

**SLUs vetenskapliga råd för djurskydd**

[Ev. kompletterande text,  
t.ex. beslutsfattare]

**PROMEMORIA**

2019-04-29

SLU ID: SLU.scaw.2019.2.6-21

## Yttrande från SLUs vetenskapliga råd för djurskydd om digital tillsynsteknik i djurhållning utomhus

### Syfte och målgrupp

Detta yttrande är skrivet efter en begäran från Jordbruksverket (Dnr: 5.2.17-14462/2018) om att Rådet sammanställer forskning om hur den nya digitala tekniken kan användas vid djurhållning utomhus på stora ytor. Önskemålet motiverades av att föreskrifter och kontrollprogram ska vara väl förankrade i den senaste forskningen. Jordbruksverket avsåg med detta:

- Tillsyn med hjälp av drönarteknik.
- Tillsyn med hjälp av GPS-teknik.
- Teknik med så kallade osynliga stängsel.

Frågeställningen omfattar alla kategorier av husdjur, men efter samråd med Jordbruksverket fokuseras yttrandet på nötkreatur och tamfår, oavsett syftet med djurhållningen, dock endast djur som hålls utomhus.

Yttrandet har baserats på vetenskaplig litteratur. En systematisk litteratursökning gjordes i Web of Science Core Collection, CAB Abstracts® och Scopus från alla tillgängliga publikationsår. Följande söksträng användes: (*cattle\* OR bovin\* OR beef\* OR \*cow\* OR \*calf\* OR \*calves OR \*sheep\* OR ewe\* OR ovine OR lamb\* OR \*rind\* OR \*kuh\* OR \*kalb\* OR \*kälber\* OR \*schaf\* OR \*lamm\**) AND (*outdoor\* OR rangeland\* OR enclosure\* OR pasture\* OR graz\* freerange\* OR free-range OR "free range" OR \*draussen\* OR gehege\* OR weide\* OR freiland\**) AND (*"new techni" OR "inventive techni" OR infrared\* OR drone\* OR \*positioning\* OR gps\* OR "invisible fenc" OR "wireless fenc" OR "virtual fenc" OR \*accelero\* OR \*logger\* OR \*thermograph\* OR \*telemetr\* OR sensor OR sensors OR*

*“neue techni” OR “erfinderische techni” OR \*infrarot\* OR \*drohne\* OR “virtueller zaun”*)  
*AND (“precision livestock” OR \*vigilanc\* OR \*monitor\* OR \*surveill\* OR control\* OR*  
*contain\* OR \*präzisionsviehhaltung\* OR \*wachsamkeit\* OR \*überwachung\* OR*  
*\*positionierung\* OR “unsichtbarer zaun” OR “unsichtbare zäune” OR \*kontroll\* OR*  
*\*eindämm\*”).* Sökningen resulterade i 532 referenser efter borttagning av dubletter. Från dessa valdes relevanta referenser att användas i yttrandet. De kompletterades med referenser från tidigare sökningar och litteraturlistor.

Det vetenskapliga rådet för djurskydd består av:

- Charlotte Berg, ordförande, professor, Institutionen för husdjurens miljö och hälsa
- Nils Fall, forskare, Institutionen för kliniska vetenskaper
- Helena Hansson, professor, Institutionen för ekonomi
- Anders Herlin, universitetslektor, Institutionen för biosystem och teknologi
- Jan Hultgren, universitetslektor, Institutionen för husdjurens miljö och hälsa
- Magdalena Jacobson, professor, Institutionen för kliniska vetenskaper
- Anna Jarmar, jurist, Ledningskansliet
- Linda J. Keeling, professor, Institutionen för husdjurens miljö och hälsa
- Christina Lunner Kolstrup, forskare, Institutionen för arbetsvetenskap, ekonomi och miljöpsykologi
- Lotta Rydhmer, professor, Institutionen för husdjursgenetik
- Eva Sandberg, universitetslektor, Institutionen för anatomi, fysiologi och biokemi
- Margareta Steen, docent, biträdande föreståndare Nationellt centrum för djurvälstånd
- Helena Wall, professor, Institutionen för husdjurens utfodring och vård

Rådet vill uttrycka sin tacksamhet till expertgruppens medlemmar som utarbetat detta yttrande: Niclas Högberg, doktorand, Institutionen för biomedicin och veterinär folkhälsovetenskap vid SLU, Anna Skarin, forskare, Institutionen för husdjurens utfodring och vård vid SLU, Anna Rydberg, forskare, RISE Research Institutes of Sweden och Emma Brunberg, sakkunnig, Djurskyddet Sverige, samt Anders Herlin och Jan Hultgren från rådet och Margareta Stéen som handläggare.

## Sammanfattning

I enlighet med Jordbruksverkets förfrågan behandlar yttrandet tre områden för digital teknik vid övervakning och kontroll av djur som vistas utomhus på stora ytor: (1) kamerateknologi, t.ex. användning av drönare, (2) positioneringsteknologi som GPS och (3) teknologi för att styra djurens rörelser, som drivning med drönare och användning av s.k. virtuella stängsel. De tre teknikområdena överlappar delvis varandra.

Digital tillsyn av utegående djur är beroende av att sensorer mäter det man tror att de mäter med tillräcklig noggrannhet och att data kan överföras och bearbetas till information som lagras och analyseras på ett säkert och korrekt sätt. Sådana teknologier benämns med samlingsnamnet 'Precision Livestock Farming' (PLF). Användningen av informationen är avgörande för teknikens användbarhet i tillsyns- och djurskyddsarbete. Tillämpningarna är till viss del reglerade av gällande lagstiftning, exempelvis genom krav på tillsyn, begränsad användning av elektricitet för att styra djurs beteende, användning av obemannade luftfarkoster, d.v.s. drönare, samt åtgärder för att förhindra att utrustning skadar djuren eller påverkar deras hälsa och beteende.

Inom PLF används en rad olika sensorer som direkt eller indirekt kan mäta djurens miljö och djurens beteende och fysiologiska tillstånd. Den teknologiska utvecklingen har främst varit inriktad på mjölkkor, fjäderfän och grisar och endast i liten utsträckning berört häst, får och get. För djur på bete är överföringen av data från en enhet på eller vid djuret till en mottagare särskilt problematisk p.g.a. stora avstånd, men det sker en snabb teknisk utveckling mot effektivare överföring. PLF-teknologin innebär i de flesta fall att djuren övervakas kontinuerligt och att avvikelser i t.ex. deras hälsotillstånd och välfärd i princip kan upptäckas i realtid, vilket ska ställas mot nuvarande lagkrav på tillsyn minst en eller två gånger dagligen.

Sensorer kan ge information om ett stort antal fysiologiska tillstånd och beteenden. En av de vanligaste teknikerna är sensorer för aktivitet. Indirekt kan de också ge information om idissling, liggtid, stegantal och ättid och utlösa larm om exempelvis brunst, hälsoproblem, hälta och kalvning. Sensorer kan även placeras i förmagen hos idisslare (s.k. våmbolus) där de mäter våm-pH och kan larma om störningar i magfunktionen, eller utformas som termometrar som kan larma om hälsostörningar, kalvning och vattenintag eller mikrofoner som kan mäta idissling och larma om brunst, kalvning och onormalt idisslingsmönster. Med kamerateknik kan man mäta aktivitet, kroppsform och hudtemperatur, vilket kan ge information om ketosstatus, hull, hälta och juverhälsa. Kameror monterade på drönare kan användas för att

lokalisera och räkna djur, bestämma deras position, habitatval och till viss del deras beteende, särskilt när djuren rör sig över stora arealer.

Det finns flera elektroniska positioneringsteknologier varav passiv 'Radio Frequency Identification RFID' är den vanligaste. Räckvidden är kort med denna teknik men den kan vara användbar om man t.ex. vill mäta hur ofta djuren besöker en vattenpost. Andra teknologier kan med hjälp av antenner följa djurens positioner i realtid. GPS-enheter monterade i halsband kan regelbundet registrera djurens geografiska position. Användningen av GPS har blivit relativt vanlig i renskötseln vilket tycks ha lett till en förbättrad arbetssituation för renskötarna. Positionering med GPS ger inte alltid exakta uppgifter men tekniken har visat sig användbar för studier av habitatval, sociala interaktioner och gruppdynamik. Med positionerna från GPS har man också kunnat styra djur till områden med bättre betestillgång. Med en tillräckligt frekvent bestämning av position med hjälp av GPS (ca en gång per minut) är det möjligt att bestämma betestiden för nötkreatur på ett tillförlitligt sätt.

En användning av drönare i djurskötsel och djurtillsyn kan vara att med hjälp av kamera lokalisera djuren över stora ytor. Denna användning begränsas dock av nuvarande bestämmelser om att föraren måste ha ögontakt med drönaren. I renskötseln har drönare börjat användas för att förflytta djur men denna tillämpning är ännu inte juridiskt reglerad.

Virtuella stängsel är strukturer som bestäms med kartkoordinater eller elektronisk sändare på marken. Stängslen fungerar som inhägnader, hinder eller gränser. Djuren mottar signaler (vanligen ljud) och stimuli (vanligen elstötar från ett halsband) som gör det möjligt för dem att lära sig var stängslet finns. I vetenskapliga studier har man med varierande framgång lyckats lära djuren att associera ljudsignaler och elstötar med en gräns som inte får passeras. Förmågan att lära sig skiljer mellan olika djurslag, liksom mellan individer. Det finns fortfarande många obesvarade frågeställningar om hur djur kan anpassa sig till virtuella stängselsystemet, liksom hur de påverkas, både under inlärningsfas och bruksfas.

## Slutsatser

Digital teknik i djurhållningen blir allt vanligare och det finns ett betydande kommersiellt intresse för fortsatt utveckling. Tekniken erbjuder sannolikt radikalt ökade möjligheter till djurtillsyn och upptäckt av djur med behov av extra omvårdnad. Data överförs ofta mellan djur och människa med hjälp av s.k. molntjänster (IT-tjänster som tillhandahålls över Internet) och de tekniska och praktiska svårigheterna med detta bör inte underskattas, även om

systemens funktionalitet förbättras successivt. Driftsäkerheten hos olika kommersiella digitala system för djurtillsyn är till stor del okänd, liksom förekomsten av eller funktionen hos larm för avbrott eller störningar och i vilken utsträckning insamlade data sparas och går att återskapa vid avbrott.

Kommersiellt tillgängliga sensorer kan användas för övervakning av många olika slags djur inom ett begränsat område där det är lätt att på avstånd fånga upp signaler trådlöst. Det finns ett stort antal kommersiella sensorer som kan användas för hälso- och välfärdsövervakning av djur. Sensorerna är primärt framtagna för inomhusanvändning inom mjölkproduktionen, men den tekniska utvecklingen mot effektivare dataöverföring möjliggör i allt högre grad tillämpningar för betesdjur som visas utomhus och rör sig över stora ytor.

Obemannade luftfarkoster eller UAV ('Unmanned Aerial Vehicles'), s.k. drönare utrustade med kamera, har stor potential att användas för tillsyn av djur som hålls på stora ytor. Sociala interaktioner kan studeras med denna teknik och kopplas till bland annat djurens kön och ålder. Tekniken behöver således utvecklas ytterligare för att kunna användas för bedömning av djurvälstånd under olika förhållanden. Nattmörker, skuggor och tät vegetation utgör därvidlag särskilda utmaningar. Användning av termiska sensorer (värmekameror) minskar problemen med skuggor och mörker, men tät vegetation kan fortfarande utgöra svårigheter mitt på dagen. I all tillgänglig forskning om djurtillsyn med hjälp av drönare har utrustningen flugits inom synhåll.

Användning av drönare för att driva renar på samma sätt som med helikopter har blivit allt vanligare och testas i renskötseln som ett komplement till andra drivningsmetoder. Drönare är också till god hjälp om renarna hamnat i områden där det ur arbetsmiljösynpunkt kan vara farligt att utföra manuell tillsyn. Lagstiftning om användning av drönare för att driva djur är ofullständig då kunskapen om hur drivningen ska utföras är knapphändig.

GPS ('Global Positioning System') är ett förhållandevis energikrävande och kostsamt satellitbaserat navigations- och positioneringssystem och ett par olika alternativa standarder finns. Även om frekvensen positionsangivelse för ett djur på bete är hög ger positionerna i sig endast begränsad information om djurets välfärd. Sensorer som tillför information om djurens tillstånd eller beteende kan användas tillsammans med positioneringssystem för att ge kompletterande information, och därigenom öka användbarheten av dessa.

Vid användning av s.k. virtuella stängsel tyder forskningen på att djuren i de flesta fall lär sig att associera en ljudsignal med en elstöt och att de efter en inlärningsperiod oftast håller sig på

rätt sida av en virtuell gräns. De flesta studier visar dock på stora individuella skillnader i inlärningskapacitet och beteendereaktioner, vilket är ett potentiellt välfärdsproblem för de individer som lär sig långsamt och som därmed utsätts för många elstötar.

Även om den digitala tekniken har potential för att förbättra djurskyddet utomhus finns djurvälfridsrisker vid användning av digital teknik i djurhållning utomhus. En uppenbar sådan risk är att tekniken inte fungerar tillfredsställande, så att djuren inte får den avsedda lagstadgade tillsynen och eventuella djurskötselåtgärder inte vidtas i tid, eller inte alls. Sådana risker finns emellertid även vid tekniska tillämpningar inomhus. Utöver detta finns även risker förknippade med direkt fysisk eller mental påverkan på djuren vid normal tillämpning av digital teknik. Vanliga problem är skavsår av sensor- eller GPS-halsband och stress till följd av djurens bristande anpassning till eller acceptans för virtuella stängselsystem.

För att till fullo bedöma hur användbar digital teknik är vid djurhållning utomhus saknas forskning om övervakning med hjälp av drönare som flygs utom synhåll, hur djur påverkas av närvaron av (åsynen av och ljudet från) drönare och hur trådlösa sensornätverk kan användas för bedömning av djurvälfrid. Vad gäller virtuella stängsel saknas vetenskapliga studier av inlärningsförmåga, stressnivå och välfärd hos de individer som utsätts för många elchocker. Det saknas också studier av långsiktiga effekter av virtuella stängsel i jämförelse med vanliga elstängsel

## Innehåll

1	Inledning.....	8
2	Definitioner .....	9
3	Användning av digital teknologi i djurhållningen.....	12
3.1	Precision Livestock Farming .....	12
3.2	Teknikens tillförlitlighet .....	14
3.3	Lagstiftning om digitala hjälpmedel vid djurvälståndsovervakning.....	15
4	Sensorteknologi.....	17
4.1	Fysiologiska sensorer.....	18
4.2	Beteendesensorer .....	19
4.3	Övervakning inomhus.....	19
4.4	Övervakning utomhus.....	22
5	Kamerateknologi .....	23
6	Positioneringsteknologi.....	25
6.1	Spårning.....	25
6.2	Övervakning med GPS .....	26
6.3	Positionssäkerhet .....	30
7	Dataöverföring.....	31
8	Teknologi för att styra djurens rörelser i landskapet.....	33
8.1	Drivning av djur med drönare.....	33
8.2	Virtuella stängsel .....	33
9	Djurvälståndsrisker vid användning av digital teknik.....	37
10	Referenser.....	40

## 1 Inledning

I enlighet med uppdraget från Jordbruksverket behandlar detta yttrande frågor om hur digital teknik kan användas vid djurhållning utomhus på stora ytor, exempelvis för tillsyn med hjälp av drönarteknik eller GPS, liksom så kallade osynliga eller virtuella stängsel.

Yttrandet omfattar i första hand nötkreatur av arten *Bos taurus* och tamfår av arten *Ovis aries*, oavsett syftet med djurhållningen. Den information som redovisas är dock i stora delar tillämplig även på andra djurslag.

Större delen av den existerande sensorteknologin är utvecklad för djur som hålls inomhus och där är det enklare att övervaka djuren med sensorer och koppla ihop olika enheter på djuren med nätverk. Ett särskilt problem vid utevistelse på stora ytor är den tekniska överföringen av data från djur till nätverk för att göra informationen tillgänglig för djurskötare och andra användare.

En fråga som hänger samman med de belysta frågeställningarna är vad användaren gör med den information som erhålls från de digitala systemen och om sådan information samt åtgärder därav kan ingå i den offentliga djurskyddskontrollen. Allmänt sett ger sensoranvändning information om tillstånd (fysiologi, aktivitet etc.) hos djuret men det krävs oftast någon manuell åtgärd för att informationen ska komma till användning, såsom ytterligare manuell tillsyn av djuren, skötseländringar eller behandlingar. Användning av sådan information i offentlig kontroll skulle sannolikt betyda att djurhållaren behöver föra anteckningar om varningar från systemet och vilka åtgärder varningarna har föranlett. Denna fråga har inte belysts i yttrandet men kan behöva behandlas av Jordbruksverket längre fram i riskhanteringen.

Yttrandet behandlar användningen av teknologier för djurväl-färds- och hälsoövervakning i djurhållning utomhus enligt gällande lagstiftning. En fråga som inte har belysts är om och på vilket sätt digital teknologi helt eller delvis kan ersätta den manuella tillsynen av djuren. En kombination av manuell kontroll av djuren med automatiserad digital övervakning kan vara en fördel eftersom det ger stöd för fortsatt utveckling mot allt bättre djurtillsyn och digitala system.



