkra resultat.

Även om det genomförts många forskningsprojekt med sensorer så finns förvånansvärt få av dem på marknaden. En av orsakerna är den tuffa jordbruksmiljön med mycket damm, fukt och temperaturväxlingar. I dagsläget är sensorer även kostsamma.

Vad kan sensorer mäta?

- **Produktkvalitet** – spannmål, potatis, vall, mjölk, kött
- **Avkastning** – spannmål, potatis, mjölk, kött
- **Variation/aktivitet** – markens egenskaper samt hälsotillstånd hos djur
- **Miljöeffekter** – ventilation i stall, gödselhantering, lukt

Bild 1. Forskning pågår för att anpassa sensorerna till jordbruksmiljön med damm, fukt och vibrationer. Idag finns teknik för att mäta avkastning on-line på skördetröskor. Det finns dock inget system på marknaden för mätning av spannmålskvalitet på fält, men utvecklingsprojekt pågår. Även inom mjölkproduktionen skulle sensorer kunna mäta kvalitet, genom att spåra exempelvis celltal. På bilden syns en proteinsensor.



Definition av sensorer

Ordet sensor kommer från engelskan, troligen av sense – ”känna av”. Sensor är en anordning som känner av absolutvärdet eller ändringen av en fysikalisk storhet, exempelvis tryck, temperatur, flödes hastighet eller pH-värde, samt även intensiteten för ljus, ljud eller radiovågor. Sensorn omvandlar där efter informationen till en form som lämpar sig för ett datainsamlade system.

Sensor kan även vara en annan benämning på en givare och inkluderar då även signalbehandling; ibland används termen enbart för den primära omvandlaren. Givaren är en anordning för omvandling av ett värde av en fysikalisk storhet till ett värde av en annan storhet, till exempel vikt till elektrisk spänning. Normalt sker omvandlingen av en godtycklig fysikalisk storhet till en elektrisk spänning, ström eller impe-

dans. Skälet till detta är att en elektrisk storhet lätt kan omvandlas, signalbehandlas och överförs på stora avstånd.

Industriellt viktiga är bland annat töjningsgivare för mätning av töjning, kraft, med mera, samt olika typer av givare för mätning av temperatur och flöde. I begreppet givare inkluderas vanligen även signalbehandlingsdelen; i nutida mätteknik har ofta själva omvandlarelementet och signalbehandlingselementet integrerats på samma kiselbricka. Förutsättningen för denna integration är den under senare år utvecklade mikromekniken, en teknik att konstruera mekaniska strukturer i kisel. Då en stor del av signalbehandlingen sker i själva givaren och en mindre del i en central dator talar vi om ”intelligenta givare”. (Källa NE)

Sensorer som mäter med NIR och NIT

Mätning med NIR (Near Infrared Reflectance) innebär att en produkt belyses med ljus av olika våglängder. Ljuset som används kan både vara synligt, nära infrarött och infrarött ljus. Vid bestämning av en produkts egenskap med NIR belyses produkten med ljus av olika våglängder och det reflekterade ljuset registreras. Det reflekterade ljuset används för beräkning av produktens egenskap, till exempel vattenhalt.

Med en liknande teknik benämnd NIT (Near Infrared Transmittance) belyses ett prov men istället för att registrera reflekterat ljus så registreras den mängd ljus som går genom provet. Om ljus av högre våglängd används brukar man tala om MIR (Mellan Infrarött ljus) och IR (Infrarött ljus). Inom lantbruket bestäms bland annat spannmåls vatten- och proteinhalt; mjölks fett- och proteinhalt med NIR-MIR.

VÄXTODLING

Mäta produktkvalitet

Spannmål

I Sverige får lantbrukarna delvis betalt efter kvaliteten, bland annat proteinhalten i spannmålet. Kvaliteten på spannmål kan variera mycket över ett fält och en liten defekt i ett stort parti kan sänka hela partiets värde. Studier vid JTI visar att det finns en ekonomisk vinning i att sortera spannmål i olika kvalitetsfraktioner.

Ju tidigare i kedjan som man känner till kvaliteten desto större är chansen att man hanterar och sorterar spannmålen på bästa sätt. Därför är det en fördel att mäta proteinhalten kontinuerligt under själva tröskningen på fältet. I dag finns inget kommersiellt sys-

tem för mätning av spannmålskvalitet on-line, men utvecklingsprojekt pågår.

JTI har utvecklat en proteinsensor som mäter proteinhalten i samband med skörd, ute på fält. Sensorn, som bygger på NIT-teknik och placeras på skördetröskans kedjelevator, har körts under en säsong och har fungerat bra. Se mer i rutan nedan.

JTI:s proteinsensor för tröskor kan även mäta vattenhalt med en hög precision. Vattenhalten har stor betydelse för lagringsduglighet samt för tröskans kapacitet. Flera trösktillverkare kan idag erbjuda vattenhaltsmätning on-line. Metoderna är både snabba och enkla och förstör inte kärnorna.

JTI-projekt mäter proteinhalt med NIT-sensor

NIT-sensorn (Near Infrared Transmittance) som använts i JTI:s projekt är utvecklad för manuell provtagning av spannmål och kan, till skillnad från dagens laboratorieutrustning, enkelt bäras med i fält. För att kunna användas på en skördetröska byggdes sensorn om och installerades i ett provtagningssystem. Det är viktigt att sensorn placeras så att den avdämps från vibrationer. Något annat som stör mätningen är ljus, varför sensorn måste monteras så att ljus inte släpps in på mätinstrumentet.

När NIT-instrumentet används fylls en mätkammare med spannmålsskärnor varefter ljus i olika våglängder lyser på spannmålsskärnorna. Kärnornas proteininnehåll och vattenhalt påverkar mängden ljus som passerar genom spannmålsskärnorna och utifrån mängden transmitterat ljus beräknas proteinhalten. Proteininnehållet registreras efter mätningen, varefter en lucka öppnas och spannmålen lämnar mätkammaren ut i elevatoren (bild 2).

Hela provtagningssystemet, som monteras på en skördetröska, består av en handdator/logger, en NIT-sensor, en PLC samt en GPS för positionering på fält. PLC:n styr systemet genom att öppna respektive stänga in- och utsläppsluckorna. Mätdata från NIT-sensorn lagras i handdatorn.

