

# Nautojen juomiskäyttäytymistä ja vedenkulutusta mittaavat teknologiat ja niiden sovellutukset – kirjallisuuskatsaus

Leena Tuomisto<sup>1</sup> ja Ilpo Pölönen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Luonnonvarakeskus (Luke), Halolantie 31 A, 71750 Maaninka, leena.tuomisto@luke.fi

<sup>2</sup>Hämeen ammattikorkeakoulu, Visamäentie 35 A, 13100 Hämeenlinna, ilpo.polonen@hamk.fi

e-mail: leena.tuomisto@luke.fi

Kotieläinten automaattinen monitorointi teknologiaa käyttäen mahdollistaa eläinten terveyden ja tuotannon parantamisen sekä työn tehostamisen. Kirjallisuuskatsauksen tavoitteena oli selvittää, millaista edistyksestä teknologiaa on saatavilla nautojen yksilökohtaisen vedenkulutuksen ja juomiskäyttäytymisen mittaamiseen sekä miten kyseistä teknologiaa voidaan hyödyntää tai on hyödynnetty nautojen tuotannon, terveyden ja hyvinvoinnin valvonnassa. Vaakavesikuppiin ja eläimen RFID-tunnistukseen perustuvaa kaupallista teknologiaa on saatavilla muutamilta valmistajilta (esim. Hokofarm Group, Intergado). Tämä teknologia mittaa juomiskäyttäytymistä ja vedenkulutusta hyvin luotettavasti, mutta on kallista käytännön maataloille. Kiihtyvyyssanturit yksinään tai yhdistettyinä painesensoriin (RumiWatch) eivät mittaa juomiskäyttäytymistä luotettavasti, vaikka toimivat syömiskäyttäytymisen mittaamisessa hyvin. Reaaliaikainen paikannusjärjestelmä (RTLS) ja RFID-teknologia (yksinään käytettynä) antavat tietoa eläimen juomakupilla oleskelusta, mutta eivät kerro itse juomisesta tai vedenkulutuksesta. Etäluettavat vedenvirtausmittarit mittaavat vedenkulutusta ryhmätasolla. Prototyypilaitteistoissa tai tutkimusta varten rakennetuissa mittausasemissa on usein yhdistetty useita teknologioita (RFID-tunnistus, vedenvirtausmittarit, valokennoteknologia ja/tai konenäkö). Nämä mittauslaitteistot ovat antaneet vaihtelevan tarkkaa tietoa eläinten juomiskäyttäytymisestä ja/tai vedenkulutuksesta. Useissa tutkimuksissa on havaittu, että nautan sairastuessa kliinisesti tai subkliinisesti sen juomiskäyttäytyminen muuttuu (kesto tai frekvenssi). Näitä muutoksia ovat aiheuttaneet esimerkiksi hengitystietulehdus lihanaudoilla, ontuminen, subkliininen hypokalsemia, subkliininen ketoosi, kliininen ja subkliininen utaretulehdus lypsylehmillä sekä vasikkaripuli. Joissain tutkimuksissa sairastuminen on vaikuttanut jopa vedenkulutukseen. Siten tieto eläimen juomiskäyttäytymisestä ja/tai vedenkulutuksessa tapahtuneesta muutoksesta, mahdollisesti yhdistettynä muuhun eläimestä saatavaan tietoon, voisi toimia merkinä eläimen sairastumisesta tai hyvinvoinnin vaarantumisesta ja olla pohjana varhaiselle varoitussignaali-järjestelmälle tai osana sitä. Nautojen vedenkulutusta ja juomiskäyttäytymistä ei käytetä laajamittaisesti nautojen terveyden ja tuotannon seurannassa. Osaltaan syynä on puute kohtuuhintaisista maatilakäyttöön soveltuvista juomavesilaitteistoista, jotka pystyvät eläinokohtaiseen automaattiseen mittaukseen. Nautojen vedenkulutuksen ja juomiskäyttäytymisen mittaamisella olisi useita mahdollisia sovellutuksia. Esimerkiksi muutokset vedenkulutuksessa voisivat kertoa häiriöistä juomavesilaitteiston toiminnassa tai veden laadussa. Laiduntavien eläinten vedenkulutuksen etäseuranta voisi pienentää eläinten valvontaan kuluva työmäärää. Yksilökohtaisen tiedon avulla erityistä huomiota tarvitsevien eläinten tunnistaminen voisi helpottaa.

*Avainsanat:* naudat, teknologia, juomavesi, terveys

## Johdanto

Täsmäkotieläintuotanto (PLF, Precision Livestock Farming) hyödyntää edistyksestä teknologiaa kotieläinten hyvinvoinnin automaattisessa monitoroinnissa ja tuotannon suunnittelussa ja hallinnassa (esim. Aquilani ym. 2022). Automatisoitu seuranta mahdollistaa eläinten tuotannon, lisääntymistuloksen, terveyden ja hyvinvoinnin parantamisen sekä tuotannon ympäristövaikutusten pienentämisen.