## 2 Definitioner

*Accelerometer* – en typ av sensor som mäter accelerationen (hur mycket rörelsehastigheten ändras) i en eller flera riktningar; en 3D-accelerometer mäter i tre vinkelräta riktningar samtidigt

*Bluetooth* – en standard för trådlös, kortväga kommunikation mellan till exempel headset och mobiltelefon eller mellan tangentbord och dator

*Bredband* – snabb överföring av stora datamängder, t.ex. via mobilnät

*Determinationskoefficient, förklaringsgrad* (engelska '*Coefficient of Determination*' eller '*R-square*',  $r^2$  eller  $R^2$ ) – anger hur stor andel av variationen i en studerad variabel som kan förklaras med hjälp av den använda statistiska modellen, eller vid korrelationsanalys hur stor andel av variationen hos den ena variabeln som kan förklaras av den andra variabeln; beräknas vid korrelationsanalys som Pearsons korrelationskoefficient i kvadrat

*Differentiell GPS, DGPS* – en metod för relativ positionsbestämning med GPS i realtid

*'Dilution of Precision', DOP* – det geometriska bidraget till osäkerheten i en positionsbestämning vid GPS-mätning, beroende på antalet använda satelliter och deras spridning över himlen

*Drönare* – samlingsnamn på motorförsedda luftfarkoster utan pilot som kan flyga autonomt eller fjärrstyras; kallas även UAV (engelska '*Unmanned Aerial Vehicle*')

*'Fix rate'* – effektiviteten eller förmågan att registrera en position vid användning av ett satellitbaserat navigations- och positioneringssystem

*Funktionssäkerhet* – förmågan hos en utrustning eller process att utföra en uppgift under givna förhållanden

*Galileo* – ett europeiskt satellitbaserat navigations- och positioneringssystem (se '*Global Navigation Satellite Systems*')

*Geografiskt informationssystem, GIS* – ett datorbaserat system för att samla in, lagra, analysera och presentera geografiska data

*'Global Navigation Satellite Systems', GNSS* – samlingsnamn för satellitbaserade navigations- och positioneringssystem som med hjälp av satelliter och rörliga mottagare, positionsbestämmer föremål, varelser och platser på jorden

*'Global Positioning System', GPS* – ett amerikanskt satellitbaserat navigations- och positioneringssystem (se '*Global Navigation Satellite Systems*')

*'Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema', GLONASS* – ett ryskt satellitbaserat navigations- och positioneringssystem (se '*Global Navigation Satellite Systems*')

- '*Ground truth*', '*gold standard*' – tillförlitlig information som erhållits genom direkt observation och kan användas vid utveckling av sensorbaserade system för 'precision livestock farming'
- '*Hit rate*' – ett mått på förmåga att känna igen objekt i bilder; används vid bildanalys
- Informationsteknologi, IT* – samlingsbegrepp för datorteknik och telekommunikation
- '*Internet of Things, IoT*' – "sakernas internet"; föremål eller apparater med inbyggd elektronik och Internetuppkoppling, vilket möjliggör integration av den fysiska världen i datasystem och gör att föremålen eller apparaterna kan styras eller utbyta data över Internet
- Konkordanskoefficient* (engelska '*Concordance Correlation Coefficient*') – ett mått på samstämmigheten mellan två variabler; kan liksom Pearsons korrelationskoefficient anta värden mellan -1 och 1 och har en liknande tolkning; används t ex för att utvärdera reproducerbarhet eller överensstämmelse mellan bedömare
- Maskin-till-maskin-kommunikation, M2M* – samlingsnamn för teknik som med antingen trådlösa eller trådbundna system möjliggör kommunikation mellan olika enheter eller apparater; en integrerad del av 'Internet of Things'
- Molntjänst* – IT-tjänst som tillhandahålls över Internet; kan innebära att information lagras i "molnet", d.v.s. på en enhet som anslutits till Internet
- '*Multihop*'-kommunikation – nätverk där flera flera sensornoder kommunicerar med varandra över radio
- Virtuellt stängsel, osynligt stängsel* – struktur som fungerar som inhägnad, hinder eller gräns men utan någon fysisk barriär
- Pearsons korrelationskoefficient* ( $r$  eller  $r_p$ ) – statistiskt mått på det linjära sambandet mellan två variabler; kan anta värden mellan -1 och 1, där värdet -1 anger ett perfekt negativt samband (i ett diagram med de två variablerna på varsin axel ligger mätpunkterna på en rät linje som lutar "nedåt"), värdet 0 total avsaknad av samband och värdet 1 ett perfekt positivt samband (mätpunkterna ligger på en linje som lutar "uppåt")
- Positivt prediktivt värde* – statistiskt mått på andelen av objekten eller mätningarna som med ett test eller en mätmetod identifieras som positiva som också är sant positiva; om t.ex. sjukdom räknas som "positivt utfall", 50 djur i en grupp identifieras som sjuka i ett mätsystem men om bara 20 verkligen är sjuka är det positiva prediktiva värdet 40 %; en funktion av systemets sensitivitet och specificitet samt prevalensen av det som mäts (d.v.s. hur vanligt det som mäts är)
- '*Precision Livestock Farming*', *PLF* – precisionsdjurhållning, vanligen med användande av sensor- och informationsteknologi

- '*Radiotransciever*', *sändtagare* – kombinerad sändare och mottagare av radiosignaler
- '*Real Time Kinematic-GPS*', *RTK-GPS* – en metod för relativ positionsbestämning med GPS i realtid
- '*Radio Frequency Identification*', *RFID* – en teknik för att läsa information på avstånd från transpondrar och minnen, så kallade taggar, som kan fästas på de djur som övervakas
- '*Receiver Operating Characteristic curve*', *ROC-kurva* – ett diagram som illustrerar den diagnostiska förmågan hos ett binärt klassificeringssystem (förmågan att skilja på ja och nej eller 1 och 0), när tröskeln för utslag varieras; ROC-kurvan skapas genom att avsätta andelen sant positiva (sensitiviteten) mot andelen falskt positiva (1 - specificitet) vid olika tröskelvärden; ytan under kurvan ('Area Under Curve, AUC') är ett mått på förmågan hos systemet att kombinera en hög sensitivitet med en hög specificitet
- Relativ positionsbestämning* – mottagarens position bestäms i förhållande till en känd referenspunkt på jordytan
- Reliabilitet* – sammanfattande begrepp som uttrycker tillförlitligheten hos en mätning, t.ex. i vilken grad mätresultatet är detsamma vid upprepade mätningar ("test–retest-reliabilitet" eller repeterbarhet); resultatet är oberoende av vem som utför testet ("interbedömarreliabilitet") och olika delar av det använda måttet mäter samma sak (intern konsistens)
- Sensitivitet* – statistiskt mått på andelen av de sant positiva objekten eller mätningarna som identifieras som positiva med ett test eller en mätmetod; om t.ex. sjukdom räknas som "positivt utfall", 50 djur i en grupp är sjuka och ett mätsystem bara upptäcker 40 av dem är systemets sensitivitet 80 %
- Sensor* – samlingsbegrepp för en apparat eller givare som samlar in, konverterar och i vissa fall lagrar och distribuerar någon form av signal eller data; ett djurs sinnesorgan kan betraktas som naturliga biologiska sensorer
- Specificitet* – statistiskt mått på andelen av de sant negativa objekten eller mätningarna som identifieras som negativa med ett test eller en mätmetod; om t.ex. sjukdom räknas som "positivt utfall", 50 djur i en grupp är friska och ett mätsystem bara upptäcker 30 av dem är systemets specificitet 60 %
- Spearman's rangkorrelationskoefficient* ( $r_s$  eller  $\rho$ ) – statistiskt mått på det linjära sambandet mellan rangnumren för två variabler; kan liksom Pearsons korrelationskoefficient anta värden mellan -1 och 1; används bl a för ordinala variabler och icke normalfördelade värden
- Tagg* – transponder eller minne som skickar signaler till en läsare vid 'Radio Frequency Identification'

*Tillförlitlighet* – sammanfattande term som omfattar driftsäkerhet, funktionssäkerhet, underhållsmässighet och underhållssäkerhet; nära besläktat med begreppen reliabilitet och validitet

*Trilateration* – bestämning av den absoluta eller relativa positionen av en punkt genom att använda geometri hos sfärer eller trianglar

*Validitet* – mått på en mätningens relevans, alltså i hur hög grad den verkligen återspeglar det man vill mäta; termen *validering* används ibland för metoder att bedöma en modell eller process med avseende på dess funktionssäkerhet och reliabilitet

*WiFi* – teknik för trådlösa nätverk

'*Wireless Sensor Network*', *WSN*, *trådlöst sensornätverk* – ett antal rumsligt spridda sensorer för övervakning och registrering av fysiska förhållanden och organisering av samlade data på en central plats

*ZigBee* – en standard för trådlös styrning och övervakning av t.ex. elektronisk utrustning i hem

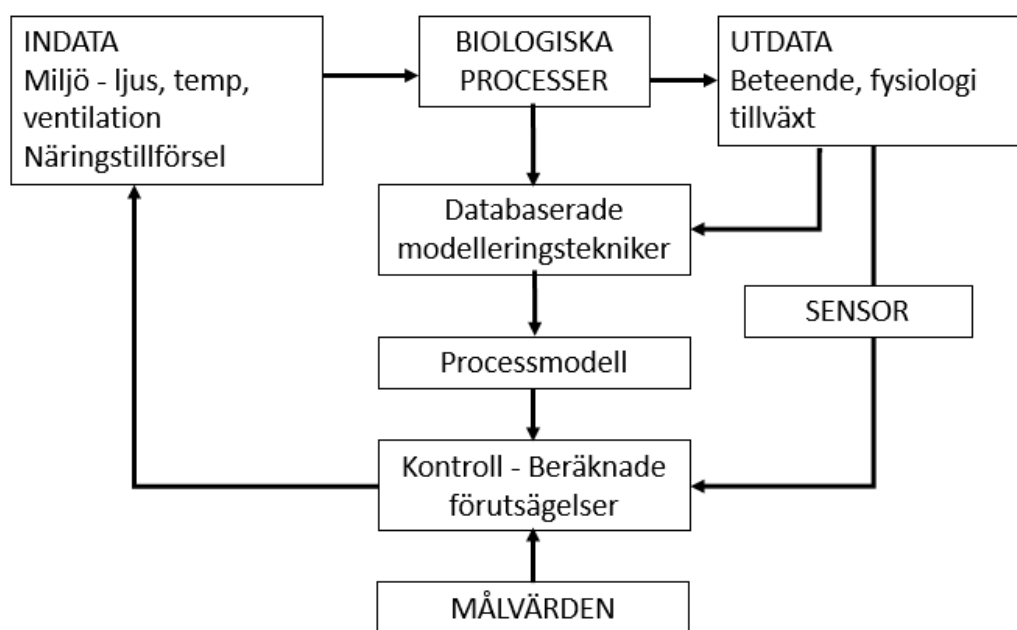
### 3 Användning av digital teknologi i djurhållningen

#### 3.1 *Precision Livestock Farming*

Användning av sensorteknologier i animalieproduktionen är en relativ ny företeelse där utvecklingen startade på allvar med utvecklingen av mjölkningsroboten på 1990-talet. Sedan ungefär 2000 benämns användningen av sådana teknologier '*Precision Livestock Farming*' (PLF). Någon etablerad svensk benämning finns inte, men ibland används begreppet "precisionsdjurhållning". PLF innebär användning av modern informationsteknologi (IT) för att öka effektiviteten och kvaliteten i djuruppfödning och produktion av animaliska produkter såsom kött, mjölk, ägg och ull. PLF har definierats som skötselsystem vilken erbjuder kontinuerlig, automatisk övervakning och kontroll av djurhälsa, djurvälstånd, produktion, reproduktion och miljöpåverkan i realtid (Wathes *et al.*, 2008; Berckmans, 2017).

Genom att PLF innebär automatisk och kontinuerlig övervakning av djuren kan lantbrukaren omedelbart upptäcka förändringar i t.ex. djurens beteende, hälsotillstånd och välfärd (Wathes *et al.*, 2008; Richeson *et al.*, 2018). På många gårdar finns avancerad teknik för att mäta och registrera exempelvis stallklimat och produktionsresultatet, men med PLF kan även djurens tillstånd och aktiviteter observeras och registreras. PLF har potential att till stor del ersätta direkta observationer på plats, vilka eventuellt bara kan utföras någon eller några gånger per dygn.

Den tekniska utvecklingen har under senare år gått snabbt och precisa, effektiva samt prisvärda sensorer och instrument är tillgängliga. Till sensorerna räknas kameror, mikrofoner, accelerometrar (eventuellt med gyroskop), termometrar, konduktivitetsgivare (i hud eller mjölk) och positionsgivare. För att överföra, bearbeta och tolka information från sensorerna används utrustning för trådlös kommunikation, internetanslutningar, datalagring i ”molnet” (på Internet) och flera andra teknologier. Informationen från sensorerna kan användas för att omedelbart varna eller korrigera djurhållaren vid givna avvikelser. Till att börja med användes PLF för att övervaka gris och fjäderfä men tidigt insågs att den även kan användas i extensiv djurhållning (Frost, 2001). Figur 1 visar principerna för hantering av information om biologiska processer i PLF.



Figur 1. Schematisk bild av huvudkomponenterna i Precision Livestock Farming för att hantera information om biologiska processer såsom djurens beteende, fysiologi och tillväxt (efter Aerts et al., 2003; Wathes et al., 2008).

PLF förutsätter användning av sensorer och matematisk behandling av data som genereras av dessa, vilket resulterar i information som jämförs med förväntade värden. Jämförelsen kan sedan leda till någon typ av automatisk eller manuell åtgärd, t.ex. en varning till djurskötaren om att djuret inte följer ett förväntat mönster (Wathes et al., 2008).

PLF-modellen i Figur 1 bygger på signaler från sensorer som skickas till en processkontroll där dynamiska matematiska beräkningar ger resultat i realtid som sedan jämförs med ett målvärde för processen ifråga, som beteende eller tillväxtkurva. Detta följs av en kontrollfunktion som avgör om informationen från sensorn stämmer överens med målvärdet. Vid förutbestämda avvikelser utlöses ett larm (Wathes *et al.*, 2008).

Det kan således konstateras att digital teknik i djurhållningen blir allt vanligare och att det finns ett betydande kommersiellt intresse för fortsatt utveckling, liksom att tekniken sannolikt erbjuder radikalt ökade möjligheter för tillsyn av djur och att upptäcka djur med behov för extra omvårdnad, även om de tekniska och praktiska svårigheterna inte bör underskattas.

### 3.2 Teknikens tillförlitlighet

Funktionssäkerheten och validiteten hos ett PLF-system, t.ex. utrustning för upptäckt av oönskat beteende, kan bedömas med olika metoder. Beroende på vilken teknologi det handlar om används olika mått. Ett perfekt system upptäcker alla de tillstånd eller händelser i verkligheten som det förväntas upptäcka (100 % sensitivitet) och ger samtidigt inte falskt utslag när tillstånd inte föreligger eller händelser inte inträffar (100 % specificitet). Omvänt uttrycker det positiva prediktiva värdet hur stor andel av utslagen från systemet som faktiskt motsvaras av ett tillstånd eller en händelse i verkligheten. Åtgärder för att öka systemets känslighet (höja sensitiviteten) genom att sänka tröskeln för utslag leder med nödvändighet till falskt positiva utslag (låg specificitet). Sambandet mellan sensitivitet och specificitet för olika tröskelvärden kan illustreras grafiskt med en '*Receiver Operating Characteristic curve*' eller ROC-kurva och förmågan hos systemet att kombinera en hög sensitivitet med en hög specificitet kan beräknas som arean under kurvan. Andra vanliga statistiska kvalitetsmått är korrelationskoefficienter (Pearson eller Spearman) och konkordanskoefficient som uttrycker graden av linjärt samband mellan två storheter, t.ex. verkligt tillstånd och sensorsignal, samt determinationskoefficient ( $R^2$ ) som uttrycker hur stor andel av variationen hos en studerad storhet som kan förklaras av en eller flera andra variabler (en statistisk modell). Inom bildanalys används begreppet *hit rate* som beskriver förmågan att korrekt känna igen objekt i bilder.

Det finns inga vedertagna statistiska mått för att validera funktionen hos olika sensorer och inte heller någon allmän överenskommelse om vad som krävs för att ett system ska anses vara validerat. Det är därför svårt att jämföra funktionaliteten hos olika mätsystem. Det har föreslagits införande av enhetliga valideringsprotokoll som omfattar: användarvänlighet, reliabilitet och gemensam standard för statistiska mått vilka möjliggör jämförelser av olika

system (Løvendahl, 2017). Införandet av sådana protokoll skulle underlätta tolkningen av forskningsresultat och förbättra valideringsstudiernas tillförlitlighet. Riktlinjer för utvärdering av sensorteknologier utarbetas för närvarande av en internationell arbetsgrupp (International Committee for Animal Recording, 2018).