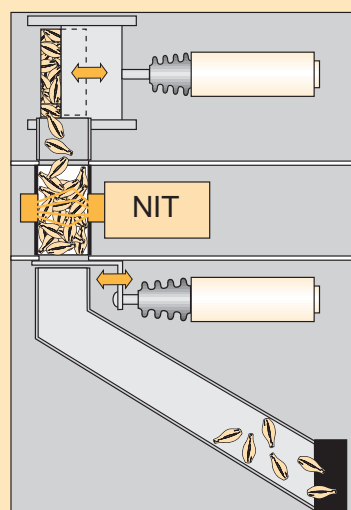


Bild 2. NIT-sensorn mäter proteinhalten genom att lysa nära infrarött ljus genom spannmålsskärnorna. När detta görs on-line på skördetröskan på fält finns möjlighet till tidig kvalitetssortering.

Potatis

För att potatisen inte ska ruttna vid lagring är det viktigt att rensa bort jordkokor och sten. Agec AB har utvecklat en sorterare som skiljer bort jord och sten från potatis med hjälp av elektropneumatiska styrda fingrar. För att kunna skilja potatis från jord och sten används ett sensorsystem som registrerar hur NIR (nära infrarött ljus) reflekteras från föremålen på transportbandet.

Forskare har också tagit fram metoder för att storlekssortera potatis. Med infrarött ljus belyses potatisen horison-

tellt och vertikalt för att sedan viktbestämma potatisen. Systemet är snabbt och bättre än konventionella sällsorterare. Ett annat system för storleksortering finns där avsyningen sker med laser. Metoden är snabb och har en mycket hög precision.

Ett antal tekniker finns kommersiellt tillgängliga för att bestämma en produkts inre kvalitet. Användning av UV-ljus, synligt och nära infrarött ljus har visat sig vara mest lovande för att bedöma ihållighet, mognadsgrad, missfärgning, torrs substans, cellskador och vattenanrikning.

Mäta avkastning

Det mest grundläggande inom precisionsjordbruk är att mäta avkastning. Med fakta om avkastningen kan man ta reda på varför skörden varierar på olika ställen. Det kan också vara en feedback för att se om en differentierad insats givit effekt.

Spannmål

Utvecklingen av avkastningsmätande sensorer började på tröskor för spannmål. Idag finns många olika sorters skördekarteringssystem ute på marknaden. Avkastning mäts on-line på skördetröskan, i eller direkt efter spannmålslevatorn.

Vid avkastningsmätning är det viktigt att ta bort data som inte är riktig. Hastighet och den tid det tar för kärnan att nå sensorn i elevatoren tar alla system hänsyn till idag. Däremot är också data som aktuell skärvidd viktig och tveksamma mätvärden måste rensas bort.

Potatis

Det vanligaste sättet att registrera avkastning vid skörd av potatis är att bygga in en bandvåg i potatisupptagaren. Sådana system har funnits kommersiellt tillgängliga under fem år. Denna teknik kan naturligtvis även användas för att registrera avkastningen på andra skördemaskiner försedda med transportband.

Det finns även optiska metoder för att mäta avkastning av potatis. Meto-

derna bygger på att materialströmmen exponeras för en ljuskälla och mängden utsläckt ljus registreras med en kamera. Den registrerade bilden analyseras därefter i en dator och från den tvådimensionella bilden beräknas potatisens vikt. Fördelen med detta system är att man förutom avkastningen också erhåller storleksfördelningen hos potatisen.

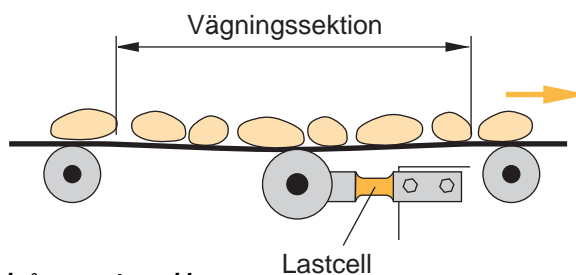


Bild 3. En bandvåg monterad i potatisupptagaren är idag det vanligaste sättet att mäta avkastning.

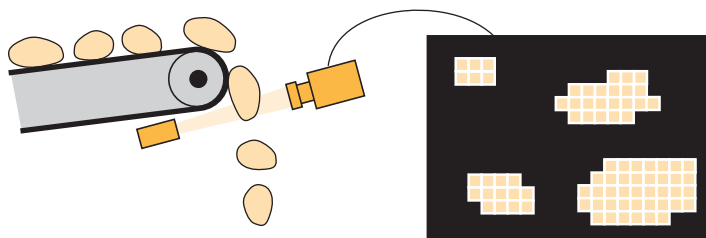


Bild 4. Optisk metod för mätning av potatisavkastning. Ljuskällan bryts varje gång ett föremål passerar och en sensor registrerar det utsläckta ljuset.



Foto: Per-Anders Algerbo

Bild 5. En optisk sensor har monterats på en potatisupptagares elevator. Sensorn mäter avkastningen i fält. Med en GPS fås positionen för varje registrering. Eftersom mycket av avkastningsskillnaderna kan härledas till markvatteninnehåll kan avkastningen eventuellt höjas genom precisionsbevattnings.

JTI-forskning för skördekartering av potatis med optisk sensor

Under åren 1997-2000 har JTI i fältförsök testat en ny optisk sensor som kan mäta avkastning i potatisfält vid skörd. Den optiska sensorn har monterats på potatisupptagare vid elevatoren till tanken för att kunna fastställa potatis-skördens storlek och variationer över fältet. Sensorn räknar och storleksbestämmer varje enskild potatisknöl under fallet ned i tanken på maskinen. Samtidigt bestäms upptagarens position på fältet med GPS-teknik.

Sensorn består av en digital kamera som registrerar ytan hos föremål som passerar en ljusramp. Kapaciteten för en 50 cm bred ramp är upp till 200 föremål (potatisknölar) per sekund. Data registreras en gång per sekund och samlas i en logger för vidare behandling.

Mäta markvariationer

Känner man till variationer i marken kan lantbrukaren optimera tillförseln av tillsatsmedel som kalk, kväve och fosfor vilket sparar pengar, är bra ur miljösynpunkt och kan förbättra produkternas kvalitet.