Kirjallisuuskatsauksen tavoitteena oli koota tieteellisestä kirjallisuudesta tietoa PLF-teknologioista, joilla pystytään mittaamaan automaattisesti nautojen juomiskäyttäytymistä ja vedenkulutusta. Lisäksi selvitettiin, miten ja missä mittakaavassa tätä tietoa on hyödynnetty tai voidaan hyödyntää nautojen terveyden, tuotannon ja hyvinvoinnin valvonnassa.

PLF-teknologioiden sovellutusten kannalta on olennaista tietää, miten nautan juomiskäyttäytyminen ja vedenkulutus muuttuu, kun eläin sairastaa tai on sairastumassa. Tämän vuoksi katsauksessa käsiteltiin nautojen sairauskäyttäytymistä juomiskäyttäytymisen ja vedenkulutuksen näkökulmasta.

## Yleistä PLF-teknologioista

Monia PLF-teknologioita on kehitetty lypsylehmien tuotannon ja käyttäytymisen seurantaan. Teknologioilla voidaan havaita muutoksia eläimen aktiivisuudessa, terveydentilassa, fyysisessä voinnissa sekä syönnissä ja vedenkulutuksessa. Käytettyjä teknologioita ja sensoreita ovat esimerkiksi RFID (radio frequency identification eli radiotaajuinen etätunnistus), kiihtyvyyssanturit, painemittarit, GPS (global positioning system eli maailmanlaajuinen paikannusjärjestelmä), punnitusanturit, kamerat, lypsyröbotti, pötsiin asetettavat bolukset, mikrofonit sekä matkapuhelinsovellukset. Stygar ym. (2021) raportoivat markkinoilla olevan 129 eri teknologiaa lypsylehmien, hiehojen ja vasikoiden hyvinvoinnin eläinperusteiseen mittaamiseen. Näistä suurimman osan toiminta perustui kiihtyvyyssantureihin ja punnitusantureihin (57% kaikista teknologioista).

PLF-teknologioilla on monia hyötyjä eläintuotannossa (esim. Chapa ym. 2020, Stygar ym. 2021). Näitä ovat esimerkiksi:

- Eläimen käyttäytymisessä tai fysiologisessa toiminnassa havaittu muutos voi kertoa ongelmista olosuhteissa tai eläinten hoidossa (esim. juomavesi- tai ruokintalaitteiston epäkuunto)
- Eläimen käyttäytymisessä tai fysiologisessa toiminnassa havaittu muutos voi kertoa eläimen sairastumisesta tai fysiologisesta tilasta (esim. ontuminen, kiima). Varhainen sairauden havaitseminen voi nopeuttaa hoidon aloitusta ja parantaa eläimen ennustetta.
- Teknologiat voivat tunnistaa eniten huomiota tarvitsevat eläimet, jolloin resursseja voidaan kohdistaa niihin.
- Teknologiat voivat tuoda lisäarvoa maatalan hoitoon parantamalla datan prosessointia sekä helpottamalla tilan ja eläinten hoitoon liittyvää päätöksentekoa.
- Teknologioita voidaan käyttää valvomaan eläinten hyvinvointia tilatasolla. Hyvinvoinnin valvonta voi olla jatkuvaa.

Uusi teknologia on olennaisen tärkeää validoida asianmukaisesti (esim. Ruuska ym. 2018). Validointi on menettely, jolla arvioidaan mittaako laitteen algoritmi sitä, mitä sen on tarkoitus mitata. Validointi on tehtävä ns. ulkoisen validointina eli validoinnissa on käytettävä eri eläinainesta kuin mitä on käytetty laitteen ja algoritmin kehittämisessä. Kaupallisten PLF-teknologioiden ongelmana on alhainen validointiprosentti. Lypsylehmien, hiehojen ja vasikoiden hyvinvointia mittaavista kaupallisista teknologioista (129 kpl) vain pieni osa (14%) oli ulkoisesti validoitu (Stygar ym. 2021).

Osa kaupallisista PLF-teknologioista soveltuu heikosti maatalakäyttöön, koska laitteistojen hankintahinta voi olla liian korkea tai teknologia on kehitetty lähinnä tutkimuskäyttöön (Stygar ym. 2021). PLF-teknologian käyttöönotto ei lypsykarjatilalla ole aina johtanut taloudelliseen hyötyyn (Steenefeld ym. 2015), minkä vuoksi on tärkeää tehdä teknologian suorituskyvyn perusteellinen arviointi etukäteen.

Nykyisissä tilatason eläinten hyvinvoinnin arviointimenetelmissä, kuten Welfare Quality® (WQ) (Welfare Quality 2018), on puutteita ja rajoitteita (Stygar ym. 2021). WQ-arviointi on subjektiivista eli perustuu arviota tekevän henkilön omakohtaiseen tulkintaan ja arvioon. WQ-arviointia ei voida tehdä jatkuvasti vaan se perustuu hetkelliseen tilanteeseen ja otokseen. Lisäksi WQ-arviointi ei ole käytännöllinen havaitsemaan varhaisia varoitusmerkkejä. PLF-teknologioilla voisi tulevaisuudessa olla käyttömahdollisuuksia täydentämään WQ-arvioita (Chapa ym. 2020, Stygar ym. 2021). Erityisesti PLF-teknologioiden etuna on hyvinvoinnin automaattinen jatkuva mittaaminen yksilö- ja ryhmätasolla. Edellytyksenä PLF-teknologioiden käytölle hyvinvointimerkkien tai hyvinvointiin perustuvien korvausten perusteena on teknologioiden laaja saatavuus ja validoinnit.