Arbetet med att utveckla ett PLF-system som ger meningsfull information innebär att sensorsignalerna märks med tillförlitlig information som erhållits genom direkt observation, s.k. 'ground truth' eller 'gold standard'. Sambandet mellan sensorsignalen och de verkliga observationerna används för att utveckla algoritmer, vilka används för att kunna tolka signaldata till relevant information. Tillförlitligheten hos algoritmerna testas på okända signaldata som är märkta med 'ground truth'-observationer, vilket innebär en validering av PLF-systemet.

En risk med användning av avancerad teknologi i den dagliga djurtillsynen är att sensorer eller datorsystem kan sluta fungera eller på annat sätt störas, vilket äventyrar tillförlitligheten. Det saknas överlag kunskap om driftsäkerheten hos de olika kommersiella systemen, liksom larm för avbrott eller störningar. Det kan antas att molntjänster har större säkerhet än lokala system då centrala system vanligen har en inbyggd säkerhetskopiering. Möjligheten att studera olika system i detalj har inte kunnat göras för att avgöra i vilken utsträckning insamlade data sparas och hur det går att återskapa data vid avbrott.

Sammanfattningsvis är driftsäkerheten hos olika kommersiella digitala system för djurtillsyn till stor del okänd, liksom förekomsten av eller funktionen hos larm för avbrott eller störningar.

### *3.3 Lagstiftning om digitala hjälpmedel vid djurvälståndsovervakning*

Bestämmelser om tillsyn, förvaringsutrymmen, inredning och utrustning för djurhållning regleras från den 1 april 2019 av framför allt djurskyddslagen (SFS 2018:1192), djurskyddsförordningen (SFS 2019:66) och Statens jordbruksverks föreskrifter och allmänna råd (SJVFS 2019:18 och 2019:21) om nötkreaturs- respektive fårhållning inom lantbruket m.m. Tillika har Transportstyrelsen gett ut föreskrifter (TSFS 2017:110) om obemannade luftfartyg, som i viss mån reglerar användningen av drönare.

Både nötkreatur och får ska ges tillräcklig tillsyn (2 kap. 4 § djurskyddslagen). Enligt Jordbruksverkets föreskrifter innebär det i normala fall tillsyn minst en gång dagligen, men om djuret avviker från det normala ska tillsynen ske oftare. Djuren ska hållas på ett sådant sätt att

tillsynen kan genomföras. Dessutom ska automatiska system som kan påverka djurskydd och djurhälsa kontrolleras dagligen. Om ett djur bedöms som sjukt, skadat eller genom sitt beteende visar tecken på ohälsa ska åtgärder vidtas snarast (4 kap. 1 § djurskyddslagen).

Utrustning, såsom djurbaserade sensorer och GPS-halsband, ska enligt 2 kap. 7 § djurskyddslagen utformas så att de inte medför risk för att djuren skadas eller att deras hälsa eller beteende påverkas.

Användning av elektricitet för att styra djurbeteende är hårt reglerad i svensk lagstiftning. Enligt djurskyddsförordningen 2 kap. 16 § är det inte tillåtet att använda utrustning som ger elektriska stötar i avsikt att styra ett djurs beteende. Användning av elstängsel till inhägnader utomhus är dock undantagna enligt 2 kap. 17 § djurskyddsförordningen.

Virtuella stängsel, med hjälp av elektriska impulser, kan liksom elstängsel användas för att hålla djur inhägnade eller utestängda, liksom för att flytta djur på bete. Enligt 2 kap. 1 § djurskyddslagen ska djur behandlas väl och skyddas mot onödigt lidande och sjukdom. Länsstyrelser har i vissa fall tolkats det som att djurägare i områden där det förekommer rovdjur har skyldighet att vidta åtgärder, vanligtvis stängsling, för att försöka hålla rovdjuren ute. Ett virtuellt stängsel erbjuder inget sådant skydd mot rovdjur. Enligt 6 kap. 3 § djurskyddslagen och 6 kap. 5 § djurskyddsförordningen ska ny teknik förprövas. Detta regleras ytterligare i Staten jordbruksverks föreskrifter (SJVFS 2019:13) om godkännande av ny teknik.

Vad gäller användningen av drönare och andra obemannade luftfartyg anger Transportstyrelsens föreskrifter (TSFS 2017:110) bland annat var och under vilka förhållanden sådana farkoster får flygas, flyghöjd, vikt och möjlighet att flyga dem inom respektive utom synhåll. Luftfartygen delas in i kategorier där flygning med lättare fartyg och inom synhåll är mindre hårt reglerad än flygning med tyngre fartyg och utom synhåll. Flygning inom synhåll innebär förenklat att den som ansvarar för flygningen (piloten) måste kunna se planets position och färdriktning utan hjälp av kamera eller kikare. Piloten måste även säkert kunna ta över manövreringen och styra undan planet för att undvika kollision med andra objekt i luften eller på marken.

Rådet vill uppmärksamma Jordbruksverket på att lagstiftningen som är tillämplig vid drivning eller transport av djur med hjälp av drönare är svårtolkad, då drönare i dessa sammanhang ännu inte är ett definierat begrepp. Drivning av djur ska enligt Jordbruksverkets föreskrifter utföras på ett sådant sätt att djuren tydligt kan uppfatta drivvägen och att djuren hanteras lugnt.



De ökande tekniska möjligheterna att övervaka djurhållning leder också till större möjligheter för myndigheterna att kräva att få tillgång till övervakningsdata och hur larm hanterats. I en promemoria (Näringsdepartementet, 2018) för anpassning av EU:s nya kontrollförordning (2017/625) ska djurhållarna, i enligt med artikel 15.1, där behöriga myndigheter så kräver, i den utsträckning som det är nödvändigt för att genomföra offentlig kontroll eller annan offentlig verksamhet, ge behöriga myndigheters personal tillgång till bland annat utrustning, datoriserade informationshanteringssystem, samt dokument och annan relevant information. Enligt artikel 15.6 gäller dessa skyldigheter även vid offentlig kontroll eller om annan offentligt verksamhet genomförs av bl.a. officiella veterinärer, organ med delegerade uppgifter, eller till personer som delegerats vissa uppgifter i offentlig kontroll eller annan offentlig verksamhet.

#### 4 Sensorteknologi

En sensor registrerar tillstånd eller händelser i omvärlden, exempelvis genom att mäta fysiska, fysiologiska eller beteendemässiga indikatorer hos djur eller i djurmiljön. En förändring i djurhållningen kan uppfattas av en sensor och ge information om djurens tillstånd, t.ex. hälsa, och huruvida djurskötaren behöver vidta åtgärder (Helwatkar *et al.*, 2014; Rutten *et al.*, 2013).

Sensorer kan delas in i två huvudkategorier, djurbaserade och icke djurbaserade. Djurbaserade sensorer kan antingen fästas på djuret i form av öronbrickor, halsband eller liknande, eller inuti djuret i form av våmbolus eller implantat. Icke djurbaserade sensorer är placerade i djurens omgivning. Till de senare räknas bland annat kameror och automatiska vågar. Fördelen med icke djurbaserade sensorer är att en sensor kan övervaka flera djur, medan en nackdel är att de inte ger kontinuerlig information om det enskilda djuret (Helwatkar *et al.*, 2014).

Det finns en mängd olika kommersiellt tillgängliga sensorer som kan användas för hälso- och välfärdsövervakning av djur. De är vanligen framtagna för användning inom mjölkproduktionen, men den tekniska utvecklingen av infrastruktur för exempelvis dataöverföring möjliggör även tillämpning på betesdjur utomhus (Tabell 1).

Tabell 1. Exempel på sensorer som används inom mjölkproduktionen, vad de mäter och vad larmsignalen kan informera lantbrukaren om (anpassad efter Palczynski, 2019).

Typ av sensor	Mått	Information
Aktivitet	Aktivitet/beteende	Brunst
	Idissling	Hälsa
	Liggtid	Hälta
	Stegantal	Kalvning
	Ättid	
pH-sensor	Våm-pH	Acidos
		Våmstatus
Kamera	Aktivitet	Ketos
	Kroppsform	Hull
	Temperatur	Hälta Mastit
Termometer	Temperatur	Hälsa
		Kalvning
		Vattenintag
Mikrofon	Idisslingstid	Brunst
		Idissling
		Kalvning

#### 4.1 Fysiologiska sensorer

Övervakning av kroppstemperatur kan användas för att identifiera hälsostörningar, förändringar kopplade till reproduktion, värmestress och nedkylning hos djuret. Det finns ett flertal kommersiella sensorer för kroppstemperatur, där de vanligaste fästs i en öronbricka eller ges i form av en våmbolus. Tillförlitligheten hos öronbrickor försämras om de fästs felaktigt på kroppen och av temperaturförändringar i omgivningen. I en studie av temperatursensorer i öronbrickor hos kalvar i feedlot-uppfödning larmade sensorn för luftvägslidande i endast 42 % av de kliniskt konstaterade fallen (McCorkell *et al.*, 2014). Våmbolus kan påverkas av foder- och vattenintag samt våmflora. Temperaturförändringar som uppstår när djuret dricker kan användas för att beräkna vattenintaget och systemet kan även varna för om djuret inte druckit under en viss tid (Koltes *et al.*, 2018).

Våmbolus med pH-sensorer kan användas för att följa djurets våmstatus och hälsostörningar vilka leder till en sänkning av pH, ofta sammanhängande med utfodring med kraftfoder. Sådana störningar kan upptäckas med kommersiellt tillgängliga våmbolus (Humer *et al.*, 2015). Med bolus kan även förändringar i betestillgång och betets komposition upptäckas då dessa påverkar våm-pH (Gasteiner *et al.*, 2012). Flera studier har visat att det går att upptäcka subakut våmförurning (våmacidos) med hjälp av kommersiellt tillgänglig bolus som mäter pH och temperatur (Antanaitis *et al.*, 2016; Jonsson *et al.*, 2019).

#### 4.2 Beteendesensorer

Förändringar i beteende, som minskad aktivitet, ätbeteende eller idissling kan kopplas till normala tillstånd som brunst och kalvning, men även till sjukdomstillstånd och smärta. En individs eller grups förändring av beteende kan inte alltid kopplas till ett särskilt tillstånd, men kan indikera att djurhållaren bör vidta åtgärder. Kontinuerlig övervakning av ett djurs beteende gör det möjligt att identifiera inte bara sjuka djur, utan även djur som löper risk att utveckla hälsostörningar (Weary *et al.*, 2009).

De vanligast förekommande sensorerna för att mäta aktivitet är 3D-accelerometrar. De kommersiellt tillgängliga 3D-accelerometrarna fästs vanligen runt djurets hals eller ben, eller i öronbrickor, men kan även användas i våmbolus. Beroende på var sensorn placeras kan de mäta olika beteenden. Sensorer som fästs runt djurets ben kan ge information om aktivitet (total rörelsemängd av sensorn), steg, samt ligg- och ståbeteende (antal gånger djuret lägger sig och reser sig). Sensorer som fästs runt halsen eller i örat på djuret ger ofta endast information om aktivitet (total rörelsemängd) (Rutter, 2015).

Det finns ett flertal tekniker för att mäta idissling och ätbeteende där de vanligast förekommande är 3D-accelerometrar, tryckmätare och mikrofoner (Delagarde och Lamberton, 2015; Ruuska *et al.*, 2016; Chelotti *et al.*, 2016; Andriamandroso *et al.*, 2017; Mansbridge *et al.*, 2018). De kommersiellt tillgängliga och använda systemen använder främst 3D-accelerometrar och mikrofoner. Beroende på system kan de ge information om idisslingsmängd, antal tuggor samt skatta foder- och vattenintag (Lalaina *et al.*, 2016).

#### 4.3 Övervakning inomhus

Studier där 3D-accelerometrar fästs runt djurens ben har visat att mjölkkor med lindrig mastit uppvisar en reducerad liggtid jämfört med friska djur samt ger ett mer aktivt och oroligt beteende (Cyples *et al.*, 2012; Medrano-Galarza *et al.*, 2012; Fogsgaard *et al.*, 2015). Neave *et al.* (2018) visade att kor som senare diagnostiserades med metrit (livmodersinflammation)

också uppvisar en reducerad liggtid samt färre men längre liggperioder jämfört med friska individer. I en studie av luftvägsinfektioner hos ettåriga tjurar kunde en minskning av aktivitet och idissling ses hos dem som 3-6 dagar senare diagnostiserades kliniskt med luftvägslidande. Sensitiviteten var 0,70–0,80 och specificiteten 0,95–0,96 (Marchesini *et al.*, 2018). Med 3D-accelerometrar har det även visats att kalvar på stall som infekterats med betesburna magtarmparasiter uppvisar ett lägre antal liggsejourer samt att de tar färre steg än friska djur (Szyszka *et al.*, 2013).

Flera studier har påvisat att beteendeförändringar i samband med hälta kan mätas med hjälp av 3D-accelerometrar. Kokin *et al.* (2014) visade att halta kor har en ökad ståtid samt rör sig mindre. Chapinal *et al.* (2010) visade att halta kor uppvisar längre liggperioder och rör sig långsammare. Dessutom visade Thorup *et al.* (2015) att 3D-accelerometrar som fästs runt djurens ben kan användas för att tidigt upptäcka lindriga hältor och att djuren rör sig mer när de står stilla, vilket kan tolkas som att djuren är oroliga eller upplever smärta.

Det har även visats att mjölkkor som senare diagnostiserats med klinisk ketos uppvisar en 20 % kortare liggtid än friska individer, veckan innan kalvning samt 35 % kortare liggtid dagen för kalvning (Itle *et al.*, 2015).

Forskningen visar att sensorsystem kan upptäcka en rad olika typer av infektionssjukdomar, metabola störningar och motoriska skador. Flera av tillstånden kan även upptäckas i ett tidigare skede om sensorer används än vid manuell övervakning. Systemen kan således inte enbart övervaka djurhälsan kontinuerligt utan har även möjlighet att förbättra den. Helwatkar *et al.* (2014) föreslog att en kombination av sensorer (3D-accelerometer, termometer och mikrofon) kan användas för att upptäcka de vanligast förekommande hälsostörningarna hos mjölkkor. Vilket talar för ett behov av att integrera sensorsystem med skötselsystem för att öka teknikens användbarhet (Bewley *et al.*, 2017).

Endast ett fåtal av de kommersiellt tillgängliga sensorsystemen har validerats i vetenskapliga artiklar (Tabell 2). Det är värt att notera att dessa system primärt är framtagna för användning i mjölkbesättning på stall och att kommersiella lösningar för att användas på extensiva beten i dagsläget inte är tillgängliga.

Tabell 2. Kommersiellt tillgängliga och vetenskapligt validerade sensorer för användning på bete.

Produktnamn	Tillverkare	Funktioner	Teknik	Prestanda <sup>1</sup>	Referenser	
RumiWatch System	Itin + Hoch (Liestal, Schweiz)	Betestid och idissling (grimma); Liggtid, ståtid och rörelsetid (benfäste)	Accelerometer, tryckmätare (tugg rörelser)	Betestid Idissling Liggtid Rörelsetid Ståtid	$r_s$ 0,91–0,98; CCC 0,95–0,98 $r_s$ 0,97–0,98; CCC 0,93–0,94 $r_s$ 0,99; CCC 1,00 $r_s$ 0,78; CCC 0,92 $r_s$ 0,97; CCC 1,00	Werner <i>et al.</i> , 2018a; Werner <i>et al.</i> , 2018b; Rombach <i>et al.</i> , 2018
IceTag	IceRobotics (Edinburgh, Skottland)	Liggtid, stegantal och ståtid (benfäste)	Accelerometer	Liggtid Stegantal Ståtid	Sens 0,99 $r^2$ 0,97 Sens 0,98	Ungar <i>et al.</i> , 2018
CowManager SensOor	Agis Automatisering (Harmelen, Nederländerna)	Aktivitet, idissling och ättid (öronbricka)	Accelerometer	Aktivitet Idissling Ättid	CCC 0,19–0,52; $r_p$ 0,20–0,65 CCC 0,71; $r_p$ 0,72 CCC 0,88; $r_p$ 0,88	Pereira <i>et al.</i> , 2018
Heatime HR LD System	SCR Dairy (Netanya, Israel)	Aktivitet, betestid och idissling (halsband)	Accelerometer	Aktivitet Betestid Idissling	CCC 0,95; $r_p$ 0,97; Sens 0,77; Spec 0,99; PPV 0,93 CCC 0,99; $r_p$ 0,99; Sens 0,98; Spec 0,97; PPV 0,99 CCC 0,80; $r_p$ 0,80; Sens 0,87; Spec 0,98; PPV 0,91	Molfino <i>et al.</i> , 2017

<sup>1</sup>  $r_s$ =Spearman's rangkorrelationskoefficient;  $r_p$ =Pearson's korrelationskoefficient; CCC=konkordanskoefficient; Sens=sensitivitet; Spec=specificitet; PPV=positivt prediktivt värde;  $r^2$ =determinationskoefficient.

#### 4.4 Övervakning utomhus

Det finns stora möjligheter att användningen av sensorer för att övervaka djurs hälsa och välfärd kan främja hållandet av djur på extensiva beten. Emellertid finns svårigheter med att använda sensorteknik i samma utsträckning som inom mjölkproduktion inomhus. I dagsläget utgörs det största hindret av tekniska begränsningar för informationsöverföring och energiförsörjning. De system som numer saluförs för användning på extensiva beten är inte heller validerade genom vetenskapliga studier. Det är därför av stor vikt att det i fortsättningen genomförs valideringsstudier.