Kväve är en parameter som varierar mycket över tiden då kväveminaliseringen är en kontinuerlig process. En sådan parameter är därför viktig att mäta i eller nästan i realtid.

Parametrar som mullhalt och pH däremot är relativt stabila över tiden och kan bestämmas mer sällan, varför realtidsmätning inte är nödvändig.

Idag registreras markvariationer genom att jordprover tas och skickas på analys, vilket tar tid och är kostsamt. För att informationen ska bli värdefullare blir det allt vanligare att jordprovtagningen positionsbestäms.

För att reducera markkarteringskostnaderna är utvecklingen av marksensorer ett av de största forskningsområdena inom vegetabilieproduktionens teknik. Markkartering med hjälp av sensorer ger flera fördelar: de är snabba, medger högre provtagnings-täthet och lägre karteringskostnader.

Mullhalt

Att känna till mullhalten är viktigt för dosberäkning av herbicider och det ingår även som en parameter i kväveberäkningsmodeller. Mullhalten varierar relativt mycket inom ett fält och stora kostnadsbesparingar kan göras om rätt dos av markherbicider läggs på rätt plats. Studier visar att upp till hälften av preparatmängden kan sparas in om dosen beräknas rumsligt efter mullhalt, textur och ogräskonkurrens.

Eftersom jord med hög mullhalt har en mörkare färg har de flesta forskare valt optiska metoder för att mäta mullhalt, bland annat med NIR-sensorer. Den typen av sensor klarade bra att förutsäga mullhalten i laboriemiljö, vid fältförsök däremot rörde sig sensorn under mätning vilket störde mätresultaten. Efter att sensorn designades om fungerar den bättre, dock krävs jordar med relativt stor variation i mullhalt för att sensorn ska fungera bra.

Vattenhalt

När det gäller bevattning är det idealiska att varje del av fältet får precis den mängd vatten som ger optimal avkastning. För att kunna styra bevattningsinsatserna krävs kunskap om var bevattning behövs och i vilken mängd. Detta kan bestämmas via mätningar av markvattenhalten med sensorer över hela fältet.

Flera forskare har visat på god överensstämmelse mellan NIR och vattenhalt. I dag är det möjligt att mäta vattenhalten on-line. En nackdel är dock att NIR endast kan mäta markfukten på ytan. Den vanligaste sensorn för att mäta vattenhalt i mark är TDR-sensorn (time domain reflectance). Nackdelen med denna sensor är att mätningen inte är beröringsfri utan ett spett måste tryckas ned i marken.

Näringsämnen och pH

Vissa näringsämnen måste mätas varje år, andra kan mätas mer sällan. Framför allt har forskningen fokuserats på kvävesensorer eftersom kostnadsbesparingarna är stora om kvävet kan optimeras. Att kvävet hamnar på rätt plats är också viktigt ur miljösynpunkt eftersom överskottskväve annars läcker ut i vattendrag.

pH-värdet är också en mycket viktig parameter för att grödan ska ha en optimal tillväxt. För att

höja pH-värdet på fältet är det brukligt att kalka upp till optimalt pH-värde. För att kunna optimera kalktillförseln rumsligt krävs en utveckling av mark-sensorer som mäter on-line. Även internationellt efterfrågas i första hand sensorer som mäter markens pH-värde eller basmättnadsgrad (ett värde som anger kalkbehovet för att uppnå ett visst pH-värde) on-line.

Att mäta halten av näringsämnen har visat sig vara svårt. Jonselektiva elektroder kan användas för att mäta koncentrationen av näringsämnen. Noggrannheten är bra men om jordprover måste samlas in på traditionellt vis blir metoden för kostsam. Vissa forskare har provat att göra de jonselektiva elektroderna till system för mätning on-line. Gällande pH-värdet var ISFET-sensorn mest lämpad för fältmätning eftersom den är robust och har en snabb responstid.

NIR-teknologi har använts för att mäta kväve, vilket fungerade bra vid höga kvävekoncentrationer men vid låga koncentrationer av total N fungerade sensorn sämre. Inget av dessa system har kunnat kommersialiseras.



Foto: Mikael Gilbertsson

Bild 6. Med en elektromagnetisk sensor registreras variationen av markens elektriska ledningsförmåga. Informationen sätts i samband med andra markparametrar som lerhalt och mullhalt. Tillsammans med exempelvis skördekartor och lantbrukarens egna iakttagelser kan analys av fältet göras som sedan ligger till grund för beslut om eventuella insatsstyrningar.

Fysikaliska egenskaper hos jordar
Jordens struktur påverkar plantans tillväxt. Forskare har prövat att mäta struktur och packningsskador med sensorer. De optiska sensorerna behöver inte ha kontakt med jorden vid mätning och har fungerat bra i den tuffa miljön. Dragkraftssensorer, monterade på jordbearbetningsredskap kan detektera markfysikaliska variationer. Se mer i ruta nedan.

Stress och näringsämnesstatus
Kvävebehovet varierar inom växtodlingssäsongen. Eftersom det är svårt att med blotta ögat avgöra hur mycket kväve plantorna behöver så har en rad olika sensorer utvecklats som mäter hur mycket kväve plantan tagit upp.

Klorofyllmängden i plantan är beroende av hur mycket kväve växten har tagit upp. Idag finns portabla bladklorofyllmätare, varav Kalksalpetermätaren är ett exempel. Sensorn bygger på LED-dioder som mäter transmitten-sen genom plantans blad.

Flera forskare har också studerat reflektans på hela plantbestånd. Det kan ske både på håll med satellit eller med en sensor som sitter på redskapet.

Förändringar i bladens reflektans samt bladindex är en viktig faktor för



Foto: Hydro Agri

Bild 7 a) och b). Hydro Agris N-sensor registrerar ljuset som reflekteras från grödan.

Sensorn, som består av fyra kameror, scannar av färgen på grödan kontinuerligt under gång. Informationen behandlas sedan i en dator som därefter sekundsnabbt styr kvävegivan från konstgödselspridaren.



Foto: Hydro Agri

att skilja stressade grödor från välmående bestånd. Olika N-sensorer har utvecklats, bland annat Hydro Agris N-sensor som utvecklats i Tyskland.