## Nautojen juomiskäyttäytymistä ja vedenkulutusta mittaavat PLF-teknologiat

### Vaakateknologiat

Kaupallisia nautojen yksilöllistä juomiskäyttäytymistä ja/tai vedenkulutusta mittaavia validoituja vaakateknologioita on saatavilla vain muutamia (Hokofarm Group ja Intergado) (Taulukko 1). Mittaus perustuu vesikaukaloon liitettyyn punnitusanturiin ja eläimen RFID-tunnistukseen. Nämä laitteistot ovat kalliita ja siksi ne soveltuvat paremmin tutkimuksen käyttöön kuin käytännön maataloille. Validointikokeissa niiden on todettu mittaavan juomiskäyttäytymistä ja vedenkulutusta hyvin luotettavasti (Chapinal ym. 2007, Allwardt ym. 2017, Oliveira ym. 2018). Lisäksi markkinoilla on BioControl- ja Vytelle-laitteistot, jotka niin ikään hyödyntävät RFID-teknologiaa eläimen tunnistamisessa vesialtaalla (Taulukko 1). Näiden laitteistojen validointikokeiden tuloksia ei tiettävästi ole julkaistu tai validointikokeita ei ole tehty.

### Paine- ja kiihtyvyyssanturit

Kaupallisen RumiWatch-teknologian toiminta perustuu kiihtyvyyssanturiin ja painesensoriin, jotka on kiinnitetty eläimen päähän asetettavaan riimuun (Taulukko 1). RumiWatch-teknologian kyky mitata juomiskäyttäytymistä on validointikokeissa osoittautunut heikoksi (Ruuska ym. 2016, Zehner ym. 2017, Pouloupoulou ym. 2019, Steinmetz ym. 2020, Pereira ym. 2021).

Kaupallinen Smartbow on validoitu teknologia, joka mittaa reaaliaikaisesti eläimen sijaintia navettarakennuksessa sekä eläimen aktiivisuutta kiihtyvyyssanturilla (Wolfger ym. 2017). Roland ym. (2018) kehittivät algoritmin hyödyntämään Smartbow-kiihtyvyyssanturin (korvassa) antamaa dataa vasikoiden käyttäytymisen mittaamisessa. Algoritmi ei onnistunut kiihtyvyyssanturidataan perustuen mittaamaan vasikoiden juomiskäyttäytymistä luotettavasti. Williams ym. (2019a) testasivat naudan kaulaan kiinnitettyä kiihtyvyyssanturia juomiskäyttäytymisen tunnistamisessa. Kiihtyvyyssanturidataan perustuva algoritmi pystyi erottamaan veden juomisen eläimen monista muista toiminnoista (seisoo pää ylhäällä, kävelee), mutta ei kaikista (seisoo pää alhaalla).

Validointikokeet osoittavat, että kiihtyvyyssantureihin perustuvat teknologiat eivät toimi juomiskäyttäytymisen mittaamisessa. Rehun syömisen ja märehтимisen mittaamisessa ne ovat osoittautuneet luotettaviksi (Chapa 2020).

Taulukko 1. Kaupalliset nautojen juomiskäyttäytymistä ja vedenkulutusta mittaavat PLF-teknologiat ja mahdollisen validoinnin tulos

Kaupallinen teknologia	Sensorin tyyppi	Validointikoe		Tulos <sup>a</sup>	Viite
		Parametri	Eläintyyppi		
Insentec Roughage Intake Control (RIC), nykyinen RIC2Discover <a href="https://hokofarmgroup.com/">https://hokofarmgroup.com/</a>	Vesikaukaloon liitetty punnitusanturi, eläimen tunnistus RFID avulla	Juotu vesi, juomisaika	Lehmä	Mittaa luotettavasti	Chapinal ym. 2007
Insentec Roughage Intake Control (RIC)	Vesikaukaloon liitetty punnitusanturi, eläimen tunnistus RFID avulla	Juotu vesi	Härkä	Mittaa luotettavasti	Allwardt ym. 2017
Intergado <a href="https://intergado.com/intergado-science/">https://intergado.com/intergado-science/</a>	Vesikaukaloon liitetty punnitusanturi, eläimen tunnistus RFID avulla	Juotu vesi, juomisaika	Vasikka	Mittaa luotettavasti	Oliveira ym. 2018
GrowSafe, nykyinen Vytelle Sense <a href="https://vytelle.com/vytelle-sense/">https://vytelle.com/vytelle-sense/</a>	Eläimen tunnistus vesikaukalolla RFID avulla	Juomis-käyttäytyminen		Ei validoitu	
BioControl <a href="https://biocontrol.no/crfi-water/">https://biocontrol.no/crfi-water/</a>	Eläimen tunnistus vesialtaalla RFID avulla, ei varmaa tietoa vedenkulutuksen mittausteknologiasta	Juotu vesi, juomis-käyttäytyminen		Ei validoitu	
RumiWatch (V0.7.0.0) <a href="https://www.rumiwatch.com/index.html">https://www.rumiwatch.com/index.html</a>	Eläimen päähän asetettu riimu, johon on kiinnitetty kiihtyvyyssanturi ja paineanturi	Juomisaika (parressa)	Lehmä	Ei mittaa luotettavasti	Ruuska ym. 2016
RumiWatch (V0.7.2.0 ja V0.7.3.2)	Eläimen päähän asetettu riimu, johon on kiinnitetty kiihtyvyyssanturi ja paineanturi	Juomisaika	Lehmä	Ei mittaa luotettavasti	Zehner ym. 2017
RumiWatch (V0.7.4.13)	Eläimen päähän asetettu riimu, johon on kiinnitetty kiihtyvyyssanturi ja paineanturi	Juomisaika (laitumella)	Lihanauta	Ei mittaa luotettavasti	Poulopoulou ym. 2019
RumiWatch (V0.7.4.5)	Eläimen päähän asetettu riimu, johon on kiinnitetty kiihtyvyyssanturi ja paineanturi	Juomisaika	Lehmä	Ei mittaa luotettavasti	Steinmetz ym. 2020
RumiWatch	Eläimen päähän asetettu riimu, johon on kiinnitetty kiihtyvyyssanturi ja paineanturi	Juomisaika (laitumella)	Lehmä	Ei mittaa luotettavasti	Pereira ym. 2021