Ett begränsat antal studier av metoder för att diagnostisera sjukdom samt nedsatt välfärd på bete har gjorts och de som genomförts rör oftast mjölkkor på bete. Ett fåtal studier av får har också genomförts. Sepúlveda-Varas (2016) följde, på kommersiella gårdar, nykalvade kor på bete med 3D-accelerometrar. Han visade att förstagångskalvare som utvecklade kalvningsrelaterad klinisk sjukdom inom tre veckor efter kalvning uppvisade en förlängd liggtid jämfört med friska individer, samt att äldre kor som drabbades av hälsa hade en förlängd liggtid. Forbes (2004, 2000) visade med tryckmätare att kalvar som infekterats naturligt med magtarmparasiter på bete minskar sin betestid samt att mjölkkor infekterade med magtarmparasiter på bete minskade antalet tuggor och ättid.

Barwick *et al.* (2018) kunde med hjälp av en 3D-accelerometrar i öronmärken upptäcka hälsa hos får med ett positivt prediktionsvärde på 80 %. Burgunder *et al.* (2018) visade med hjälp av 3D-accelerometrar att får som hade infekterats med magtarmparasiter på bete uppvisade mindre komplexitet i sin aktivitet än djur som hade avmaskats.

Duncan och Meyer (2019) visade att mjölk- och köttkor som hålls i fällor utomhus i samband med kalvning uppvisade en förändring i aktivitet och drog då slutsatsen att detta kan användas för att indikera att kalvning påbörjats.

Användning av sensorsystem för betesdjur styrs av kostnaden för systemet i relation till förtjänsten. Flera faktorer påverkar vad förtjänsten blir, bland annat djurslaget. Livdjursvärdet hos får understiger till exempel ofta kostnaden för tillgängliga kommersiella system.

Manuell tillsyn av djur på extensiva beten är tidskrävande och kan vara svår att genomföra på grund av hur geografien ser ut. Utvecklingen av sensorteknik för att användas på extensiva beten kan möjliggöra att tekniken används som ett komplement till den manuella tillsynen.

Kommersiellt tillgängliga sensorer kan användas för övervakning av många olika slags djur inom ett begränsat område där det är lätt att på avstånd fånga upp signaler trådlöst. Det finns också ett stort antal kommersiella sensorer som kan användas för hälso- och välfärdsövervakning av djur. Den tekniska utvecklingen mot effektivare dataöverföring ökar möjligheterna att använda tekniken till djur som visas utomhus över stora ytor.

## 5 Kamerateknologi

Fast monterad kamera som förmedlar stillbilder eller filmer kan användas för djurtillsyn. Nyttan är dock begränsad om djuren rör sig över stora ytor och hamnar utanför kamerans synfält. Kameror monterade på fjärrstyrda obemannade luftfarkoster, s.k. drönare, är därför mer användbara. En fördel med att använda sig av drönare är att de även ger en bild av landskapet som kan användas för beteendestudier, som av sociala interaktioner. Kameraövervakning är också ett billigare alternativ till GPS-teknologi, då GPS-halsband är kostsamma och ett litet urval av studieobjekten riskerar att inte bli representativt.

Mängden data som samlas in när drönare används för övervakning beror dels på vilken yta per flygning som farkosten klarar av att bevaka (beroende på planets räckvidd och andra egenskaper) och dels på hur väl systemet kan detektera det objekt som ska studeras (beroende på kamerans bildupplösning). Vilket innebär att flyghöjden ofta blir en kompromiss mellan att ha en god bildupplösning och samtidigt som att täcka en stor markyta.

Beroende på vilken typ av kamera eller annan sensor som används kan mörker, tät vegetation och bristande kontrast mellan omgivningen och det som ska studeras, exempelvis på grund av skuggor, innebära svårigheter. I de flesta studier av drönare och utegående djur analyseras enskilda färgbilder, vilket normalt är fullt tillräckligt när boskap ska lokaliseras. I en studie av (Mulero-Pázmány *et al.*, 2015) kunde både vuxna nötkreatur och kalvar urskiljas från andra hovdjur som vildsvin och hjortdjur med en kommersiell 11 Mbit pixelkamera från 100 meters höjd. Beroende på vegetationens täthet kunde antalet djur över- eller underskattas något.

Det finns flera exempel på tillämpningar av kamerateknik och bildanalys för att övervaka djur, både från drönare och från kameror placerade på marken. Värmekameror registrerar den infraröda strålning (värmestrålning) som avges från djurens kroppsytan och kan enkelt urskilja djur i mörker, vilket gör det möjligt att övervaka djuren dygnet runt. För drönare som använder värmekamera för att hitta och identifiera olika djurslag utgör tidpunkten på dygnet eller förekomsten av skuggor eller tät vegetation ett mindre problem. Trots det kan även dessa

system ha svårt att lokalisera djur mitt på dagen i tät vegetation (Mulero-Pázmány *et al.*, 2014). Vilket beror på att den reflekterade värmestrålningen från en yta varierar starkt beroende på om den utsätts för direkt eller indirekt solljus. Mitt på dagen i direkt solljus kan vegetationen reflektera värme motsvarande den som ett levande djur ger. Olika ytor har även olika förmåga att spegla omgivande objekts värmestrålning. Den strålning från djur som en värmekamera uppfångar behöver inte ha något direkt samband med djurets kroppstemperatur, då den avgivna värmen bland annat beror på den isolerande effekten av hud, päls m.m.

Nya analysmetoder som kombinerar redan publicerade algoritmer för maskininlärning med värmekamerabilder från drönare har automatiskt kunnat detektera koalor i det fria med högre precision än under jämförbar tid med manuellt analyserade bilder (Corcoran *et al.*, 2019). Den tid som åtgår för den automatiska metoden består främst av processtid eftersom datorn arbetar utan mänsklig inblandning. I studien som använde GPS-märkta koalor som referensmaterial kunde koalorna urskiljas trots betydligt mer komplicerad terräng, större ytor och lägre koncentration av djur än i tidigare publicerade studier. Koalorna kunde även särskiljas från andra värmealstrande objekt som människor och kängurur.

I en jämförelse av positionsnoggrannhet mellan processade bilder från drönare och GPS-halsband, var drönarsystemet överlägset med en noggrannhet på mellan 1 och 3 meter, jämfört med GPS-halsbandens 26 meter (Mulero-Pázmány *et al.*, 2015). Djuren i studien verkade inte bli påverkade av närvaron av drönare, vilket är en fördel vid beteendestudier. Dock har visats att vilda djur kan bli stressade av drönare, även om de också kan vänja sig successivt (Ditmer *et al.*, 2018; Rümmler *et al.*, 2018). Effekten av drönare på tamdjur behöver studeras vidare.

Det pågår en snabb utveckling av bildanalysalgoritmer för lokalisering och identifiering av djur utomhus. Att lokalisera djur är dock betydligt vanligare än att även identifiera dem. Andrew *et al.* (2017) använde filmsekvenser tagna med drönare för att skapa algoritmer som kunde hitta och identifiera Holsteinkor på bete. I en flock på 23 djur kunde djuren hittas och identifieras till 98 %, vilket är robust nog att ersätta existerande märkningsmetoder med RFID-taggar i uppsättningar med få djur och med begränsad vegetation.

Drönare utrustade med kamera har börjat användas mer och mer för att räkna djur och studera djurs beteende i landskapet. I ett naturreservat i Namibia med över 3000 djur av 20 olika arter utfördes en studie där man fotograferade landskapet med hjälp av drönare, för att identifiera stora däggdjur i den miljö de befann sig i (Kellenberger *et al.*, 2018). Sådan teknik är speciellt användbar när man behöver inventera många djur över stora ytor. Falsklarm, då objekt i



landskapet identifierades som djur var dock ett problem, men algoritmerna för att identifiera djur kunde förbättras genom att korrigera för fel i tolkningen.

Beroende på vilken art man är intresserad av så finns olika beteenden att observera. I en studie av nordamerikansk vildren (caribou) i Kanada användes kameror på drönare för att fotografera och filma djurens rörelsemönster och deras interaktioner (Torney *et al.*, 2018). De sociala interaktionerna mellan djuren under flytt kunde undersökas i detalj med hjälp av det insamlade bildmaterialet. Ålder och till viss del kön visade sig vara avgörande för hur en individ interagerade med resten av flocken, där de vuxna djuren följde efter varandra medan kalvarna sökte mer direkt kontakt med de vuxna istället för att bara gå i deras spår (Torney *et al.*, 2018). Beteendeobservationer i forskningssyfte är dock delvis något annat, än rutinmässig tillsyn av djur i syfte att identifiera sjuka eller skadade djur.

Drönare utrustade med kamera har således stor potential att användas för tillsyn av djur som hålls på stora ytor, även om tekniken behöver utvecklas ytterligare för att användas för bedömning av djurvälstånd under krävande förhållanden, t.ex. nattetid och i tät vegetation. Det saknas forskning om övervakning med hjälp av drönare som flygs utom synhåll.

## 6 Positioneringsteknologi

### 6.1 Spårning

Den mest använda spårningstekniken av alla är 'Radio Frequency Identification' (RFID). Ett enkelt RFID-system består av en läsare och en transponder (tag) samt mjukvara som omvandlar data på taggen till användbar information. Det finns både aktiva och passiva transpondrar. De aktiva har en större räckvidd än de passiva (ca 100 m jämfört med upp till 3 m) då de är kopplade till ett batteri och aktivt sänder ut radiovågor. De vanligaste sätten att fästa taggar på livsmedelsproducerande djur är i öronmärken, halsband eller på svalg bolus. Den största nackdelen med tekniken vid användning på utgångsdjur på stora ytor är den korta räckvidden (Ruiz-Garcia *et al.*, 2009). RFID utvecklades från början i identifieringssyfte och numer finns en rad olika trådlösa sensoranordningar baserade på RFID.

Trådlösa sensornätverk ('Wireless Sensor Networks', WSN) är system som består av en så kallad radiotransciever (även kallad sändtagare), sensorer, mikrokontroller och energikällor. Nätverken byggs upp av sensornoder vilka är strömförsedda, kan mäta omgivningen, har kapacitet för datalagring och processande, samt kan kommunicera trådlöst (Handcock *et al.*, 2009). Den huvudsakliga skillnaden mellan RFID-system och sensornätverk är att RFID-

anordningarna inte har möjlighet att samarbeta medan WSN kan bestå av olika nätverkstopologier (hur datornätverket är arrangerat) och så kallad 'multihop'-kommunikation (nätverk där flera sensornoder kommunicerar med varandra över radio) (Ruiz-Garcia *et al.*, 2009). Sensornoderna kan vara av olika slag och kommunicerar trådlöst (Akyildiz *et al.*, 2002). Trådlösa sensornätverk används ofta när det finns ett behov av att läsa av fysiska förhållanden på distans. Tillämpningar av sensornätverk för att identifiera och spåra objekt har ökat i betydelse under senare år bland annat tack vare utvecklingen mot små multifunktionella sensornoder med låg energiförbrukning och lågt pris. Fokus ligger än så länge på att utveckla tillräckligt tekniskt tillförlitliga system, medan studier som utvärderar hur väl systemen fungerar för bedömning av djurvälstånd i stort sett saknas. Vad gäller övervakning av utgångsdjur utförs studier för att mäta variationen i tid och upplösningen i rum för de ingående sensorkomponenterna (Handcock *et al.*, 2009).

I en studie av Molapo *et al.* (2019) presenterades ett nytt, billigt och relativt enkelt WSN-system för att spåra boskap och för att skicka information om djurens position och aktivitet i realtid till en slutanvändare. Systemet består av taggar, fyr- och basstationsnoder som kommunicerar trådlöst med varandra via WiFi. I taggarna finns accelerometrar som registrerar djurens rörelser och från närliggande fyrnoder får taggarna information om djurens position genom så kallad trilateration (bestämning av den absoluta eller relativa positionen av en punkt genom att använda geometri hos sfärer eller trianglar). Basnoden får sedan information från taggen om identitet, position och aktivitet samt skickar informationen vidare för lagring i realtid på en webbserver. Systemets funktionalitet avseende räckvidd, noggrannhet och förmåga att upptäcka och lagra information utvärderades också i studien, men systemet testades inte på verkliga djur utan i en hypotetisk situation där taggarna flyttades runt för hand. Vid fri sikt kunde en yta om 400 m<sup>2</sup> bevakas utan att någon information gick förlorad. De simulerade djurens aktivitet i 2D (rörelser på markytan) kunde mätas med hjälp insamlade sensordata och positionen kunde beräknas med en noggrannhet av mindre än 3 m.

## 6.2 Övervakning med GPS

Habitatval, migration, preferenser för olika växter, val av skydd, sociala beteenden och interaktioner med andra djur går att utforska genom att märka djur med GPS-halsband som registrerar djurens positioner (bl.a. Sickel *et al.*, 2004; Brosh *et al.*, 2010; Taylor *et al.*, 2011; Bailey *et al.*, 2018; Becciolini och Ponzetta, 2018). GPS-teknik kan också användas för att identifiera beteenden som betande, vila och gående, men säkerheten beror mycket på teknikens tillförlitlighet och komplexiteten i beräkningarna (Williams *et al.*, 2016).

Registrering av positioner på fritt betande utegångsdjur kan vara till hjälp för att övervaka djuren om positionerna skickas från t.ex. ett halsband till en webbsida som djurskötaren kan nå för att se var djuren befinner sig. I renskötseln är det idag vanligt att renägarna märker djuren med GPS-halsband för att kunna följa djurens rörelser varje dag (Sametinget, 2017). Det kan hjälpa renskötarna att planera det dagliga arbetet och minska sökinsatserna för att hitta djuren. Efter införandet av GPS-teknologi i renskötsel vittnar flertalet renskötande samer om att arbetsförhållandena har blivit bättre och att bruket av helikopter, skoter och motorcykel har minskat eftersom de inte behöver leta lika intensivt efter renarna (Andersson och Keskitalo, 2017).

Djurens rörelsemönster kan studeras genom beräkning av distansen mellan GPS-positioner per tidsenhet. Djur går sällan spikrakt mellan två positioner och skattningen av den egentliga distansen som ett djur färdats blir mer exakt vid täta positioneringar (Pepin *et al.* 2004). Studier av dygnsrytm i rörelsemönstret kan också avgöra om djurens beteende är regelbundet eller förändras över tid (Ager *et al.*, 2003; Taylor *et al.*, 2011; Dolev *et al.*, 2014). I djurhållning går det att avgöra om avvikelser från det naturliga beteendet skett och om djurskötaren måste vidta någon åtgärd.

Informationen om var djur har uppehållit sig kan också vara till hjälp för att bedöma vilka betesområden som är värdefulla för hållande av djuren (Sickel *et al.*, 2004; Bailey *et al.*, 2018; Skarin *et al.*, 2018). Om djurens position registreras ofta (t.ex. var femte minut) kan det vara möjligt att avgöra var djuren stannar upp och betar (Dolev *et al.*, 2014; Liao *et al.*, 2018). Med glesare positionsangivelser blir det svårare att avgöra exakt var djuren betar.

För att studera habitatval kan djurens position associeras till olika typ av geografisk bakgrundsdata, som exempelvis vegetationstyp, höjd över havet och närhet till vatten i GIS (bl.a. Johnson *et al.* 2006; Falu *et al.*, 2014). Avgörande för att kunna göra uppskattningar av djurens habitatval är att ha tillräckligt med GPS-positioner och märkta individer. Swain *et al.* (2008) uppskattade att det behövs en GPS-position minst var 10 sekund för att få en korrekt skattning av habitatvalet med en habitatvalsmodell inom en yta på 100 m<sup>2</sup>, felskattningen av habitatvalet kan vara upp till 70 % (positivt prediktivt värde 0,30) om positioner tas en gång i timmen på en yta av 1 ha. Vid övervakning av en population är det svårt att ange exakt hur många individer som behöver märkas för att uppnå en god säkerhet i skattningen av habitatvalet, forskare har dock uppskattat att det handlar om i storleksordningen 20-30 djur (Lindberg och Walker, 2007; Frair *et al.*, 2010; Latham *et al.*, 2015). Det är också avgörande

att ha bakgrundsdata med tillräckligt hög upplösning för att veta vad som finns på de platser där djuren stannar och betar eller vilar (Kays *et al.*, 2015).

Det är möjligt att studera interaktionen mellan djur och huruvida de undviker varandras betesområde eller inte (Brown *et al.*, 2010; Dolev *et al.*, 2014). Dolev *et al.* (2014). Positionen registrerade för två olika raser av nötboskap var femte minut och det visade att raserna hade olika förflyttningsmönster fastän de utnyttjade samma betesareal. Iakttagelser gjordes att de två raserna undvek att interagera med varandra. Den mindre rasen tycktes undvika den större rasen genom att förflytta sig på andra tidpunkter samt välja andra platser för vila. Brown *et al.* (2010) fann att får påverkades av närvaro av nötkreatur. Under födosök drog sig fåren bort från nötkreaturen.