JTI-studie för sensormätning av jordens strukturvariationer inom fält

JTI:s försök, där man studerat en dragkraftssensor och en konduktivitetssensor, visar att det är möjligt att mäta lerhaltsvariationen inom fält. Dragkraftssensorn placeras mellan traktor och harv, och registrerar variationen i dragkraft mellan olika fält. (se bild 8)

Konduktivitetssensorn (se bild 6, sidan 7) registrerar ledningsförmågan i marken. Denna information kan sedan användas för att identifiera zoner med likartade egenskaper, så kallade brukningszoner. Varje brukningszon kan sedan behandlas separat, till exempel vad gäller näringstillförsel.



Foto: Mikael Gilbertsson

Bild 8. Dragkraftsensorn placeras mellan traktor och harv.



ANIMALIEPRODUKTION

Identitet

Djurbesättningar har under en lång tid koncentrerats till att bli allt större och färre, något som innebär att produktionsstörningar inom en anläggning kan få allvarliga ekonomiska konsekvenser. Att spåra produktionsstörningar så tidigt som möjligt är därför av största vikt.

För mjölkkor i lösdriftsbesättningar finns sedan länge fungerande transpondrar för att identifiera enskilda individer vid utfodring och vid mjölkning. Det genomförs också försök med injicerbara identitetstranspondrar, vilket skulle passa grisar bättre eftersom de tenderar att tugga sönder utrustning som placeras på dem. Försöken har varit relativt lyckade, emellertid har vissa transpondrar gått sönder och därför varit svåra att återfinna vid slakt.

Mätning av mjölk kvalitet

Mjölkråvaran

Den pågående strukturomvandlingen och intensifieringen av mjölkproduktionen kräver nya, förfinade managementsystem för att säkerställa mjölkens kvalitet vilket innebär ett system som knyter ihop olika typer av information. En av de viktigaste parametrarna att mäta inom mjölkproduktionen är celltal eftersom mastiter orsakar betydande ekonomiska förluster. Det finns ingen sensor på marknaden som kan mäta celltalet i mjölken on-line på gården utan det är indirekta metoder som används, exempelvis elektrisk konduktivitet (se vidare under stycket mastit på sidan 13).

En annan viktig parameter är restsubstanser i mjölken och i dagsläget finns ingen on-line-sensor som kan identifiera antibiotikarester i mjölk för att sedan avskilja den på gårdsnivå. Däremot pågår ett antal forskningsprojekt inom området. Ett exempel är BIO-DAM. Målet är att ta fram ett litet optiskt biosensorsystem för att kunna re-

gistrera antibiotikarester i mjölk. Prototypsensorn konstrueras för att kunna detektera de fyra största grupperna av antibiotika som hittas i mjölk (aminoglycosider, β -lactams, sulfoamider och tetracycliner). Avsikten är att sensorn ska kunna skilja ut mjölk med penicillinrester antingen på gårdsnivå on-line eller innan den går in i processindustrin.

Sammansättningen på mjölken för varje ko kan komma att bli viktigare i framtiden, exempelvis fett- och proteinhalten. I en amerikansk pilotstudie har man visat att fett- och proteinhalt i mjölk mätts med hjälp av NIR eller NIT med god framgång. NIT-sensorer som verkar lovande börjar nu marknadsföras. Tyvärr har det varit svårare att mäta celltalet med hjälp av NIR.

För mejerierna är det också viktigt att sporhalten i mjölken är låg.

En sensor för mätning on-line av kasein, som påverkar ostutbytet vid ytsning, har utvecklats, samt en apparat för snabbmätning av laktos.

Mjölmängd

I många lösdriftssystem mäts mjölmängd, tidpunkt och flöde vid varje mjölkning. Mjölkmätaren kan också användas för att styra automatisk avtagning av mjölkningsorganen. Informationen från mjölmätningen tillsammans med andra viktiga parametrar kan användas för foderstyrningen, men även i viss mån som indikator på sjukdomstillstånd eller brunst.

I de flesta fall mäter mjölmätarna volymen av mjölken, med det finns också system som baserar sig på vikt. Principen för volymmätningen varierar. Vanligast är att med hjälp av elektroder bestämma fyllnadsgraden i en mätkammare. System med flottörer och roterande mätkammare förekommer också.

Diskning

För att skapa ett kvalitetssäkrat system borde anläggningens funktioner, till exempel diskningprocessen, övervakas med hjälp av sensorer och andra tekniska hjälpmedel. Vattenmängder, temperaturer och kemikalieförbrukning borde registreras under diskningprocessen. Systemet borde också kopplas till en larmfunktion som meddelar om processen inte bli-

vit genomförd på önskvärt sätt. Mjolkproducenten kan då åtgärda felet innan mjölkens kvalitet påverkas och därmed också undvika ett produktionsbortfall.

Intressant är också sensorer som mäter resultatet efter diskning, idag används sådana inom andra branscher och borde kunna användas inom mjölkproduktionssektorn, under förutsättning att sensorerna inte är för dyra och känsliga.

Med dagens diskningssystem försäkras man sig om den hygieniska statusen i mjölkingsanläggningen genom att ha stora säkerhetsmarginaler. Det innebär att användningen av insatsmedel som vatten, kemikalier och energi blir onödigt stor. Därför vore det intressant att utveckla sensorer som både kan indikera när systemet inte fungerat som tänkt och sensorer som avgör diskningsresultatet under diskning, exempelvis diskvattnets renhetsgrad.

Mäta foderkvalitet

Luktsensorer analyserar ensilage

Foder är ofta förknippat med lukt. Till exempel en bra lukt (och smaklighet) på hö och ensilage ger ofta en bra mjölkproduktion. Lukten analyseras dock inte i de foderanalyser som lantbrukaren köper.

Som ett komplement kanske man i framtiden kan använda en elektronisk näsa. Den elektroniska näsan har en rad olika icke-specifika sensorer kopp-

lade till en dator som känner igen kombinationen av kemiska substanser och kopplar den till en specifik lukt. SLU undersöker om en elektronisk näsa kan användas för en snabb kvalitetsanalys av ensilage.