<sup>a</sup> Perustuu validointikokeen tekijöiden näkemykseen luotettavuuden rajoista.

## Reaaliaikaiset paikannusjärjestelmät

Reaaliaikaiset paikannusjärjestelmät (Real-Time Location System, RTLS) pystyvät määrittämään eläimen sijainnin rakennuksessa, mutta eivät pysty tunnistamaan eläimen senhetkistä käyttäytymistöimintaa. Teknologia perustuu eläimeen kiinnitettävään lähettimeen ja navettaan kiinnitettyihin sensoreihin, jotka rekisteröivät lähettimen lähettämän radiosignaalin. Eläimen sijainti rakennuksessa määritetään x ja y koordinaatteihin perustuen.

Shane ym. (2016) selvittivät, kuinka hyvin RTLS-teknologia pystyy ennustamaan vasikan juomiskäyttäytymistä juomakupilla. Lähetin oli kiinnitetty eläimen korvaan. Kun vasikka sijaitti lähellä juomakupia (etäisyys enintään 30 cm), eläimen mediaanitodennäköisyys juomiselle oli eri kokeissa 42.09% ja 54.49%. RTLS-teknologia ei siten kovin hyvin pystynyt ennustamaan eläimen juomiseen käyttämää aikaa.

Wolfger ym. (2017) esittävät, että kiihtyvyyssanturiin ja reaaliaikaiseen paikannukseen perustuvalla Smartbow-teknologialla on mahdollisuuksia havaita erityistä huomiota tarvitsevat eläimet eläimen aktiivisuuden ja liikkeiden sekä eläimen olennaisilla alueilla (esimerkiksi juomakupin ja ruokintakaukalon läheisyys) viettämän ajan perusteella.

Meunier ym. (2018) keräsivät RTLS-teknologialla tietoa lehmien sijainnista pihatossa ja analysoivat edelleen dataa hyödyntäen kuva-analyysia (image analysis). Tämä analyysi onnistui tunnistamaan eläinten peruskäyttäytymistöimintoja, mutta ei juomista.

## Mittaukset laitumella

Stygar ym. (2021) esittävät, että RFID-teknologialla olisi potentiaalia juomavesipisteellä käyvien eläinten etämonitoroinnissa. RFID-perusteisen monitoroinnin avulla voitaisiin tunnistaa eläimet, jotka eivät käy vesipisteellä ja vesipisteen käyttötietoa voitaisiin hyödyntää laidunolosuhteissa vesipisteiden määrän ja sijainnin suunnittelussa (Williams ym. 2019b). RFID-monitorointi kertoo sen, käykö eläin sensorin ulottuvilla, mihin aikaan päivästä ja kuinka monta kertaa, mutta ei kerro varmasti onko eläin juonut vettä.

Laiduntavan lauman vedenkulutusta voitaisiin monitoroida etäluettavan vedenvirtausmittarin avulla (Williams ym. 2020). Vedenkulutustiedon avulla voidaan varmistaa, että vettä on eläinten saatavilla ja että eläimet kuluttavat sitä. Myös vuodot ja häiriöt veden tulossa voitaisiin havaita. Vedenkulutuksen etäseuranta voisi vähentää valvontaan kuluva työmäärää.

Williams ym. (2020) yhdistivät RFID-teknologian, vedenvirtausmittarin ja eläimeen kiinnitetyn kiihtyvyyssanturin laiduntavien hiehojen juomiskäyttäytymisen ja vedenkulutuksen automaattisessa mittaamisessa. Vesiallas sijaitsi suljetussa aitauksessa, jonka porteilla olivat RFID-tunnistuspaneelit. Vedenvirtausmittari mittasi vesialtaaseen virtaavaa vettä. Kiihtyvyyssanturit kiinnitettiin eläinten kaulapantoihin. Kokeessa saatiin mitattua juomapaikalla vierailujen lukumäärä ja kesto sekä kiihtyvyyssanturidatalle muodostetun algoritmin avulla pitkät, yli 10 sekunnin pituiset juomistapahtumat.