Handcock *et al.* (2009) studerade interaktioner mellan djur och nyttjandet av betesmark genom att associera GPS-positioner från djuren med satellitdata, vilket bidrog till att avgöra om betet var överutnyttjat eller inte. Harris *et al.* (2007) gjorde också en studie av sociala interaktioner och kunde se ett samband mellan gruppdynamik och betestillgång. Vid bra tillgång på bete rörde sig djuren övervägande i flock medan sämre betestillgång gjorde att flocken delade upp sig i mindre grupper (Harris *et al.*, 2007). I en studie i Kenya undersöktes påverkan av nötboskap på bete. Där fanns områden som sällan utnyttjades och områden (främst nära nattliga viloplatsar och vattentillhåll) som ständigt användes av djuren och var därmed också mycket mer betade än andra områden (Schieltz *et al.*, 2017). Det visar vikten av att förstå hur djur utnyttjar landskapet, för att undvika överutnyttjande av betet.

I ett flertal studier har interaktionen mellan rovdjur och fritt betande tamdjur studerats, bland annat för att kartlägga vilka områden som kan vara riskabla för bytesdjuren att uppehålla sig i (Cavalcanti *et al.*, 2010; Laporte *et al.*, 2010; Steyaert *et al.*, 2011). Steyaert *et al.* (2011). De fann att det inte fanns skäl att öka övervakningen av nöt på fåbodvallar i Dalarna i relation till brunbjörn då det var liten risk att djuren skulle välja samma habitat. I en studie av björnpredation på renkalvar märktes björnar med GPS-halsband som kommunicerade med radiohalsband som hängdes på honrenar (vajor). När en vaja med radiohalsband kom inom 100 meter från en björn med GPS-sändare registrerade björnens GPS-sändare det (Karlsson *et al.* 2012; Sivertsen, 2017). Informationen om vilka vajor som varit nära björnens GPS-sändare sparades och sändes vidare till en databas. Ett sätt att övervaka en stor djurgrupp till rimlig kostnad.

Hur långt ett djur har förflyttat sig mellan två GPS-positioneringar kan visa hur länge det har legat stilla på en plats (Benhamou och Riotte-Lambert, 2012). Onormalt lång vila kan tyda på att djuret är skadat eller håller på att kalva (Skarin *et al.*, 2018). Det går även att avgöra om avkomman har överlevt dagarna efter kalvningen (DeMars *et al.*, 2013). Calcante *et al.* (2014) utvecklade kalvningsalarm för kor på bete. Kalvningen är den mest kritiska händelsen för djurhållaren och det är viktigt att minimera eventuella risker och komplikationer som kan uppstå vid kalvningen. Vid tecken på att kalvningen startat skickar sändaren ett textmeddelande till djurägarens mobiltelefon med GPS-positionen på en karta. Under provperioden av utrustningen erhöles utmärkta resultat.

Kombination av GPS med 3D-accelerometrar eller kameror kan ge en effektiv övervakning av utegångsdjur då mer information om djuren kan samlas in (Wilmers *et al.*, 2015). Möjligheten att registrera olika typer av detaljerade beteenden ökar därmed (bl.a. Beker *et al.*, 2010; Aharoni *et al.*, 2013; Dolev *et al.*, 2014).

I en studie på Nya Zeeland utrustades får och nöter med sensorer som loggade urinmängd och position (Betteridge *et al.*, 2010). De såg en positiv korrelation mellan betande och urinering hos fåren. Genom att mäta var boskap väljer att urinera kan djurägaren få information om hur de ska använda sig av kvävereducerande produkter.

Aharoni *et al.* (2013) undersökte aktivitet, hjärtaktivitet och energiförbrukning hos två olika nötkreatursraser (Beefmaster/Simford och Baladi) genom att använda GPS-halsband, stegräknare och hjärtsensor. Baladi var mycket mer aktiv under hela året och betade mer än Beefmaster/Simford. Djur av båda raserna rörde sig överlag mindre vid gott sommarbete än under vintern då betet var sämre. Beker *et al.* (2010) använde stegräknare och hjärtfrekvensmätare tillsammans med GPS-teknik för att undersöka hur djur av olika får- och getraser rörde sig. Forskarna kunde uppskatta tiden för betande, vila (både stående och liggande) och förflyttning med respektive utan födosök i relation till olika typ av betesområden. Det fanns en tydlig korrelation mellan uppskattad energiförbrukning och tid för förflyttning (Beker *et al.*, 2010).

Virgilio *et al.* (2018) studerade tre merinofår i Patagonien vilka försågs med både en kommersiell produkt för aktivitetsmätning (Daily Diary, Wildbyte Technologies Ltd, Storbritannien) och en GPS-sändare i 15 dagar. Aktivitetsmätaren registrerade djurens beteende och rörelse med hög tidsmässig och rumslig precision samt lufttemperatur och lufttryck. Varje djur i studien utrustades med två aktivitetsmätare, varav den ena fästes på

huvudet och den andra på GPS-halsbandet. Aktivitetsmätarna registrerade 40 datapunkter/sekund och GPS-halsbandet registrerade en position/minut. Mätningarna validerades med beteendestudier, vilket visade att mätaren på fårens huvud hade högre precision än den som fästs på halsbandet. Att bita av gräs (beta) var dock ett beteende som båda mätarna upptäckte nästan felfritt (100 % för mätaren på huvudet och 97 % för mätaren på GPS-halsbandet). Studien visade att aktivitetsmätare gör det möjligt att med hög precision undersöka hur flera olika faktorer påverkar beteendet hos utegångsdjur (Virgilio *et al.*, 2018).

Konstateras kan att enbart positionsangivelser för ett djur på bete ger begränsad information om djurets välfärd. Sensorer som tillför information om djurens tillstånd eller beteende kan därför med fördel användas tillsammans med positioneringssystem.

### 6.3 Positionssäkerhet

Noggrannheten hos en GPS-position kan variera beroende på vilken utrustning som används, vilken typ av vegetation som förekommer, hur täckningen och spridningen av satelliter är vid positioneringstillfället. Vanliga GPS-studier på 2000-talet visade att positioneringsförmågan kan variera mellan 43 och 99 % och att det finns en variation både över dygnet och året (Frair *et al.*, 2010).

Vid bra spridning av satelliterna över himlen blir positionering säkrare jämfört med om satelliterna råkar befinna sig nära varandra. GPS-leverantörerna anger oftast ett värde som anger osäkerheten hos varje positionering beroende på hur många satelliter som använts och deras spridning ('Dilution of Precision', DOP), vilket gör det möjligt att sortera bort dåliga positioner. Låga DOP-värden anger en större säkerhet (Frair *et al.*, 2010). Ju oftare en position bestäms desto bättre blir förmågan att registrera en position (s.k. 'fix rate') medan noggrannheten i positionen inte verkar påverkas (Frair *et al.*, 2010). Positioneringsförmågan och noggrannheten i positionen varierar också med typen av GPS-halsband (Frair *et al.*, 2010).

För att testa positionssäkerheten hos en GPS-utrustning i djurhållning kan utrustningen sättas ut i terrängen 1-1,5 m över marken (för att simulera höjden på djuren) och registrera positioner med 2-5 min intervall (Frair *et al.*, 2010). Från sådana stationära tester vet man att mätfelet ökar med skogens täckningsgrad, d.v.s. hur stor andel av markytan den täcker (19-30 m mätfelet vid tät skog med mer än 70 % täckningsgrad, 16 m vid glesare skog med 41-70 % täckningsgrad och 7-13 m vid gles skog med 0-40 % täckningsgrad) (Frair *et al.*, 2010). Topografin kan också störa signalerna och vid mindre än 30 % tillgänglig himmel är mätfelet 10-13 m. Om halsbandet halkar snett på djurets hals kan också positioneringen påverkas

negativt genom att djurets kropp döljer en del av himlen (D'Eon och Delparte 2005; Heard *et al.*, 2008). Tester på GPS-halsband i rörelse visar bl.a. att positioneringsförmågan kan reduceras med 5-33 % jämfört med stationära tester.

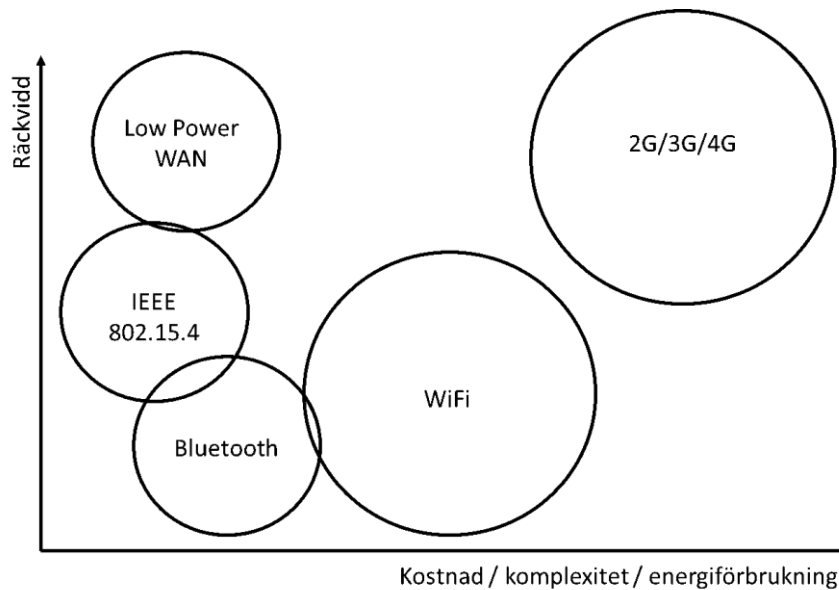
Ett sätt att öka precisionen i angivelserna av djurens positioner kan vara att använda sig av data både från en accelerometer och GPS, och med hjälp av data från accelerometern räkna ut en mer korrekt position och väg som djuret färdas (Wilson *et al.* 2007; Virgilio *et al.*, 2018). På detta sätt behöver inte heller lika många GPS-positioner samlas in, vilket sparar på batteritid och kostnad för batteribyte.

## 7 Dataöverföring

Internet of Things (IoT) eller sakernas internet som det ibland benämns på svenska, är ett samlingsbegrepp som innebär att föremål, fordon eller varelser förses med små inbyggda sensorer och processorer vilka kan uppfatta och kommunicera med sin omvärld (IoT Sverige, 2017). Sensorerna registrerar den fysiska omvärlden och skickar signaler som sedan omvandlas till information som är läs- och tolkningsbar för en människa, eller skickas vidare via ett nätverk till en databas för lagring.

Om data lagras i sensorn måste de med jämna mellanrum föras över från sensorn till databasen. För att skicka data direkt till databasen vid användning utomhus används främst trådlösa nätverk. Det finns flera tekniker för trådlösa nätverk att välja mellan, beroende på avstånd och typ av data som ska överföras. Figur 2 visar olika typer av vanligt förekommande trådlösa nätverk. Vilken teknik som är mest lämplig är ofta en avvägning mellan tre olika faktorer:

- Priset, d.v.s. kostnaderna för att installera och använda nätverket.
- Täckningen, d.v.s. vilket geografiskt område som nätverket täcker.
- Hastigheten, d.v.s. mängden information som kan skickas över nätverket under en given tidsrymd.



Figur 2. Illustration av hur fem olika typer av trådlösa nätverk uppfyller krav på räckvidd och kostnad/komplexitet/energiförbrukning. (IoT Sverige, 2017).

Allra längst räckvidd har satelliter. 'Global Navigation Satellite Systems' (GNSS) är samlingsnamnet för satellitbaserade navigations- och positioneringssystem. I Sverige är de mest använda systemen det amerikanska 'Global Positioning System' (GPS) och det ryska 'Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema' (GLONASS) (Lundell, R, 2012). Sedan början av 2018 stöds även det nya europeiska satellitsystemet Galileo i Lantmäteriets realtidstjänster för GNSS-mätning. Galileo förväntas vara fullt utbyggt till 2020. Fler system innebär ofta att fler satelliter blir tillgängliga för GNSS-tjänster. Antalet tillgängliga satelliter är av stor betydelse för en bra positionering. Teoretiskt krävs minst fyra satelliter för att bestämma positionen på en öppen yta och i praktiken krävs ofta fler (Gilbertsson och Westlin, 2009).

Atmosfärens olika lager påverkar signalernas utbredningshastighet från satelliten till jorden olika mycket, vilket kan påverka noggrannheten i positionsbestämningen. För att förbättra noggrannheten kan referensstationer på jorden användas för att korrigera för atmosfäriska störningar (Lilje *et al.*, 2007). Vid relativ positionsbestämning bestäms mottagarens position i förhållande till en känd referenspunkt på jordytan. För relativ positionsbestämning med GPS i realtid finns två metoder: Differentiell GPS (DGPS) och 'Real-Time Kinematic GPS' (RTK GPS), där den senare har högst noggrannhet.



Bredband innebär snabb överföring av stora datamängder, vilket idag i stor utsträckning sker via tredje eller fjärde generationens mobilnät (3G eller 4G). Den genomsnittliga hastigheten för att ta emot eller skicka data med mobilt bredband har mer än 15-faldigats på sju år (Bredbandskollen, 2017). Med uppdateringen till 5G förväntas både prestanda och säkerhet att öka. Utbyggnaden av 5G pågår fortfarande i Sverige och beräknas vara i drift till 2020. I flera av Europas teknologiskt välutvecklade länder är bredband på landsbygden fortfarande underutvecklat. Runt 50 % av hushållen på landsbygden i EU uppgav 2017 att de saknade bredbandsuppkoppling på grund av svårigheter med terräng och kostnader att bygga ut kabelnätet (Europeiska kommissionen, 2018).

För maskin-till-maskin-kommunikation (M2M) kan mobilnätet visserligen skicka data över stora avstånd, men det är mycket energikrävande. Istället finns lösningar för IoT, där små datamängder till låg kostnad och med låg energiförbrukning skickas över större avstånd, s.k. 'Low Power Wide Area' (LPWA). För kortare avstånd kan Bluetooth, ZigBee och WiFi användas, men de fungerar inte vid de långa avstånd som vanligen är aktuella utomhus.

## 8 Teknologi för att styra djurens rörelser i landskapet

### 8.1 Drivning av djur med drönare

Det har blivit allt vanligare att använda drönare för att driva renar och projekt pågår där drönare testas som ett komplement till andra drivningsmetoder i renskötseln. Med drönare går det att driva renarna på samma sätt som med helikopter, d.v.s. att flocken följs på lagom avstånd (Mikael Kuhmunen, Jokkmokk, pers. medd., 2019-01-29). Drönare är också till god hjälp om renarna hamnat i områden där det kan vara farligt för renskötaren att färdas, exempelvis på vattenmagasin med osäkra isar eller i oländig och brant terräng.

Lagstiftningen om användning av drönare för att driva djur är ofullständig då det ännu inte är känt hur drivningen ska gå till. Det saknas kunskap om hur djur påverkas av närvaron av (åsynen av och ljudet) från drönare.

### 8.2 Virtuella stängsel

Ett virtuellt eller osynligt stängsel är en struktur som fungerar som inhägnad, hinder eller gräns men utan någon fysisk barriär (Umstätter, 2011; Anderson *et al.*, 2014). Virtuella stängsel kan minska djurskötarens arbetsbörda och ge ett mer flexibelt stängselssystem. Det finns få kommersiellt tillgängliga virtuella stängsel, men de som finns använder sig av ett

halsband på varje djur. När djuret närmar sig en virtuell gräns ges en varningssignal (oftast ett ljud). Om djuret fortsätter att gå mot gränsen så ger halsbandet djuret en ofarlig men obehaglig elektrisk stöt för att få djuret att vända tillbaka. Hur kraftig elchocken är varierar mellan olika studier och olika system. För systemet Nofence som är godkänt för getter är elchocken 0,1 joule, 1500 V i 0,5 s (Nofence, 2019). Detta kan jämföras med riktlinjerna för fysiska elektriska stängsel där det är tillåtet med max 5 joule vid 50 till 500 ohm (International Electrotechnical Commission, 2018). Om djuret stannar kvar utanför gränsen eller fortsätter framåt upprepas proceduren med ljud och el. I majoriteten av de prövade systemen finns någon form av avstängningsmekanism så att systemet inaktiveras efter ett visst antal elstötar, men reaktiveras åter när djuret är tillbaka på rätt sida om den virtuella gränsen. Några av systemen inaktiveras automatiskt om djuren springer mot gränsen, med motivet att stressade djur inte är så mottagliga för inläring.

Det finns olika sätt att bestämma den virtuella gränsen. Den kan vara helt GPS-baserad och definierad av koordinater eller bestämmas av någon form av radiosändare eller ledning på marken vid platsen för gränsen. Ett fåtal studier har testat andra varningssignaler än ljud (Bishop-Hurley *et al.*, 2007), inga varningssignaler alls (Markus *et al.*, 2014) eller andra obehagliga stimuli än elektricitet (Umstätter *et al.*, 2013). En studie har testat örönmärken istället för halsband (Tiedemann *et al.*, 1999). Då systemen med halsband, ljud och elektricitet är de absolut vanligaste och de enda som är kommersiellt tillgängliga, behandlas främst dessa här.

Den största skillnaden mellan ett virtuellt och ett fysiskt elektriskt stängsel är att istället för en synlig signal och barriär i form av ett stängsel, så behöver djuret lära sig att associera ljudsignalen med en elstöt, vända eller stanna för att undvika denna.