JTI ingår i ett EU-projekt där biosensorer utvecklas för att kunna detektera det frekvent förekommande mögelgiftet Ochratoxin A i spannmål. Läs mer i ruta nedan.

JTI forskar kring kvalitetssäkring av spannmål

Angrepp av mögelsvampar kan dels göra spannmålen oanvändbara som livsmedel och foder på grund av bristande smaklighet, dels producera mögelgifter som har negativa effekter på både människors och djurs hälsa. De viktigaste orsakerna till mögelangrepp hos spannmål efter skörd är bristfällig torknings- och lagringsteknik och/eller dålig anpassning av tekniken efter varierande klimatförhållanden. I vår klimatzon är det framför allt mykotoxinet ochratoxin A som "riskeras" att bildas i spannmålen efter skörd.

JTI deltar i ett omfattande EU-projekt som ska ta fram förebyggande åtgärder och utforma ett kvalitetssäkringsprogram som ska leda till en minskad förekomst av mögelgiftet ochratoxin A i spannmålsprodukter. Billiga och snabba metoder för analys av mykotoxinet är en förutsättning för ett effektivt kvalitetssäkringsprogram. För detta ändamål utvecklas bland annat biosensorer. JTI:s roll i projektet blir främst att ta fram en matematisk modell som kan förutsäga risken för tillväxt av mögelsvampar och bildning av ochratoxin A i spannmål, dessutom tittar man på hur lagringstekniken för spannmål kan förbättras.

Mäta variationer hos djuren

Inom animalieproduktionen är variationer i djurens beteende och kroppstemperatur viktiga indikatorer på både djurens hälsa och brunst. Upptäcks förändringar tidigt kan såväl kostsamma problem förebyggas som fler dräktigheter uppnås. Därför är det önskvärt med sensorer som spårar och rapporterar avvikelser från normalt tillstånd för varje enskild ko.

Aktivitet hos djuren

Djurens aktivitet varierar och kan då vara en indikator på deras fysiologiska status. Ett sjukt djur kan vara mindre aktivt än ett friskt, medan ett djur i brunst kan vara mer aktivt än normalt.

En av de få kommersiella produkter på marknaden som mäter djurens aktivitet är aktivitetsmätaren, som används inom mjölkproduktionen för att indikera brunst hos kor. Aktivitetsmätaren är en sensor som registrerar frekvensen av kornas rörelser i stallet, och fästs antingen på kons ben eller i dess halsband. Detektionsgraden för ett sådant system är kring 70 procent.

Analys av en djurgrupps rörelser skulle kunna ge feedback till värme- och ventilationssystem. Exempelvis

samlar grisar ihop sig i grupper när deras temperatur understiger temperaturen för maximal produktion.

On-line-mätning av djurs rörelser skulle vidare kunna ge lantbrukaren information om brunst och födslar.

Kroppsvikt

Djurets vikt är en viktig faktor som kan indikera hälsa, utfodringsnorm och djurets värde. Få lantbrukare väger sina djur tillräckligt frekvent för att kunna använda informationen till mer än värdet av djuret. Det finns dock system för att mäta kroppsvikten on-line hos kor dagligen på flera sätt: väg-passager i kombination med foderautomater och mjölkkningsrobotar eller vägar där kor stannas några sekunder på väg ut från mjölkkningsstallet.

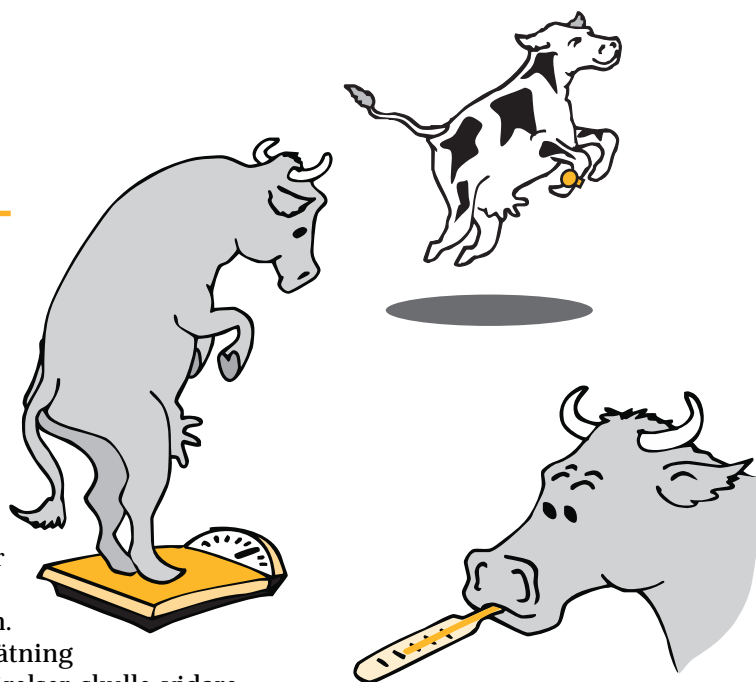


Bild 9. Aktiviteten hos djuren kan registreras kontinuerligt och frekvent med sensorer och indikerar då exempelvis brunst eller andra hälsotillstånd. Kroppsvikten är ytterligare en viktig faktor, avvikelser kan då märkas dagar innan mjölkavkastningen sjunker.

Kroppbyggnad och komposition

Värdet av köttproducerande djur beror till stor del på köttansättning och komposition. Det är viktigt att följa upp dessa kvalitetsegenskaper så att djuret produceras ekonomiskt och ger ett optimalt slaktutbyte.

Idag bedöms djurets komposition, främst fett, subjektivt av lantbrukaren genom att känna på djuret eller med ögonmått. Det finns dock flera ultraljudssensorer för mätning av djurs inre sammansättning – bland annat sond, scanner, VOS (velocity of sound) och MRI (magnetic resonance imaging).

Sonden hålls mot djurets hud och ger en grafisk bild av fettlagren. Den bör dock placeras på rätt ställen för att resultaten ska kunna tolkas rätt. I England pågår ett projekt med automatisk sondmätning. När grisen besöker en foderstation placeras en sond försiktigt på grisen av en robotarm – om sonden placerats rätt ges en bildanalys.