Eläimen yksilökohtaisen vedenkulutuksen mittaaminen laitumella on haastavaa. Käyttökelpoista teknologiaa, joka ei vaadi eläinten erottamista toisistaan juomisen ajaksi tai vaakavesikuppien asentamista laitumelle, ei ole toistaiseksi olemassa (Williams ym. 2020).

## Muut laitteistot ja teknologiat

Lowe ym. (2017) rakensivat mittausaseman mittaamaan automaattisesti vasikoiden yksilökohtaista juomiskäyttäytymistä ja vedenkulutusta. Vesiallas sijaitsi sivuportein suojatussa mittausasemassa. Eläimen tunnistus perustui RFID-tunnistukseen ja juomistapahtuman aloitus ja lopetus määrittivät valokennon (photoelectric sensor) lähettämän valonsäteen rikkoutumiseen ja eheytymiseen perusteella. Vedenkulutus mitattiin vedenvirtausmittarilla. Laitteisto osoittautui validoinnissa luotettavaksi juomakupilla vierailun frekvenssin ja keston määrittämisessä, mutta vedenkulutusta laitteisto ei pystynyt mittaamaan luotettavasti.

Ertuğrul ym. (2020) rakensivat prototyyppin mittausasemasta, joka mittaa automaattisesti lehmän vedenkulutusta ja juomiskäyttäytymistä pihatossa. Lämpäjuomakuppi sijaitsi sivuportein suojatussa mittausasemassa. RFID-lukija tunnisti juomaan tulevan eläimen ja vedenvirtausmittari mittasi eläimen vedenkulutuksen. Tsai ym. (2020) kehittivät konenäkösovelluksen mittaamaan lehmien juomiskäyttäytymistä. Konenäkö onnistui tunnistamaan luotettavasti lehmän pään vesialtaalla.

## Juomiskäyttäytyminen ja vedenkulutus nautojen terveyden, käyttäytymisen ja tuotannon mittaamisessa

### Terveys

Saaliseläiminä nautojen sairauskäyttäytyminen on hienovaraista. Nauta pyrkii käyttäytymään terveen eläimen tapaan mahdollisimman pitkään, jotta ei kohdistaisi itseensä petojen huomiota. Tämä voi vaikeuttaa hoitajaa näkemästä sairautta erityisesti sairauden alkuvaiheessa (Millman 2007). Eläimen kliininen infektio on usein havaittavissa selkeiden fysiologisten oireiden ja käyttäytymismuutosten (sairauskäyttäytymisen) avulla (Hart 1988). Subkliininen infektio on piileväoireinen tai oireeton, ja se voi edetä kliiniseksi infektioksi. Se on vaikeasti havaittavissa, koska selkeitä näkyviä tunnusmerkkejä ei ole.

Sairastunut eläin keskittää resurssejaan selviämiseen. Ensimmäisenä muutoksia tapahtuu käyttäytymistoiminoissa, joilla on eläimen selviytymisen kannalta pidemmän aikavälin hyötyjä, mutta jotka eivät ole eläimen päivittäiselle selviytymiselle välttämättömiä (ns. ylellisyyskäyttäytyminen, katso esim. Weary ym. 2009, Caplen ja Held 2021). Näitä toimintoja ovat esimerkiksi sosiaalinen käyttäytyminen, leikki, kehon hoito ja tutkiskelu. Selviytymisen kannalta välttämättömissä toiminnoissa (esim. syöminen, juominen, lepo) sairastuminen aiheuttaa muutoksia vasta pidemmälle edenneenä. Lisäksi sairaus voi johtaa siihen, että eläin alkaa käyttää resursseja tehokkaammin ja harkitummin. Esimerkkinä tästä voi olla, että hypokalsemiasta kärsivä lehmä käy harvemmin juomassa kuin terve kontrolliryhmän eläin (Jawor ym. 2012).

Eläimen fysiologisen tilan (esim. kiima) sekä sairastumisen vaikutuksia nautojen vedenkulutukseen ja juomiskäyttäytymiseen on selvitetty useissa tutkimuksissa (Taulukko 2). Tutkimukset osoittavat, että juomiskäyttäytymisen kestossa tai juontitiheydessä tapahtuu usein muutoksia nautan sairastuessa ja käyttäytymismuutoksia voi ilmetä myös subkliinisisissä infektioissa. Lypsylehmillä juomiskäyttäytyminen on muuttunut esimerkiksi ontumisen, subkliinisen hypokalsemian, subkliinisen ketoosin sekä kliinisen ja subkliinisen utaretulehduksen seurauksena (Taulukko 2). Muuttunut juonti on yhdistetty myös vasikkaripuliin ja lihanaudoilla hengitystietulehdukseen. Jossain tutkimuksissa eläimen fysiologinen tila tai sairastuminen on vaikuttanut myös vedenkulutukseen (Taulukko 2). Tästä on esimerkkinä lehmillä kiima, kohtutulehdus, subkliininen ketoosi ja vaikea poikiminen.