I flera av de tidiga försöken användes system som var utformade för hundar och ofta testades om djuren, individuellt eller i grupp, kunde hållas borta från en lockande resurs (vanligtvis foder). Lee *et al.* (2009) undersökte om kvigor kunde hållas borta från ett fodertråg eller andra kor med hjälp av en virtuell gräns där ljud och el styrdes med en fjärrkontroll. Kvigorna lärde sig att associera ljudsignalen med elstöten och hur de skulle agera för att undvika den, vilket visades genom att antalet stötar sjönk från första till sista testomgången. Studien visade däremot en stor individuell variation i hur lätt kvigor hade att lära sig hur systemet fungerade. Kvigorna utlöste mellan 2 och 21 elstötar.

Även de första försöken med får gjordes med system som hade utvecklats för hundar (Jouven *et al.*, 2012). Grupper om 5 ( $n=13$ ) eller 25 ( $n=4$ ) tackor hölls borta ifrån en foderretning med en virtuell gräns, där en ledning på marken vid gränsen kommunicerade med halsbanden, med eller utan ett fysiskt staket bakom gränsen. Fåren höll sig i allmänhet på rätt sida av gränsen, men sammanlagt 33 individer i tre grupper passerade den. Det konstaterades att inlärningen skedde lättare i små grupper, då betydligt fler individer i de stora grupperna gick över gränsen. Författarna angav inte hur många ljudsignaler respektive elchocker som utlöstes, men flest försök att gå över gränsen gjordes i början av testperioden. Även i detta försök fanns stora skillnader mellan individer. Marini *et al.* (2018b) upprepade studien av Lee *et al.* (2009), med får. Antalet får som interagerade med gränsen och utlöste en ljudsignal sjönk med tiden, vilket visade att djuren lärde sig var gränsen gick. Antalet får ökade som vände eller stannade när de fick ljudsignalen från 4,7 % före inlärning till 31 % efter inlärning. Även efter flera ljudsignaler och elstötar beräknades dock risken att ett får inte reagerade korrekt på ljudsignalen och fick en elstöt till 48 %. När får istället testades i grupp (Marini *et al.*, 2018a) höll de sig på rätt sida av gränsen och utlöste i medeltal 5 elektriska chocker per individ under tre dagar.

System där en ledning på marken kommunicerar med halsbanden på djuren är vanligt förekommande för hundar och har också utvecklats för nötkreatur (Boviguard®, Agrifence, Henderson Products Ltd., Gloucester, Storbritannien). Dessa system har fördelen att om ledningen lämnas synlig för djuren, så har de en visuell signal att förhålla sig till, förutom ljudsignalen, vilket skulle kunna underlätta djurens inlärning och förståelse. Umstätter *et al.* (2015) rapporterade resultat från försök med Boviguard och uppgav att kvigor verkade använda den synliga ledningen som en signal för var den virtuella gränsen gick. Författarna menade att elstötar sällan utlöstes när tio kvigor testades tillsammans på ett större bete, men antalet stötar och de individuella skillnaderna presenterades inte.

De virtuella stängselsystem som utvecklats på senare tid använder främst GPS för att definiera de virtuella gränserna. Ett GPS-baserat stängselsystem som både är kommersiellt tillgängligt och vetenskapligt testat är eShepherd (Agersens, Melbourne, Australien) som studerades av Campbell *et al.* (2017, 2018, 2019). När djuren närmar sig gränsen får de en 2 sekunder lång ljudsignal. Om de fortsätter gå framåt utlöses en elstöt. Resultaten tyder på att kvigor som fick lära sig detta system i grupp (Campbell *et al.*, 2017, 2019) lyckades bättre än då de fick lära sig individuellt (Campbell *et al.*, 2018). Tio kvigor höll sig på rätt sida om gränsen under tio dagar, förutom vid enstaka tillfällen (Campbell *et al.*, 2019). Även från dessa försök

rapporterades en stor individuell skillnad vad gäller hur snabbt kvigorna respekterade gränsen och hur många elstötar som togs emot. I det försök där kvigorna testades individuellt varierade antalet elchocker från 3 till 24 och i det försök där kvigorna testades i grupp kunde en kviga helt undvika elektriska stötar efter dag 3, medan en annan individ tog emot över fem stötar efter dag sex.

Brunberg *et al.* (2015, 2017) undersökte ytterligare ett GPS-baserat system till får (Nofence AS, Batnfjordsöra, Norge). Av totalt 24 tackor lärde sig 9 att undvika att utlösa en elstöt när de lockades över en virtuell gräns tre gånger. Det konstaterades att det var en mycket stor skillnad mellan individerna vad gäller reaktionen på den elektriska stöten, där vissa av tackorna uteslöts för att de reagerade panikslaget och andra för att de knappt reagerade alls. De nio fåren testades även i grupper om tre och tränades till att inte gå över en virtuell gräns genom att ha ett fysiskt staket bakom gränsen. Det visade sig vara ett effektivt sätt att lära fåren hur systemet fungerade eftersom de höll sig innanför gränsen även när det fysiska staketet togs bort. När den virtuella gränsen flyttades till en annan plats utan ett fysiskt staket utanför gick dock fåren över gränsen. Under fyra dagar fick fåren i genomsnitt 2,9 elchocker per individ. När samma system testades på olika grupper av tackor med lamm som fritt kunde gå över gränsen var resultaten mindre lovande. Djuren spenderade nästan hälften av tiden i försöket på fel sida av den virtuella gränsen och tog emot mellan 6 och 20 elstötar under de fyra försöksdagarna (10,9 per individ). Liknande resultat sågs med åtta tackor i varje grupp och fler än en virtuell gräns (Brunberg *et al.*, 2017).

En tidig vetenskaplig studie av virtuella stängsel till getter visade att djuren kunde lära sig systemet (Fay *et al.*, 1989). Utöver detta har det GPS-baserade Nofence-systemet testats på flera flockar med getter i Norge (Eftang och Bøe, 2017), vilket resulterade i att norska Mattilsynet godkände systemet för get (men inte får). Resultaten var lovande i och med att få djur rymde över gränsen efter inläring och varje get utlöste i genomsnitt 0,4 elstötar per get och dag. Den individuella variationen och variationen mellan grupperna var stor även i detta försök. Några av djuren i grupper som hade tidigare erfarenhet av virtuella stängsel undvek helt elstötar, men en av getterna utsattes för 29 stötar under de sju försöksdagarna. Under inlärningsperioden var variationen ännu större, då enstaka getter inte fick någon elstöt alls, medan den get som tog emot flest utsattes för 38 stötar under fem dagar.

Det har utförts några få studier av hur snabbt nötkreatur lär sig hur ett fysiskt elstängsel fungerar (t.ex. McDonald *et al.*, 1981) och i jämförelse med studierna ovan tycks det krävas betydligt fler elstötar för inläring av ett virtuellt stängselsystem än för elstängsel. Resultaten

antyder att den individuella variationen är större och att djuren i lägre grad undviker elstötar efter några dagar vid virtuella stängsel än vid elstängsel. Vilket tyder på att ett virtuellt stängsel kan orsaka en högre stressnivå, speciellt under inlärningsperioden. Dock saknas studier där elstängsel och virtuella stängsel jämförs, liksom studier av virtuella stängsel över längre tidsperioder.

Forskningen på djur visar de i flesta fall lär sig att associera en ljudsignal med en elstöt och att de efter en inlärningsperiod håller sig på rätt sida av en virtuell gräns. De flesta studierna visar dock på stora individuella skillnader i inlärningskapacitet och beteendereaktioner, vilket är ett potentiellt välfärdsproblem för de individer som lär sig långsamt och som därmed utsätts för många elstötar. Inlärningsförmågan och välfärden hos sådana individer behöver studeras vidare. Det saknas också studier av olika inlärningsmekanismer, sam på välfärden hos djur som hålls bakom virtuella stängsel under en lång period, sam hur funktionen och djurvälfärdseffekterna skiljer sig åt mellan djurungar av olika åldrar.

## 9 Djurvälfärdsrisker vid användning av digital teknik

En uppenbar djurvälfärdsrisk vid användning av digital teknik och PLF i djurhållningen är att tekniken inte fungerar tillfredsställande, så att djuren inte får den avsedda tillsynen och att nödvändiga djurskötselåtgärder inte vidtas i tid, eller inte alls. En central fråga är om man med hjälp av den digitala tekniken kan upptäcka och identifiera sjuka eller skadade djur eller djur som av andra orsaker behöver extra omvårdnad (t.ex. i samband med förlossning) minst lika effektivt som vid sedvanlig fysisk inspektion av djuren. Tekniken behöver då vara så utformad att det rent praktiskt går att upptäcka sådant som ska upptäckas samt att en människa behöver vara i kontakt med tekniken och via den vägen erhålla nödvändig information inom rimlig tid för att vidta de åtgärder som krävs ur ett djurskyddsperspektiv. Bristfälliga prestanda och svåra omgivningsförhållanden kan ge bristande funktionalitet, som beskrivits ovan. Avbrott i strömförsörjning, mobiltrafik eller internetkontakt kan för kortare eller längre perioder helt förhindra användningen av tekniken. Utöver detta finns även risker förknippade med direkt fysisk eller mental påverkan på djuren vid normal tillämpning av digital teknik.

Den vetenskapliga informationen om fysiska eller mentala skaderisker för djur vid användandet av djurmonterad utrustning är bristfällig. Den vanligast rapporterade skadan i samband med användande av accelerometrar är skavsår. Risker ökar när sensorerna används på växande djur där storleken på till exempel halsband måste anpassas successivt

(Ledgerwood *et al.*, 2010; Kokin *et al.*, 2014; Zobel *et al.*, 2015). När halsband hängs på får kan även ullen påverka passformen, vilket är speciellt viktigt att beakta i virtuella stängselsystem där elektroder behöver vara i kontakt med huden (t.ex. Jouven *et al.*, 2012; Brunberg *et al.*, 2015; Marini *et al.*, 2018b). I ett försök med svansmonterade kalvningssensorer (Lind och Lindahl, 2018) uppgav 80 % av lantbrukarna att djuren reagerade negativt när sensorn fästes vid svansroten och 20 % hade observerat så stora skador att amputation av svansen var nödvändig. Information om skador till följd av användning av våmbolus har inte påträffats. Felaktig användning av drönare vid drivning av djur kan sannolikt ge negativa effekter genom att stressa djuren, men forskning om detta saknas. Forskning visar dock att helikopterdrivning av renar under längre tid (3 dagar) när de får tid att beta under drivningen inte nämnvärt minskar glykogennivåerna i musklerna (Wiklund *et al.*, 1996).

Djurvälståndsrisker med virtuella stängsel är betydligt bättre studerade. I och med att de tillgängliga systemen för virtuella stängsel använder sig av elstötar ställs höga krav på säkerhet och inlärning för att de inte ska ha en negativ inverkan på djuren. Få vetenskapliga studier har utvärderat välfärden i olika virtuella system. Forskarna har istället främst bedömt om djuren hållit sig innanför den tänkta gränsen eller inte och i de flesta fall också hur många ljudsignaler och elstötar djuren fått, en information som tyvärr saknas ibland på individnivå (t.ex. Jouven *et al.*, 2012; Umstätter *et al.*, 2015), vilket gör det svårt att bedöma vilka effekter ett virtuellt stängsel kan ha på individens välfärd. Dessutom är många av studierna utförda i små grupper, med olika typer av virtuella stängselsystem och med olika inlärningsmetoder, vilket gör resultaten svåra att jämföra. Några av studierna redovisar också tekniska problem med systemen (t.ex. Brunberg *et al.*, 2017; Eftang och Bøe, 2017).

Elstötar är ett obehagligt och ibland smärtsamt stimulus. Två studier har jämfört elektricitet med andra aversiva stimuli för att ge kunskap om hur stressande ett virtuellt stängsel upplevs av djuren. Lee *et al.* (2008) jämförde beteende och några fysiologiska parametrar hos nötkreatur som antingen utsattes för tre elchocker, hölls i en behandlingsbox eller fick huvudet fixerat. Forskarna drog slutsatsen att huvudfixeringen och elchockerna var lika stressande. Kearton *et al.* (2019) testade skillnader i beteende, temperatur och blodkortisolnivå hos får som utsattes för en ljudsignal, hundskall, fixering eller elstöt och fann att fixeringen utlöste mer stress än elstöten, som i sin tur var mer stressande än hundskall och ljud. Dessa studier har dock utförts med få antal elchocker så det är inte möjligt att utifrån resultaten dra generella slutsatser om hur ett virtuellt stängsel påverkar djur. Dessutom skiljer sig styrkan på

elchockerna mellan olika system, vilket också kan tänkas påverka reaktionen hos djuret. Särskilt svårt är det att uttala sig om reaktionerna hos individer som har svårt att lära sig systemet och ofta får elstötar, både under och efter en inlärningsperiod.

Målet med både de fysiska och virtuella stängslen bör vara en snabb inläring och att djuren helt lär sig kontrollera hur de kan undvika elstötar. Det är väl känt att djur som kan förutse och kontrollera elchocker är mindre stressade än djur som inte kan göra detta (Weiss, 1971). Hur den kunskapen kan tillämpas på djur i ett virtuellt stängselsystem har diskuterats av bland andra Lee *et al.* (2018), som diskuterade de individuella skillnaderna i inlärningsförmåga och djurens möjlighet att kunna kontrollera och därmed hantera sin situation. Författarna menade att med en korrekt inläring bör djuren kunna kontrollera sin situation och välfärden vara acceptabel, men att det behövs fler studier som undersöker hur inläring sker och hur ett virtuellt stängsel påverkar djuren på lång sikt.

Det har utförts få studier av hur många elstötar som krävs för att ett djur ska lära sig att undvika ett fysiskt elektriskt stängsel, vilket gör att det är svårt att jämföra med det vi vet om virtuella stängsel. McDonald *et al.* (1981) rapporterade att nötkreatur som stängslades in med ett fysiskt elektriskt staket rörde vid staketet maximalt tre gånger under sju dagar och att 84 % av djuren inte interagerade alls eller endast en gång med staketet, medan de övriga gjorde det två eller tre gånger. En annan grupp rörde vid stängslet i genomsnitt två gånger under den första halvdagen som de tränades, medan endast ett av djuren fick en elstöt under de resterande sju träningsdagarna. Det faktum att det verkar krävas betydligt fler elstötar för inläring av ett virtuellt stängselsystem än för elstängsel, att den individuella variationen är större för virtuella stängsel och att djuren i lägre grad undviker elchocker från virtuella stängsel kan indikera att virtuella stängsel leder till en högre stressnivå än vanliga elstängsel, speciellt under inlärningsfasen.

Virtuella stängsel erbjuder inte något skydd mot rovdjur, vilket fysiska stängsel kan göra. Det skulle dock kunna vara lättare för tamdjur innanför ett virtuellt stängsel att fly vid ett rovdjursangrepp.

Den norska Vetenskapskommittén för mat och miljö (VKM) utvärderade hur djurvälståndet påverkas av teknologi som utsätter djuren för elstötar, inklusive virtuella stängsel (Mejdell *et al.*, 2017). Kommittén drog slutsatsen att nötkreatur och getter kan lära sig systemet och därefter kontrollera situationen, medan får verkar ha svårare att lära sig än nötkreatur. Kommittén ansåg att inlärningsfasen för ett virtuellt stängsel troligtvis innebär mer stress och

obehag/smärta än inlärningsfasen för ett fysiskt elstängsel samt att det är stora individuella skillnader i inlärningskapacitet, vilket ökar risken för försämrad välfärd hos enskilda individer. Andra välfärdsrisker som angavs av kommittén var minskad upplevd kontroll hos de djur som hade svårt att lära sig, samt att halsband som inte fungerar korrekt kan ge oavsiktliga elstötar, likväl som att djur kan fastna med halsbanden och att halsbanden kan orsaka hudirritation.

Konstateras kan att det finns såväl möjligheter som risker vid användning av digital teknik i djurhållning utomhus och till viss del finns samma risker för djur vid tillämpningar inomhus. Vanliga problem är skavsår av sensor- eller GPS-halsband och stress till följd av djurens bristande anpassning till eller acceptans för virtuella stängselsystem.