Scanners ger en bra tvärsnittsbild av djuret. Systemet används med framgång för att lokalisera underhudsfett, men klarar inte av att se intramuskulärt och inre fett. VOS-sensorn, som mäter tiden för ljud som passerar genom ett djur, kan däremot mäta både intramuskulärt och underhudsfett samtidigt. Tekniken är snabb, billig och kräver inte direkt fysisk kontakt. VOS-sensorn används dock inte ännu av lantbrukare.

MRI-sensorn ger en tvärsnittsbild med hög upplösning och med bildanalys är det sedan möjligt att bestämma andelen kött och fett. MRI är ett värdefullt redskap för övervakning av djurs sammansättning, men kostnaden och komplexiteten gör att den än så länge endast används inom forskningen.

Studier visar att om kroppsvikten hos en ko sjunker 10 procent så är det ett tecken på att något är fel. En studie visade att cirka 50 procent av alla hälsoproblem upptäcktes med hjälp av kroppsviktsförändringar tre dagar innan mjölkavkastningen sjönk.

Information om tillväxten hos svin ger värdefull information om avkastning samt produktivitet, hälsa och utfodringsläge. Mätningar bör ske varje vecka för att ge tillräckliga mätdata, något som är tidskrävande och dyrt och innebär stress för både djur och skötare. Med en "identitetsbricka" hos varje svin skulle grisarna kunna vägas automatiskt exempelvis varje gång de går in i en foderautomat.

Kroppstemperatur

Det finns många kända samband mellan puls, kroppstemperatur samt andningsfrekvens och djurets hälsostatus och metaboliska tillstånd. Men inga kommersiella sensorer har förmågan att mäta dessa faktorer on-line. System har dock utvecklats för forskning – telemetriska givare injicerade i öronbasen, som mäter grisarnas kroppstemperatur. Det är möjligt att dessa sensorer i framtiden kan bli ett verktyg för att "mäta" djurets hälsa.

Inom mjölkproduktionen anses mjölktemperaturen vara ett indirekt mått på djurets kroppstemperatur. On-line-mätning av mjölkens temperatur är enklare att utveckla än system för att mäta kroppstemperatur on-line.

Mäta miljöeffekter

Ventilation i stall

För att styra och reglera stallklimatet används nästan uteslutande temperaturen. Ventilationen regleras efter ett "börvärde" för att minska eller öka värmetransporten ut ur stallet.

Det finns inga eller få system för att reglera ventilationen med avseende på fukt, ammoniak, koldioxid, svavelväte och organiskt damm, trots att det finns gränsvärden för dessa som inte får överstigas. En gasFET-sensor finns, som reglerar ventilationen i kycklingstall med avseende på ammoniak.

Luktlaboratorium på JTI

Vid exempelvis spridning av stallgödsel kan så kallade elektroniska näsor användas för bestämning av luktämnen (mer om elektroniska näsan på sid 10). Om man med ledning av mätningar från en elektronisk näsa ska kunna uttala sig om luktupplevelsen krävs dock att man har funnit ett samband mellan mätvärdena och luktupplevelsen bestämd med olfaktometermetoden.

Vid JTI har ett luktlaboratorium byggts upp, utrustat med en olfaktometer, för bestämning av luktstyrka. Detta är en mycket känslig metod eftersom den bygger på den mänskliga näsan, som kan varsebli lägre halter av luktämnen än något av de instrument som för närvarande finns. I JTI:s luktlaboratorium kan en panel av försökspersoner bestämma ett luktprov styrka i relation till en referensgas (pyridin). Här undersöks hur man med ozon kan minska lukt i svinstallar, vid spridning av stallgödsel samt från lagring av livsmedelsavfall.



Foto: Kim Gutekunst

Gödselhantering

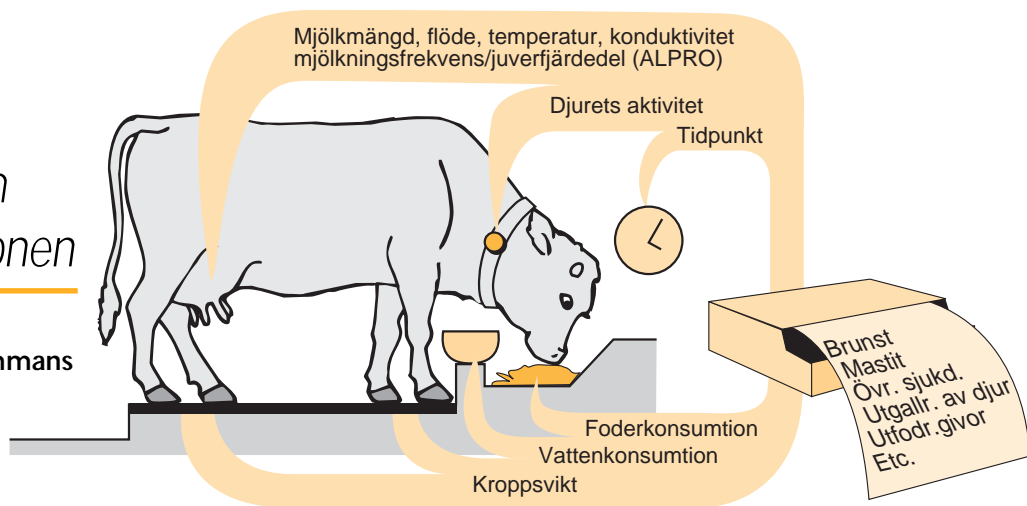
Sensorsystem för att mäta växtnäringsinnehåll och fysikaliska egenskaper hos flytgödsel har utvecklats i Storbritannien. Systemet mäter bland annat elektrisk ledningsförmåga, pH, densitet och flytegenskaper hos gödseln. Utifrån framtagna samband kan innehållet av ammoniumkväve och fosfor beräknas. Mätningarna utförs under spridning och flödet från spridaren anpassas så att önskad giva av växtnäring erhålls på fältet.

I syfte att optimera myllningen av urea-baserade gödselmedel pågår utveckling av ett regelsystem. Med en optisk sensor, som mäter ammoniakkoncentrationer, mäts fältförlusterna av kväve efter myllning. Sensorn kan installeras på spridare för att styra giva och myllningsdjup. Utifrån uppmätta förluster beräknas behovet av kompletterande gödsling. Projektet bedrivs i Atlanta, USA, i laboratorium och i fält.