Automaattisella mittausteknologialla havaittu muutos eläimen juomiskäyttäytymisessä tai vedenkulutuksessa voisi toimia merkinä eläimen sairastumisesta tai hyvinvoinnin vaarantumisesta ja toimia sairastumisen varhaisena hälytysjärjestelmänä tai sellaisen osana. Useimmat käyttäytymisen muutokset eivät ole spesifejä tietyille sairauksille tai eläimen hyvinvointia uhkaavalle tilalle (Chapa ym. 2020), mikä tuo haasteen PLF-teknologioiden käytölle sairauden varhaisessa havaitsemisessa. Vaikka diagnostista tarkkuutta ei saavutettaisi, PLF-teknologia voi osoittaa eläimet, jotka kaipaavat huomiota ja lisäselvittelyjä. Useilla lypsykarjatiloiilla kerätään jo automaattisesti tietoa lehmän terveydentilasta ja tuotannosta. Vedenkulutus- ja juomiskäyttäytymistiedon yhdistäminen eläimeltä mahdollisesti saatavaan muuhun tietoon voisi parantaa varhaisen varoitussignaali-järjestelmän toimintaa. Tutkimukset (Taulukko 2) tarjoavat taustatietoa kehitettäessä varhaisia varoitussignaali-järjestelmiä nautojen sairastumisen varhaiseen tunnistamiseen.

Ihanteellista olisi, että eläimen sairastuminen pystyttäisiin havaitsemaan mahdollisimman varhain. Esimerkiksi GrowSafe-teknologia onnistui havaitsemaan hengitystietulehdukseen sairastuvat lihanaudat feedlot-kasvattamossa aiemmin kuin perinteinen eläinten havainnointiin (karjasilmään) perustuva menetelmä (Basarab ym. 1996, Sowell ym. 1999 mukaan). Hengitystietulehduksen vuoksi hoidetut eläimet käyttivät juomiseen 23.7% vähemmän aikaa kuin terveet eläimet. GrowSafe-laitteisto havaitsi muutoksen eläinten käyttäytymisessä 81.5% tarkkuudella jo 3–4 päivää aiemmin kuin perinteinen ihmisen tekemään havainnointiin perustuva menetelmä tunnisti sairaan eläimen.

### Käyttäytyminen

Automaattista juomiskäyttäytymistä mittavaa teknologiaa on hyödynnetty lehmäryhmien sosiaalisen rakenteen ja toiminnan tutkimuksessa. Insentec-vaakavesikuppien keräämästä datasta pystyttiin tunnistamaan vesikupilla tapahtuneet syrjäytykset (Foris ym. 2019, McDonald ym. 2019), joiden perusteella edelleen voitiin määrittää eläinryhmän arvojärjestys (Foris ym. 2019, Foris ym. 2023). Dominoivien ja alisteisten yksilöiden juomiskäyttäytymisen erityispiirteet voisivat toimia ryhmää koskevan (esimerkiksi resurssit, ryhmittely) päätöksenteon tukena.

Taulukko 2. Sairastumisen tai fysiologisen tilan vaikutus nautojen juomiskäyttäytymiseen tai vedenkulutukseen sekä tutkimuksessa käytetty mittausteknologia