## 10 Referenser

- Aerts, J.-M., Wathes, C.M. & Berckmans, D. (2003) Dynamic data-based modelling of heat production and growth of broiler chickens: development of an integrated management. *Biosystems Engineering* **84**, 257-266.
- Ager, A.A., Johnson, B.K., Kern, J.W. & Kie, J.G. (2003) Daily and seasonal movements and habitat use by female rocky mountain elk and mule deer. *Journal of Mammalogy*, **84**, 1076–1088.
- Aharoni, Y., Dolev, A., Henkin, Z., Yehuda, Y., Ezra, A., Ungar, E.D., Shabtay, A. & Brosh, A. (2013). Foraging behavior of two cattle breeds, a whole-year study: I. Heat production, activity, and energy costs. *Journal of Animal Science*, **91**(3), 1381-1390.
- Akyildiz, I.F., Ian F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y. & Cayirci, E. (2002). "A survey on sensor networks." *IEEE Communications magazine* **40**(8): 102-114.
- Anderson, D.M., Estell, R.E., Holechek, J.L., Ivey, S., & Smith, G.B. (2014). Virtual herding for flexible livestock management – a review. *The Rangeland Journal* **36**: 205–221.
- Andersson, E. & Keskitalo, E.C.H. (2017). Technology use in Swedish reindeer husbandry through a social lens. *Polar Geography*, **40**(1), 19-34.
- Andrew, W., Greatwood, C. & Burghardt, T. (2017). Visual localisation and individual identification of Holstein Friesian cattle via deep learning. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*.
- Andriamandroso, A.L.H., Lebeau, F., Beckers, Y., Froidmont, E., Dufrasne, I., Heinesch, B., Dumortier, P., Blanchy, G., Blaise, Y. & Bindelle, J. (2017). Development of an open-



- source algorithm based on inertial measurement units (IMU) of a smartphone to detect cattle grass intake and ruminating behaviors. *Computers and Electronics in Agriculture*, **139**, 126-137.
- Antanaitis, R., Žilaitis, V., Juozaitiene V. & Stoškus, R. (2016). Usefulness of Acidity and Temperature of the Rumen and Abomasum in Diagnosing SARA in Dairy Cows after Calving. *Polish Journal of Veterinary Sciences* **19**, 553-558.
- Bailey, D.W., Trotter, M.G., Knight, C.W. & Thomas, M.G. (2018). Use of GPS tracking collars and accelerometers for rangeland livestock production research1. *Translational Animal Science*, **2**, 81–88.
- Barwick, J., Lamb, D., Dobos, R., Schneider, D., Welch, M. & Trotter, M. (2018). Predicting lameness in sheep activity using tri-axial acceleration signals. *Animals* **8**, 1–16.
- Becciolini, V. & Ponzetta, M.P. (2018). Inferring behaviour of grazing livestock: opportunities from GPS telemetry and activity sensors applied to animal husbandry. Proceedings 17th International Scientific Conference "Engineering for Rural Development", 23-25 May 2018, Jelgava, Latvia, 192-198.
- Beker, A., Gipson, T.A., Puchala, R., Askar, A.R., Tesfai, K., Detweiler, G.D., Asmare, A. & Goetsch, A.L. (2010). Energy Expenditure and Activity of Different Types of Small Ruminants Grazing Varying Pastures in the Summer. *Journal of Applied Animal Research*, **37**(1), 1-14.
- Benhamou, S. & Riotte-Lambert, L. (2012) Beyond the Utilization Distribution: Identifying home range areas that are intensively exploited or repeatedly visited. *Ecological Modelling*, **227**, 112–116.
- Berckmans, D. (2017) General introduction to precision livestock farming. *Animal Frontiers* **7**(1), 6-11 doi:10.2527/af.2017.0102
- Betteridge, K., Costall, D., Balladur, S., Upsdell, M. & Umemura, K. (2010). Urine distribution and grazing behaviour of female sheep and cattle grazing a steep New Zealand hill pasture. *Animal Production Science*, **50**(5-6), 624-629.
- Bewley, J.M., Brochers, M.R., Dolecheck, K.A., Lee, A.R., Stone, A.E. & Truman, C.M. (2017). Precision dairy monitoring technology implementation opportunities and challenges. In: *Large Dairy Herd Management*. 3<sup>rd</sup> edition (Red. D.K. Beede). Champaign, American Dairy Science Association.

- Bishop-Hurley, G.J., Swain, D.L., Anderson, D.M., Sikka, P., Crossman, C. & Corke. (2007). Virtual fencing applications: Implementing and testing an automated cattle control system. *Computers and Electronics in Agriculture*, **56**, 14-22.
- Bredbandskollen Mobil surfhastighet i Sverige. Version 1.0 2017. Internetstiftelsen i Sverige, 2017.
- Brosh, A., Henkin, Z., Ungar, E.D., Dolev, A., Shabtay, A., Orlov, A., Yehuda, Y. & Aharoni, Y. (2010). Energy cost of activities and locomotion of grazing cows: A repeated study in larger plots. *Journal of Animal Science*, **88**, 315–323.
- Brown, N.A., Ruckstuhl, K.E., Donelon, S. & Corbett, C. (2010). Changes in vigilance, grazing behaviour and spatial distribution of bighorn sheep due to cattle presence in Sheep River Provincial Park, Alberta. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **135**(3), 226-231.
- Brunberg, E., Bøe, K.E. & Sørheim, K.M. (2015). Testing a new virtual fencing system on sheep. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Animal Science* **65**, 168-175.
- Brunberg, E.I., Bergslid, I.K., Bøe, K.E. & Sørheim, K.M. (2017). The ability of ewes with lambs to learn a virtual fencing system. *Animal* **11**, 2045-2050.
- Burgunder, J., Petrželková, K.J., Modrý, D., Kato, A. & MacIntosh, A.J.J. (2018). Fractal measures in activity patterns: Do gastrointestinal parasites affect the complexity of sheep behaviour? *Applied Animal Behaviour Sciences*, **205**, 44-53.
- Calcante, A., Tangorra, F.M., Marchesi, G. & Lazzari, M. (2014). A GPS/GSM based birth alarm system for grazing cows. *Computers and Electronics in Agriculture*, **100**, 123-130.
- Campbell, D.L.M., Lea, J.M., Farrer, W.J., Haynes, S.J. & Lee, C. (2017). Thech-Savy Beef Cattle? How heifers respond to moving virtual fence lines. *Animals* **7**, 72.
- Campbell, D.L.M., Lea, J.M., Haynes, S.J., Lea, J.M., Farrer, W.J., Leigh-Lancaster, C.J. & Lee, C. (2018). Virtual fencing of cattle using an automated collar in a feed attractant trial. *Applied Animal Behaviour Science* **200**, 71-77.
- Campbell, D.L.M., Haynes, S.J., Lea, J.M., Farrer, W.J. & Lee, C. (2019). Temporary exclusion of cattle from a riparian zone using virtual fencing technology. *Animals* **9**, 5.
- Cavalcanti, S.M.C. & Gese, E.M. (2010). Kill rates and predation patterns of jaguars (*Panthera onca*) in the southern Pantanal, Brazil. *Journal of Mammalogy*, **91**, 722–736.

- Chapinal, N., de Passillé, A.M., Rushen, J. & Wagner, S. (2010). Automated methods for detecting lameness and measuring analgesia in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, **93**, 2007–13.
- Chelotti, J.O., Vanrell, S.R., Milone, D.H., Utsumi, S.A., Galli, J.R., Rufiner, H.L. & Giovanini, L.L. (2016). A real-time algorithm for acoustic monitoring of ingestive behavior of grazing cattle. *Computers and Electronics in Agriculture*, **127**, 64-75.
- Corcoran, E., Denman, S., Hanger, J., Wilson, B., & Hamilton, G. (2019). "Automated detection of koalas using low-level aerial surveillance and machine learning." *Scientific reports* **9**(1), 3208.
- Cyple, J.A., Fitzpatrick, C.E., Leslie, K.E., DeVries, T.J., Haley, D.B. & Chapinal, N. (2012). Short communication: The effects of experimentally induced *Escherichia coli* clinical mastitis on lying behavior of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, **95**, 2571–2575.
- Delagarde, R. & Lamberton, P. (2015). Daily grazing time of dairy cows is recorded accurately using the Lifecorder Plus device. *Applied Animal Behaviour Science*, **165**, 25-32.
- DeMars, C.A., Auger-Méthé, M., Schlägel, U.E. & Boutin, S. (2013). Inferring parturition and neonate survival from movement patterns of female ungulates: a case study using woodland caribou. *Ecology and Evolution*, **3**, 4149–4160.
- D'Eon, R. G. & Delparte, D. (2005). Effects of radio-collar position and orientation on GPS radio-collar performance, and the implications of PDOP in data screening. *Journal of Applied Ecology*, **42**, 383–388. (doi:10.1111/j.1365-2664.2005.01010.x)
- Ditmer, M.A., Werden, L.K., Tanner, J.C., Vincent, J.B., Callahan, P., Iaizzo, P.A., Laske, T.G. & Garshelis, D.L. (2018). Bears habituate to the repeated exposure of a novel stimulus, unmanned aircraft systems. *Conservation Physiology* **6**, coy067. doi:10.1093/conphys/coy067.
- Dolev, A., Henkin, Z., Brosh, A., Yehuda, Y., Ungar, E.D., Shabtay, A. & Aharoni, Y. (2014). Foraging behavior of two cattle breeds, a whole-year study: II. Spatial distribution by breed and season. *Journal of Animal Science*, **92**(2), 758-766.
- Duncan, N.B. & Meyer, A.M. (2019). Locomotion behavior changes in peripartum beef cows and heifers. *Journal of Animal Sciences*, **97**, 509–520.
- Eftang, S.G. & Bøe, K.E. (2017). Bruk av Nofence virtuelt gjerde til geit i et dyrevelferdsperspektiv. Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.

Europaparlamentets och Rådets Förordning (EU) 2017/625 av den 15 mars 2017 om offentlig kontroll och annan offentlig verksamhet för att säkerställa tillämpningen av livsmedels- och foderlagstiftningen och av bestämmelser om djurs hälsa och djurskydd, växtskydd och växtskyddsmedel samt om ändring av Europaparlamentets och rådets förordningar (EG) nr 999/2001, (EG) nr 396/2005, (EG) nr 1069/2009, (EG) nr 1107/2009, (EU) nr 1151/2012, (EU) nr 652/2014, (EU) 2016/429 och (EU) 2016/2031, rådets förordningar (EG) nr 1/2005 och (EG) nr 1099/2009 och rådets direktiv 98/58/EG, 1999/74/EG, 2007/43/EG, 2008/119/EG och 2008/120/EG och om upphävande av Europaparlamentets och rådets förordningar (EG) nr 854/2004 och (EG) nr 882/2004, rådets direktiv 89/608/EEG, 89/662/EEG, 90/425/EEG, 91/496/EEG, 96/23/EG, 96/93/EG och 97/78/EG samt rådets beslut 92/438/EEG (förordningen om offentlig kontroll).

Europeiska kommissionen. (2018). Broadband Coverage in Europe 2017. European Commission DG Communications Networks, Content & Technology, ISBN 978-92-79-81287-3.

Falu, E.M.D., Brizuela, M.A., Cid, M.S., Cibils, A.F., Cendoya, M.G. & Bendersky, D. (2014). Daily feeding site selection of cattle and sheep co-grazing a heterogeneous subtropical grassland. *Livestock Science*, **161**, 147-157.

Fay, P. K., McElligott, V. T. & Havstad, K. M. (1989). Containment of free-ranging goats using pulsed-radio-wave- activated shock collars. *Applied Animal Behaviour Science*, **23**, 165–171.

Fogsgaard, K.K., Bennedsgaard, T.W. & Herskin, M.S. (2015). Behavioral changes in freestall-housed dairy cows with naturally occurring clinical mastitis. *Journal of Dairy Science*, **98**, 1730–1738.

Forbes, A.B., Huckle, C.A. & Gibb, M.J. (2004). Impact of eprinomectin on grazing behaviour and performance in dairy cattle with sub-clinical gastrointestinal nematode infections under continuous stocking management. *Veterinary Parasitology*, **125**, 353–364.

Forbes, A.B., Huckle, C.A., Gibb, M.J., Rook, A.J. & Nuthall, R. (2000). Evaluation of the effects of nematode parasitism on grazing behaviour, herbage intake and growth in young grazing cattle. *Veterinary Parasitology*, **90**, 111–118.

Frair, J.L., Fieberg, J., Hebblewhite, M., Cagnacci, F., DeCesare, N.J. & Pedrotti, L. (2010). Resolving issues of imprecise and habitat-biased locations in ecological analyses using

- GPS telemetry data. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, **365**, 2187–2200.
- Frost, A.R. (2001). In: Wathes, C.M., Frost, A.R., Gordon, F. & Wood, J.D. (Eds.), *An overview of Integrated Management Systems for Sustainable Livestock Production*. Occasional Publication Number 28. British Society of Animal Science, Edinburgh, 45–50.
- Gasteiner, J., Guggenberger, T., Häusler, J. & Steinwider, A. (2012). Continuous and Long-Term Measurement of Reticuloruminal pH in Grazing Dairy Cows by an Indwelling and Wireless Data Transmitting Unit. *Veterinary Medicine International*, 2012. 1-7.
- Gilbertsson, M. & Westlin, H. (2009). Utvärdering av olika distributionssätt av korrektionssignal för RTK-GPS. JTI-rapport Lantbruk och industri 381. ISSN 1401-4963.
- Handcock, R.N., Swain, D.L., Bishop-Hurley, G.J., Patison, K.P., Wark, T., Valencia, P., Corke, P. & O'Neill, C.J. (2009). Monitoring Animal Behaviour and Environmental Interactions Using Wireless Sensor Networks, GPS Collars and Satellite Remote Sensing. *Sensors*, **9**(5), 3586-3603.
- Harris, N.R., Johnson, D.E., McDougald, N.K. & George, M.R. (2007). Social associations and dominance of individuals in small herds of cattle. *Rangeland Ecology & Management*, **60**(4), 339-349.
- Heard, D. C., Ciarniello, L. M. & Seip, D. R. (2008). Grizzly bear behavior and global positioning system collar fix rates. *Journal of Wildlife Management*, **72**, 596–602.
- Helwatkar, A., Riodran, M. & Walsh, J. (2014). Sensor Technology for Animal Health Monitoring. Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference on Sensing Technology, Liverpool.
- Humer, E., Ghareeb, K., Harder, H., Mickdam, E., Khol-Parisini, A. & Zebeli, Q. (2015). Peripartur changes in reticuloruminal pH and temperature in dairy cows differing in the susceptibility to subacute rumen acidosis. *Journal of Dairy Science*, **98**, 8788-8799.
- International Committee for Animal Recording. (2018). Sensor Devices Task Force. Rom, Italien. Available at: <https://www.icar.org/index.php/technical-bodies/task-forces/sensor-devices-task-force-landing-page/#> [2019-03-26].

- International Electrotechnical Commission. (2018). IEC 60335-2-76:2018. Household and similar electrical appliances – Safety – Part 2-76: Particular requirements for electric fence energizers.
- IoT Sverige. (2017). Internet of things för smarta samhällen. Nedladdad från: [https://iotsverige.se/wp-content/uploads/Internet-of-Things-smarta-samhallen\\_v2\\_h17.pdf](https://iotsverige.se/wp-content/uploads/Internet-of-Things-smarta-samhallen_v2_h17.pdf). [2019-03-05].
- Itle, A.J., Huzzey, J.M., Weary, D.M. & von Keyserlingk, M.A.G. (2015). Clinical ketosis and standing behavior in transition cows. *Journal of Dairy Sciences*, **98**, 128–134.
- Jonsson, N., Kleen, J.L., Wallace, R.J., Andonovic, I., Michie, C., Farish, M., Mitchell, M., Duthie, C.A., Jensen, D.B. & Denwood, M.J. (2019). Evaluation of reticuloruminal pH measurements from individual cattle: Sampling strategies for the assessment of herd status. *Veterinary Journal*, **243**, 26-32.
- Johnson, C.J., Nielson, S.E., Merrill, E.H., McDonald, T.L. & Boyce, M.S. (2006). Resource selection functions based on use-availability data: theoretical motivation and evaluation methods. *Journal of Wildlife Management*, **70**, 347–357.
- Jouven, M, Leroy, H., Ickowicz, A. & Lapeyronie, P. (2012). Can virtual fences be used to control grazing sheep? *The Rangeland Journal*, **34**, 111-123.
- Karlsson, J., Støen, O.-G., Segerström, P., Stokke, R., Persson, L.-T., Stokke, L.-H., Persson, S., Stokke, N., Persson, A., Segerström, E., Rauset, G.-R., Kindberg, J., Bischof, R., Sivertsen, T.R., Skarin, A., Åhman, B., Ängsteg, I. & Swenson, J. (2012). Björnpredation på ren och potentiella effekter av tre förebyggande åtgärder [Brown Bear Predation on Reindeer and Potential Effects of Three Preventive Measures]. Viltskadecenter, Sveriges lantbruksuniversitet, Riddarhyttan.
- Kays, R., Crofoot, M.C., Jetz, W. & Wikelski, M. (2015). Terrestrial animal tracking as an eye on life and planet. *Science*, **348**, aaa2478.
- Kearton, T., Marini, D., Cowley, F., Belson, S. & Lee, C. (2019). The effect of virtual fencing stimuli on stress responses and behavior in sheep. *Animals* **9**, 30.
- Kellenberger, B., Marcos, D. & Tuia, D. (2018). Detecting mammals in UAV images: Best practices to address a substantially imbalanced dataset with deep learning. *Remote Sensing of Environment*, **216**, 139-153.
- Kokin, E., Praks, J., Veermäe, I., Poikalainen, V. & Vallas, M. (2014). IceTag3D™ accelerometric device in cattle lameness detection. *Agronomy Research*, **12**, 223–230.