Managementsystem inom mjölkproduktionen

Flera faktorer bearbetas tillsammans

Ett system som sammanfogar information för att användas som beslutsstöd, exempelvis inom mjölkproduktionen, kallas managementsystem. Dessa system ska på ett överskådligt och logiskt sätt presentera relevant information för djurskötaren och kommer i framtiden att utgöra ett allt viktigare och nödvändigare verktyg. Det finns redan idag mycket information som kan användas för kontroll och styrning av djurhälsa, mjölk kvalitet (mängd och sammansättning), utfodring, ekonomi och avel/brunstläge.



Det som saknas till viss del är att få informationen direkt, on-line, och att den länkas samman. Även om vissa mätningar individuellt kan användas som en indikator för till exempel ett hälsotillstånd eller brunst, blir informationen betydligt säkrare om data för flera faktorer samlas in och bearbetas tillsammans.

Vad kan man spåra med ett managementsystem?

Brunst

Att upptäcka brunster kan vara svårt, speciellt när det är stilla brunster. Ett tecken är att beteendet förändras och då kan aktivitetsmätaren ge värdefull information.

Men informationen blir betydligt säkrare om data för flera parametrar samlas in och bearbetas tillsammans i ett så kallat managementsystem. I en studie spårades 100 procent av alla brunstiga kor genom att mäta och kombinera olika parametrar som mjölmängd, mjölktemperatur, konduktiviteten i mjölken, aktivitet och kraftfoderkonsumtion samt dessa faktorer utveckling i tiden.

Morgondagens teknik kanske kan mäta hormonella förändringar on-line hos kon. Vore det möjligt att detektera de specifika feromoner som brunstiga kor avger (som tjurar kan lukta sig till) skulle det kunna vara ett hjälpmedel att inseminera vid rätt tidpunkt.

Mastit (juverinflammationer)

Mastiter orsakar betydande ekonomiska förluster i form av minskad mjölkpro-

duktion, ökade behandlings- och arbetskostnader, karensmjölk och en ökad rekryteringsprocent. Enbart i Sverige kostar mastitfall 550 Mkr årligen och varje enskilt mastitfall kostar i medeltal 5000 SEK.

De enda sensorer gjorda för en specifik sjukdom är just de för detektion av mastit i mjölkbesättningar. Sambandet mellan elektrisk konduktivitet och mastitmjölk är sedan länge känt och konduktivitetmätning är en indirekt mätmetod för att avspegla juverhälsan. Principen bygger på att mjölkens joninnehåll förändras vid en mastitinfektion och därmed ökar den elektriska ledningsförmågan.

Konduktivitetmätare finns att tillgå på marknaden men, som enskild sensor, ger de inte en tillförlitlig diagnos. Många försök har genomförts för att försöka öka säkerheten i mastitdetektionen genom att kombinera flera parametrar, exempelvis mjölktemperatur och mjölmängd.

I studier har man också försökt att spåra mastit med hjälp av NIR och varit relativt framgångsrika, det finns

dock ingen kommersiell sensor för användning i stall. Behovet av registrering är dock stort, och forskningen fortsätter för att hitta en bra sensor.

Metaboliska störningar

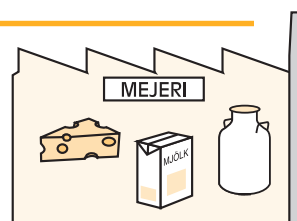
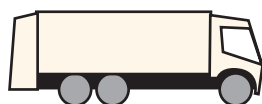
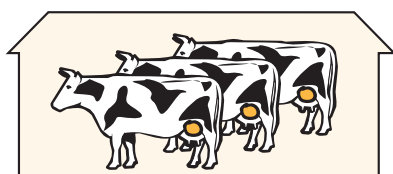
Med utvecklingen av nya mjölkningssystem kommer också möjligheterna att integrera sensorer för att bestämma det individuella djurets näringsbehov och näringsutnyttjande.

Ämnen som är intressanta i mjölk är bland annat urea och aceton. På University of California, USA, utvecklas en biosensor för mätning on-line av urea i mjölk. Sensorn är enkel och billig och har hög noggrannhet.

Ketos (acetonemi) är en vanlig störning hos kor i högproducerande besättningar. En traditionell metod är att lukta på kons utandningsluft för att känna eventuell acetonlukt. Möjligheten att övervaka nötboskap med elektroniska näsor (elektrokemiska sensorer) skulle ge ovärderlig information om djurets hälsa.

På marknaden finns dock Ketosensorn, som kan användas för att spåra aceton i mjölk. Ketosensorn mäter "ången" ovanför vätskan för att inom några minuter kunna ange acetonhalten. Sensorn utvecklas nu vidare för att kunna mäta acetonhalten on-line.

Visioner



på ett tidigt stadium kommer man i en framtid att behöva ett management-

system som ett verktyg (se under kvalitetssäkringssystem).

Möjligheten att garantera en produkts kvalitet blir allt viktigare och det är av största vikt att på ett tidigt stadium hitta tveksamma kvaliteter. Om viktiga kvalitetsparametrar på mjölken kunde mätas on-line redan på gården har mejeriindustrin möjlighet att kvalitetssortera mjölken. Mejeriet skulle då kunna få information om vilken mjölk kvalitet som förväntas levereras redan innan mjölken transporteras från gården med möjlighet att bestämma vilket förädlingsled just denna mjölk ska gå, vilket minskar produktionskostnaderna. Man kan också undvika att förstöra mjölk med hög kvalitet genom att blanda in dålig mjölk som egentligen borde kasseras.

Kvalitetssäkringssystem

Spårbara livsmedel efterfrågas alltmer av konsumenterna. Utveckling av identifikationssystem, där exempelvis produktionsmetoderna för kött kan följas av konsumenten, är bara ett första steg. Exempelvis inom mjölkproduktio-

Bild 10. Ett snabbt informationsutbyte kan ske mellan gård och mejeri.

Högre avkastning

Genom att skapa optimala förutsättningar för en gröda, exempelvis avseende växtnäringstillstånd och applicering av bekämpningsmedel, minskar risken för dålig avkastning och tveksam kvalitet. Läckage av växtnäring och bekämpningsmedel minimeras också. Ett viktigt led i denna process är vidare utveckling av sensorsystem som registrerar variationer i mark och gröda.