Eläintyyppi	Käytetty kaupallinen tai muu mittausteknologia	Tutkimusaihe, sairaus tai fysiologinen tila	Tutkimuksen tulos tai johtopäätös (sairauden kohdalla tulos verrattuna terveisiin eläimiin)	Viite
Lehmä	Insentec	Subkliininen hypokalsemia	Juomakupilla käyntien lukumäärä oli pienempi, ei vaikutusta vedenkulutukseen	Jawor ym. 2012
Lehmä	RumiWatch	Subkliininen ketoosi	Juomiseen käytetty aika oli pienempi <sup>a</sup>	Antanaitis ym. 2020a
Lehmä	RumiWatch	Subkliininen ketoosi	Toiminto (syö, märehitii, juo, muu aktiivisuus) vaihtui tiheämmin <sup>a</sup>	Antanaitis ym. 2020b
Lehmä	Insentec	Subkliininen ketoosi	Ennen poikimista vedenkulutus oli suuntaa-antavasti (viikko -2) ja merkitsevästi (viikko -1) pienempi. Ei vaikutusta juomakupilla vietettyyn aikaan tai juomiskertojen lukumäärään.	Goldhawk ym. 2009
Lehmä	RumiWatch	Ontuminen	Juomiseen käytetty aika oli pienempi <sup>a</sup>	Antanaitis ym. 2021
Lehmä	Parsinavetta, käyttäytymisseurannat videokameralaitteiston avulla	Utaretulehdus	Juomiseen käytetty aika oli pienempi, kun tulehduksen oireet olivat voimakkaimmillaan	Siivonen ym. 2011
Lehmä	RumiWatch	Subkliininen utaretulehdus	Juomiseen käytetty aika oli pienempi <sup>a</sup>	Antanaitis ym. 2022
Lehmä	Käyttäytymisseurannat videokameralaitteiston avulla	Subkliininen utaretulehdus	Ei vaikutusta juomiskäyttäytymiseen	Caplen ja Held 2021
Lehmä	Insentec	Kohtutulehdus	Poikimisen jälkeen vedenkulutus oli pienempi ja väheni merkitsevästi tai suuntaa antavasti jo 1–2 vk ennen poikimista. Ei vaikutusta juomiseen käytettyyn aikaan.	Huzzey ym. 2007
Lehmä	Käyttäytymisseurannat videokameralaitteiston avulla	Kohtutulehdus	Ei vaikutusta juomiskäyttäytymiseen kolmen viikon pituisella mittausjaksolla ennen poikimista	Patbandha ym. 2012
Lehmä	Insentec	Poikimavaikeus	Vedenkulutus oli pienempi 24 h jaksolla ennen poikimista ja suurempi 24 h jaksolla poikimisen jälkeen. Ei vaikutusta juomiseen käytettyyn aikaan.	Proudfoot ym. 2009
Lehmä	Vaaka, jonka päälle vesikaukalo oli asetettu	Kiima	Vedenkulutus väheni 66.7%:lla lehmistä, vähennys oli keskimäärin 15.3%. Pienin kulutus oli kiimaa edeltävänä päivänä.	Reith ym. 2014
Lehmä	Parsinavetta, vedenvirtausmittarit	Kiima, poikiminen, utaretulehdus, sorkkahoito, kuume ja muut (ketoosi, hypokalsemia, antibioottihoidot)	Vedenkulutus oli merkitsevästi tai suuntaa antavasti pienempi. Ainoastaan utaretulehdus ei vaikuttanut vedenkulutukseen.	Lukas ym. 2008
Lehmä	RumiWatch	Juomiskäyttäytyminen siirtymävaiheessa	Juomiseen käytetty aika oli suurempi poikimisen aikaan kuin alkulaktaatioissa <sup>a</sup>	Brandstetter ym. 2019
Liharotuinen vasikka	GrowSafe	Kastraatiomenetelmien ja kastroimattomuuden vertailu	Ei vaikutusta vedenkulutukseen	Warnock ym. 2012

Härkä	GrowSafe	Sairastuminen (mikä tahansa sairaus) <sup>a</sup>	Juomiskertojen lukumäärä oli pienempi. Juoma-altaalla vietetyssä ajassa ei eroa.	Sowell ym. 1999
Härkä	GrowSafe	Hengitystietulehdus	Juomiseen käytetty aika oli pienempi	Basarab ym. 1996
Vasikka	Eläimen tunnistus RFID avulla, valokenno-teknologia määrittä juomistapahtuman keston	Ripuli	Ei vaikutusta juomiskertojen lukumäärään, mutta juomassa vietetty aika lisääntyi ennen ripulin kliinisten merkkien ilmaantumista vasikoilla, jotka saivat maitojuomaa niukasti (5 l vrk <sup>-1</sup> )	Lowe ym. 2021
Vasikka	Käyttäytymisseurannat videokameralaitteiston avulla	Rotavirusripuli	Ei vaikutusta juomiskertojen lukumäärään, mutta juomiskerran kesto kasvoi ennen ripulin kliinisten merkkien ilmaantumista	Lowe ym. 2019
Vasikat ja sonnit	Käyttäytymisseurannat videokameralaitteiston avulla	Bakteeritoksiinilla aiheutettu subkliininen akuutti haaste tai sukkulamadoilla aiheutettu subkliininen krooninen haaste	Ei vaikutusta juomiskäyttämisen kestoon tai lukumäärään	Szyska ym. 2012

<sup>a</sup> RumiWatch-teknologia ei validointikokeissa ole osoittautunut luotettavaksi juomiskäyttämisen mittaamisessa. Kokeen tuloksia voidaan silti pitää vähintäänkin suuntaa-antavina. <sup>b</sup> Sairastuvat eläimet määriteltiin eläimiksi, jotka kokeen aikana jouduttiin siirtämään sairaskarsinaan saaman hoitoa mihin tahansa terveydelliseen ongelmaan. Hoidon jälkeen eläimet palautettiin koekarsinoin. Loput eläimet luokiteltiin terveiksi.



## Tuotanto

Useissa tutkimuksissa on selvitetty naudoilla (lehmät: esim. Meyer ym. 2004, Appuhamy ym. 2016 ja lihanaudat: esim. Meyer ym. 2006, Arias ja Mader 2011) vedenkulutukseen ja -tarpeeseen vaikuttavia tekijöitä. Lypsylehmillä esimerkiksi rehun kuiva-aineen syönti, juomaveden laatu, tuotosvaihe, rotu sekä ympäristön lämpötila vaikuttavat veden juontiin ja veden tarpeeseen. Kume ym. (2010) havaitsivat vahvan korrelaation juomaveden kulutuksen ja rehun kuiva-aineen syönnin välillä lypsävillä lehmillä ( $r=0,83$ ), mutta ei umpilehmillä ( $r=0,29$ ). Myös typen (N), kaliumin (K) ja happoliukoisen kuidun (ADF) saannin ja juomaveden kulutuksen välillä oli merkitsevät korrelaatiot lypsylehmillä. Brew ym. (2011) ja Wilson ym. (2021) käyttivät Growsafe ja Vytelle Sense vaakajuomakuppeja selvittäessään rehun syönnin ja juomisen välistä yhteyttä lihanaudoilla. Brew ym. (2011) havaitsivat eläinten vedenkulutuksen ja rehun syönnin välillä merkitsevän korrelaation. Wilson ym. (2021) puolestaan havaitsivat merkitsevät korrelaatiot eläinten rehun kuiva-aineen syönnin ja vedenkulutuksen välillä ( $r=0,23$ ) sekä rehun kuiva-aineen syönnin ja juomiskertojen välillä ( $r=0,031$ ). Juomaveden kulutuksen ja rehun syönnin välinen yhteys ja sen mahdollisuudet esimerkiksi nautojen kuiva-aineen syönnin ennustamisessa vaativat lisäselvittelyjä.