- Koltés, J.E., Koltés, D.A., Mote, B.E., Tucker, J. & Hubbell, D.S. (2018). Automated collection of heat stress data in livestock: new technologies and opportunities. *Translational Animal Science*, **2**, 319-323.
- Lalaina, A., Andriamandroso, H. & Bindelle, J. (2016). A review on the use of sensors to monitor cattle jaw movements and behavior when grazing. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, **20**, 273-286.
- Laporte, I., Muhly, T.B., Pitt, J.A., Alexander, M. & Musiani, M. (2010). Effects of Wolves on Elk and Cattle Behaviors: Implications for Livestock Production and Wolf Conservation. *Plos One*, **5**(8).
- Latham, A.D.M., Latham, M.C., Anderson, D.P., Cruz, J., Herries, D. & Hebblewhite, M. (2015) The GPS craze. *New Zealand Journal of Ecology*, **39**, 143–152.
- Ledgerwood, D.N., Winckler, C. & Tucker, C.B. (2010). Evaluation of data loggers, sampling intervals, and editing techniques for measuring the lying behavior of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, **93**, 5129–5139.
- Lee, C., Fisher, A.D., Reed, M.T. & Henshall, J.M. (2008). The effect of low energy electric shock on cortisol,  $\beta$ -endorphin, heart rate and behavior of cattle. *Applied Animal Behaviour Science*, **113**, 32-42.
- Lee, C., Henshall, J.M., Wark., T.J., Crossman, C.C., Reed, M.T., Brewer, H.G., O'Grady, J. & Fisher, A.D. (2009). Associative learning by cattle to enable effective and ethical virtual fences. *Applied Animal Behaviour Science*, **119**, 15-22.
- Lee, C., Colditz, I.G. & Campbell, D.L.M. (2018). A framework to assess the impact of new animal management technologies on welfare: A case study of virtual fencing. *Frontiers in Veterinary Science*, **5**, 187.
- Liao, C., Clark, P.E., Shibia, M. & DeGloria, S.D. (2018). Spatiotemporal dynamics of cattle behavior and resource selection patterns on East African rangelands: evidence from GPS-tracking. *International Journal of Geographical Information Science*, **32**(7), 1523-1540.
- Lilje, C., Engfeldt, A. & Jivall, L., 2007. Introduktion till GNSS. LMV-rapport. (2007):11. Gävle.
- Lind, A.-K. & Lindahl, C. (2018). RISE Rapport 2018:75, Moocall - en sensor med koll på kalvningar.

- Lindberg, M.S. & Walker, J. (2007) Satellite Telemetry in Avian Research and Management: Sample Size Considerations. *Journal of Wildlife Management*, **71**, 1002–1009.
- Lundell, R: Undersökning av nätverks-RTK-meddelande tillsammans med olika GNSS-mottagare – vid nätverks-RTK-mätning i SWEPOS nät av fasta referensstationer. Lantmäteri rapport 2012:3.
- Løvendahl, P. Validation protocol for sensors. Proceedings of the DairyCare Billund Workshop. (2017). Billund, Denmark.
- Mansbridge, N., Mitsch, J., Bollard, N., Ellis, K., Miguel-Pacheco, G.G., Dottorini, T. & Kaler, J. (2018). Feature Selection and Comparison of Machine Learning Algorithms in Classification of Grazing and Rumination Behaviour in Sheep. *Sensors*, **18**(10).
- Marchesini, G., Mottaran, D., Contiero, B., Schiavon, E., Segato, S., Garbin, E., Tenti, S. & Andrighetto, I. (2018). Use of rumination and activity data as health status and performance indicators in beef cattle during the early fattening period. *Veterinary Journal*, **231**, 41–47.
- Marini, D., Llewellyn, R., Belson, S. & Lee, C. (2018a). Controlling within-field sheep movement using virtual fencing. *Animals*, **3**, 31.
- Marini, D., Meuleman, M.D., Belson, S., Rodenburg, T.B., Llewellyn, R. & Lee, C. (2018b). Developing an ethically acceptable virtual fencing system for sheep. *Animals* **8**, 33.
- Markus, S.B., Bailey, D.W. & Jensen, D. (2014). Comparison of electric fence and a simulated fenceless control system on cattle movements. *Livestock Science* **170**, 203-209.
- McCorkell, R., Wynne-Edwards, K., Windeyer, C. & Schaefer, A. (2014). Limited efficacy of Fever Tag(®) temperature sensing ear tags in calves with naturally occurring bovine respiratory disease or induced bovine viral diarrhoea virus infection. *Canadian Veterinary Journal*, **55**, 688-690.
- McDonald, C.L., Beilharz, R.G. & McCutchan, J.C. (1981). Training cattle to control by electric fences. *Applied Animal Ethology*, **7**:113-121.
- Medrano-Galarza, C., Gibbons, J., Wagner, S., de Passillé, A.M. & Rushen, J. (2012). Behavioral changes in dairy cows with mastitis. *Journal of Dairy Science*, **95**, 6994–7002.
- Mejdell, C.M., Basic, D. & Bøe, K.E. (2017). A review on the use of electric devices to modify animal behaviour and the impact on animal welfare. Opinion of the Panel on



- Animal Health and Welfare of the Norwegian Scientific Committee for Food and Environment. VKM report 2017:31. Norwegian Scientific Committee for Food and Environment (VKM), Oslo, Norway, 2017
- Molapo, N.A., Malekian, R. & Nair, L. (2019). Real-Time Livestock Tracking System with Integration of Sensors and Beacon Navigation. *Wireless Personal Communications*, **104**(2): 853-879.
- Molfino, J., Clark, C.E.F., Kerrisk, K.L. & Garcíá, S.C. (2017). Evaluation of an activity and rumination monitor in dairy cattle grazing two types of forages. *Animal Production Sciences*, **57**, 1557–1562.
- Mulero-Pázmány, M., Stolper, R., Van Essen, L.D., Negro, J.J. & Sassen, T. (2014). "Remotely piloted aircraft systems as a rhinoceros anti-poaching tool in Africa." *PloS one*, **9**(1): e83873.
- Mulero-Pázmány, M., Barasona, J.A., Acevedo, P., Vicente, J. & Negro, J.J. (2015). Unmanned Aircraft Systems complement biologging in spatial ecology studies. *Ecology and Evolution*, **5**(21), 4808-4818.
- Neave, H.W., Lomb, J., Weary, D.M., LeBlanc, S.J., Huzzey, J.M. & von Keyserlingk, M.A.G. (2018). Behavioral changes before metritis diagnosis in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, **101**, 4388-4399.
- Nofence. (2019). Verdens første virtuelle gjerdelsesning. Nofence AS. <https://nofence.no>, använd, 2019-04-16
- Näringsdepartementet. (2018). En anpassning av bestämmelser om kontroll i livsmedelskedjan till EU:s nya kontrollförordning. Stockholm: Norstedts Juridik. Ds 2018:41. Hämtad från <https://www.regeringen.se/48d13b/contentassets/2d90237bc528435890e86d6da9e9aa40/ds-41-2018-web.pdf>.
- Palczynski, L. (2019). Third Annual Report for Researchers On Research Priorities On The Use Of Sensor Technologies To Improve Productivity And Sustainability On Dairy Farms. Hämtad från: [https://www.4d4f.eu/sites/default/files/4D4F%20Dairy%20Sensor%20Research\\_2019\\_0.pdf](https://www.4d4f.eu/sites/default/files/4D4F%20Dairy%20Sensor%20Research_2019_0.pdf).
- Pepin, D., Adrados, C., Mann, C. & Janeau, G. (2004). Assessing real daily distance traveled by ungulates using differential GPS locations. *Journal of Mammalogy*, **85**, 774–780.

- Pereira, G.M., Heins, B.J. & Endres, M.I. (2018). Validation of an ear-tag accelerometer sensor to determine rumination, eating, and activity behaviors of grazing dairy cattle. 2018. *Journal of Dairy Science*, **101**(3), 2492-2495.
- Richeson, J.T., Lawrence, T.E., & White, B.J. (2018). Using advanced technologies to quantify beef cattle behavior. *Translational Animal Science* **2**: 223–229.
- Rombach, M., Münger, A., Niederhauser, J., Südekum, K. & Schori, F. (2018). Evaluation and validation of an automatic jaw movement recorder (RumiWatch) for ingestive and rumination behaviors of dairy cows during grazing and supplementation. *Journal of Dairy Science*, **101**(3), 2463–2475.
- Ruiz-Garcia, L., Lunadei, L., Barreiro, P. & Robla, I. (2009). A review of wireless sensor technologies and applications in agriculture and food industry: state of the art and current trends. *Sensors* **9**(6): 4728-4750.
- Rutter, M. (2015). Current and future prospects for the automatic recording and control of ruminant foraging on farms. *Proceedings of the Third DairyCare Conference 2015*, Zadar, Croatia.
- Rutten, C.J., Velthuis, A.G.J, Steeneveld, W. & Hogeveen, H. (2013). Invited review: Sensors to support health management on dairy farms. *Journal Dairy Science*, **96**, 1928-1952.
- Ruuska, S., Kajava, S., Mughal, M., Zehner, N. & Mononen, J. (2016). Validation of a pressure sensor-based system for measuring eating, rumination and drinking behaviour of dairy cattle. *Applied Animal Behaviour Science*, **174**, 19-23.
- Rümmler, M.-C., Mustafa, O., Maercker, J., Peter, H.-U. & Esefeld, J. (2018). Sensitivity of Adélie and Gentoo penguins to various flight activities of a micro UAV. *Polar Biology* **41**, 2481–2493. doi:10.1007/s00300-018-2385-3.
- Sametinget. (2017). Sammanställning Enkät Om GPS-Halsband, <https://www.sametinget.se/115427>
- Schieltz, J.M., Okanga, S., Allan, B.F. & Rubenstein, D.I. (2017). GPS tracking cattle as a monitoring tool for conservation and management. *African Journal of Range & Forage Science*, **34**(3), 173-177.
- Sepúlveda-Varas, P., Proudfoot, K.L., Weary, D.M. & von Keyserlingk, M.A.G. (2016). Changes in behaviour of dairy cows with clinical mastitis. *Applied Animal Behaviour, Science*, **175**, 8–13.

- SFS 2018:1192 Djurskyddslag. Stockholm: Näringsdepartementet, Sveriges regering
- SFS 2019:66 Djurskyddsförordning. Stockholm: Näringsdepartementet, Sveriges regering
- Sickel, H., Ihse, M., Norderhaug, A. & Sickel, M.A.K. (2004). How to monitor semi-natural key habitats in relation to grazing preferences of cattle in mountain summer farming areas: an aerial photo and GPS method study. *Landscape and Urban Planning*, **67**(1/4), 67-77.
- Sivertsen, T.R. (2017). Risk of Brown Bear Predation on Semi-Domesticated Reindeer Calves - Predation Patterns, Brown Bear – Reindeer Interactions and Landscape Heterogeneity. Doctoral thesis, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Skarin, A., Sandström, P. & Alam, M. (2018). Out of sight of wind turbines—Reindeer response to wind farms in operation. *Ecology and Evolution*, **8**, 9906–9919.
- Staten jordbruksverks föreskrifter (SJVFS 2019:13) om godkännande av ny teknik, saknr. L 37.
- Statens jordbruksverks föreskrifter och allmänna råd (SJVFS 2019:18) om nötkreaturshållning inom lantbruket m.m., saknr. L 104.
- Statens jordbruksverks föreskrifter och allmänna råd (SJVFS 2019:21) om fårhållning inom lantbruket m.m., saknr. L 107.
- Steyaert, S.M.J.G., Støen, O.-G., Elfström, M., Karlsson, J., Lammeren, R.V., Bokdam, J., Zedrosser, A., Brunberg S. & Swenson J. E. (2011). Resource selection by sympatric free-ranging dairy cattle and brown bears *Ursus arctos*. *Wildlife Biology*, **17**, 389–403.
- Swain, D.L., Wark, T. & Bishop-Hurley, G.J. (2008). Using high fix rate GPS data to determine the relationships between fix rate, prediction errors and patch selection. *Ecological Modelling*, **212**, 273–279.
- Szyszka, O., Tolkamp, B.J., Edwards, S.A. & Kyriazakis, I. (2013). Do the changes in the behaviours of cattle during parasitism with *Ostertagia ostertagi* have a potential diagnostic value? *Veterinary Parasitology*, **193**, 214–222.
- Taylor, D.B., Schneider, D.A., Brown, W.Y., Price, I.R., Trotter, M.G., Lamb, D.W. & Hinch, G.N. (2011). GPS observation of shelter utilisation by Merino ewes. *Animal Production Science*, **51**, 724–737.

- Thorup, V.M., Munksgaard, L., Robert, P., Erhard, H.W., Thomsen, P.T. & Friggens, N.C., (2015). Lameness detection via leg-mounted accelerometers on dairy cows on four commercial farms, 1704–1712.
- Tiedemann, A. R., Quigley, T. M., White, L. D., Lauritzen, W. S., Thomas, J. W. & McInnis, M. L. (1999). 'Electronic (Fenceless) Control of Livestock.' Research Paper PNW-RP-510. (U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station: Portland, Oregon, USA).
- Torney, C.J., Lamont, M., Debell, L., Angohiatok, R.J., Leclerc, L.-M. & Berdahl, A.M. (2018). Inferring the rules of social interaction in migrating caribou. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, **373**, 1746.
- Transportstyrelsens föreskrifter TSFS 2017:110 om obemannade luftfartyg.
- Umstätter, C. (2011). The evolution of virtual fences: A review. *Computers and Electronics in Agriculture* **75**, 10-22.
- Umstätter, C., Brocklehurst, S., Ross, D.W. & Haskell, M.J. (2013). Can the location of cattle be managed using broadcast audio cues? *Applied Animal Behaviour Science* **147**, 34-42.
- Umstätter, C., Morgan-Davies, J. & Waterhouse, T. (2015). Cattle responses to a type of virtual fence. *Rangeland Ecology & Management* **68**, 100-107.
- Ungar, E.D., Nevo, Y., Baram, H. & Arieli, A. (2018). Evaluation of the IceTag leg sensor and its derivative models to predict behaviour, using beef cattle on rangeland. *J. Neurosci. Methods* **300**, 127–137.
- Virgilio, A.d., Morales, J.M., Lambertucci, S.A., Shepard, E.L.C. & Wilson, R.P. (2018). Multi-dimensional Precision Livestock Farming: a potential toolbox for sustainable rangeland management. *PeerJ*, **6**(4867), e4867.
- Wathes, C.M., Kristensen, H. H., Aerts, J-M. & Berckmans, D. (2008). Is precision livestock farming an engineer's daydream or nightmare, an animal's friend or foe, and a farmer's panacea or pitfall? *Computers and Electronics in Agriculture* **64**, 2–10.
- Weary, D.M., Huzzey, J.M. & Von Keyserlingk, M.A.G. (2009). Board-invited Review: Using behavior to predict and identify ill health in animals. *Journal of Animal Science*, **87**, 770–777.

- Weiss, J.M. (1971). Effects of coping behaviour in different warning signal conditions on stress pathology in rats. *Journal of comparative physiology and psychology*, **77**: 1-13.
- Werner, J., Leso, L., Umstätter, C., Niederhauser, J., Kennedy, E., Geoghegan, A., Shalloo, L., Schick, M. & Brien, B.O. (2018a). Evaluation of the RumiWatchSystem for measuring grazing behaviour of cows. *Journal of Neuroscience Methods*, **300**, 138–146.
- Werner, J., Viel, J., Niederhauser, J., O’Leary, N., Umstätter, C. & O’Brien, B. (2018b). Validation of new algorithms for the RumiWatch noseband sensor to detect grazing behaviour of dairy cows. *Sustain. meat milk Prod. from grasslands. Proc. 27th Gen. Meet. Eur. Grassl. Fed. Cork, Ireland, 17-21 June 2018* 917–919.
- Wiklund, E., Malmfors, G., Lundström K. & Reh binder, C. (1996). Pre-slaughter handling of reindeer bulls (*Rangifer tarandus tarandus L.*) — effects on technological and sensory meat quality, blood metabolites and muscular and abomasal lesions. *Rangifer*, **16**.
- Williams, M.L., Mac Parthaláin, N., Brewer, P., James, W.P.J., & Rose, M.T. (2016). A novel behavioral model of the pasture-based dairy cow from GPS data using data mining and machine learning techniques. *Journal of Dairy Science* **99**: 2063–2075.
- Wilmers, C.C., Nickel, B., Bryce, C.M., Smith, J.A., Wheat, R.E. & Yovovich, V. (2015). The golden age of bio-logging: how animal-borne sensors are advancing the frontiers of ecology. *Ecology*, **96**, 1741–1753.
- Wilson, RP., Liebsch, N., Davies, IM., Quintana, F., Weimerskirch, H., Storch, S., Lucke, K., Siebert, U., Zankl, S., Müller, G., Zimmer, I., Scolaro, A., Campagna, C., Plötz, J., Borne-mann, H., Teilmann, J. & McMahon, CR. (2007). All at sea with animal tracks; methodological and analytical solutions for the resolution of movement. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 54:193–210 DOI 10.1016/j.dsr2.2006.11.017.
- Zobel, G., Weary, D.M., Leslie, K., Chapinal, N. & von Keyserlingk, M.A.G. (2015). Technical note: validation of data loggers for recording lying behavior in dairy goats. *Journal of Dairy Science*, **98**, 1082–9. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8635>

### **Personliga meddelanden:**

Mikael Kuhmunen, Jokkmokk, 2019-01-29.