Tidig sortering ger minskade produktionskostnader i förädlingen

I förädlingen av jordbruksråvaran till färdiga livsmedel skapas ett kraftigt mervärde. Genom att sortera råvaran efter egenskaper speciellt värdefulla för den specifika tillämpningen kan mervärdet ökas. Värdefulla tillämpningar för avancerad sensorteknik inom detta område sträcker sig från detektering av invändiga skador hos potatis till bestämning av mältningsegenskaper för korn till ölframställning.

För att mjölkproducenten ska kunna kontrollera och påverka sin produktion

nen kommer förhoppningsvis hela produktionen kontrolleras (mjölknings-, disknings- och lagringsprocessen samt brunst- och djurhälsokontroll) med relevant och snabb teknisk mätutrustning för bestämning av olika parametrar (sammansättning, progesteron etc.) i både mjölk och diskning. Det är dessutom viktigt att tekniken måste kunna integreras på ett enkelt sätt i det managementsystem som byggs upp. Framtidens mjölkproducent kommer att vara en mycket duktig företagare med stora krav på välutvecklade tekniska system som kan ge denne en helhetskontroll över företaget.

Länken mellan mjölkkråvara och konsument kommer också bli starkare och därför måste konsumenterna kunna erbjudas ett säkrare livsmedel. Detta kommer att bli möjligt eftersom en

snabb kontroll finns hela vägen från råvaruledet till slutkonsument.

Nya användningsområden

Jordbruket har fått, och kommer att få, en allt viktigare roll som producent av förnyelsebar energi- och fiberråvara för non-food användning. Kraftfulla sensorer för on-line-mätningar av biologiska och tekniska egenskaper ger möjlighet att sortera biologisk industriråvara i fraktioner med starkt standardiserade egenskaper, men också att på ett optimalt sätt styra och reglera förbrännings- och förädlingsprocesserna efter variationer i råvarans karakteristik. Möjligheterna att framställa industriråvaror med jämn och väldefinierad kvalitet är avgörande för dessa råvarors konkurrenskraft.

Sammanfattning

- Behovet av att mäta och styra inom lantbruket är mycket stort. Sensorer, som mäter och registrerar olika värden, kommer att få en allt viktigare roll för att säkerställa jordbruksprodukternas kvalitet.
- Proteinhalten i spannmål, som sätter värdet på grödan, har mätts on-line på fält i forskningsprojekt med god framgång.
- Marksensorer som registrerar variationer är en snabbare och billigare metod än att skicka jordprover på analys. Därefter kan tillförseln av tillsatsmedel som kalk, kväve och fosfor samt bevattning optimeras, vilket sparar pengar, är bra ur miljösynpunkt och kan förbättra produkternas kvalitet.
- Inom mjölkproduktionen finns idag information om exempelvis mjölk-kvalitet (mängd och sammansättning), djurhälsa, utfodring, avel och brunstläge. Ett managementsystem, som ger data on-line och länkar den samman, vore önskvärt eftersom det ger säkrare information.
- Inom mjölkproduktionen är det viktigt att spåra mastiter eftersom de orsakar betydande ekonomiska förluster. Idag finns ingen sensor på marknaden som kan mäta celltalet i mjölken on-line på gården utan indirekta metoder används, som elektrisk konduktivitet.
- Om viktiga kvalitetsparametrar, både på mjölken samt under diskningsprocessen, kan mätas on-line har mejeriindustrin möjlighet att kvalitetssäkra och sortera mjölken.
- Många forskningsprojekt pågår med sensorer, men få kommersiella system finns. En av orsakerna är den tuffa jordbruksmiljön med damm, fukt, skakningar, med mera, som kan leda till felaktiga mätresultat. Därtill är de sensorer som finns idag dyra.

Mer att läsa från JTI!

Gilbertsson M., Gustafsson M., Benfalk C. & Thylén L., 2001.
Sensorrika system i lantbruket. JTI-rapport, nr 277

Benfalk C., Ekman T., m.fl., 1999. **Automatisk mjölkning – mer än en mjölkningsrobot!** Teknik för lantbruket, nr 80

Algerbo P-A., Thylén L., 1998. **Växtplatsanpassad odling. Tillämpningar inom dagens lantbruk.** Teknik för lantbruket, nr 69

JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik är ett **industriforskningsinstitut** som arbetar med forskning, utveckling och information inom områdena jordbruk, miljö, energi och avfall.

Det övergripande målet är att utveckla ny teknik som både är miljövänlig och kostnadseffektiv och som på olika sätt kan stärka konkurrenskraften inom jordbruk och industri.

Vill du få fortlöpande information om aktuell verksamhet och nya publikationer från JTI? Beställ våra nyhetsbrev *Axplock* från JTI och *JTI-perspektiv*, som är gratis. *Axplock* från JTI tar främst upp ämnen som rör lantbruk och industri, och *JTI-perspektiv* handlar om kretslopp och avfall.

Du kan också prenumerera på *Teknik för lantbruket*, som kortfattat beskriver ny teknik och nya metoder inom lantbruket. Vill du fördjupa dig ytterligare finns *JTI-rapporterna*, som är vetenskapliga sammanställningar över olika projekt. *JTI-rapporterna* beställer du som lösnnummer från JTI eller hämtar hem gratis som pdf-filer från vår webbplats: www.jti.slu.se



Institutet för jordbruks- och miljöteknik

© JTI, 2001. Enligt lagen om upphovsrätt är det förbjudet att utan skriftligt tillstånd av copyrightinnehavaren helt eller delvis mångfaldiga detta arbete.

Ansvarig utgivare: Lennart Nelson
Faktaunderlag: Christel Benfalk, Mikael Gilbertsson,
Mats Gustafsson, Lars Thylén
Text och grafisk form: Katarina Reinius
Illustrationer: Kim Gutekunst

JTI, Box 7033, 750 07 UPPSALA
Tfn 018 - 30 33 00, fax 018 - 30 09 56
Besöksadress: Ultunaallén 4
office@jti.slu.se, www.jti.slu.se

ISSN 0282-6674