Ympäristötekijöistä erityisesti lämpötila vaikuttaa voimakkaasti nautojen vedenkulutukseen ja juomiskäyttäytymiseen. Kuumuuden vaikutuksesta lehmien vedenkulutus, juomiseen käytetty aika ja juomiskerrat lisääntyvät (katsausartikkeli: Herbut ym. 2021). McDonald ym. (2020) esittivät, että juomiskäyttäytymistä voitaisiin hyödyntää lehmien lämpöstressin havaitsemisessa ja viilennystoimien ajoittamisessa.

## Johtopäätökset

Nautojen vedenkulutuksen ja juomiskäyttäytymisen automaattiseen mittaamiseen on olemassa vaakavesikuppeihin perustuvia teknologioita, jotka ovat luotettavia ja validoituja, mutta liian kalliita tai epäkäytännöllisiä maatilakäyttöön. Eläinten sijainnin määrittämiseen perustuvat teknologiat ja RFID-teknologia antavat karkeaa tietoa eläimen juomakupilla oleskelusta, mutta eivät kerro itse juomisesta tai vedenkulutuksesta. Nautojen vedenkulutusta ja juomiskäyttäytymistä ei käytetä laajamittaisesti nautojen terveyden ja tuotannon seurannassa. Osaltaan se johtuu siitä, että kohtuuhintaisia maatilakäyttöön soveltuvia yksilökohtaisen vedenkulutuksen mittaavia juomavesilaitteistoja ei ole saatavilla.

Nautojen vedenkulutuksen ja juomiskäyttäytymisen mittaamisella olisi useita mahdollisia käytännön sovellutuksia, joita voitaisiin hyödyntää nautojen terveyden, tuotannon ja hyvinvoinnin valvonnassa sekä tuotannon hallinnassa ja suunnittelussa. Muutokset eläinten vedenkulutuksessa tai juomiskäyttäytymisessä voivat kertoa häiriöistä juomavesilaitteiston toiminnassa tai veden laadussa. Erityisesti laidunoloissa etäluettavilla vedenvirtausmittareilla voisi olla mahdollisuuksia vesilaitteiston toiminnan etämonitoroinnissa sekä vedenkulutuksen ryhmätason seurannassa. Etäseuranta voisi pienentää eläinten valvontaan kuluva työmäärää.

Muutos eläimen vedenkulutuksessa ja juomiskäyttäytymisessä voi kertoa eläimen terveydestä. Naudan sairastuessa juomiskäyttäytyminen usein muuttuu ja näitä muutoksia on havaittu myös subkliinissä infektioissa. Tämä voi merkitä sitä, että nauta alkaa käyttää juomaveden liittyviä resursseja tehokkaammin ja harkitummin kärsiessään terveydellisestä haasteesta. Joissakin tutkimuksissa eläimen fysiologinen tila tai sairastuminen on vaikuttanut myös vedenkulutukseen. Automattisella juomiskäyttäytymisen monitoroinnilla on siten mahdollisuuksia eläinten sairastumisen varhaisena hälytysjärjestelmänä tai sellaisen osana yhdistettynä muuhun eläimestä saatavaan tietoon. Yksilökohtaisen tiedon avulla erityistä huomiota tarvitsevien eläinten tunnistaminen voi helpottaa.

Nautojen vedenkulutukseen ja -tarpeeseen vaikuttavia tekijöitä on tutkittu ja mallinnettu laajasti. Juomaveden kulutuksen ja rehun syönnin välisen yhteyden mahdollisuudet rehun kuiva-aineen syönnin ennustamisessa vaativat lisäselvittelyjä.

## Kiitokset

Tämä kirjallisuuskatsaus on toteutettu Älyjuoma-automaatti 2022 -hankkeessa. Kiitämme hankkeen päärahoittajaa Euroopan maaseudun kehittämisen maatalousrahastoa.

## Kirjallisuusviitteet

- Allwardt, K., Ahlberg, C., Broocks, A., Bruno, K., Taylor, A., Place, S., Richards, C., Krehbiel, C., Calvo-Lorenzo, M., DeSilva, U., VanO-verbeke, D., Mateescu, R., Goad, C. & Rolf, M.M. 2017. Technical note: Validation of an automated system for monitoring and restricting water intake in group-housed beef steers. *Journal of Animal Science* 95: 4213–4219. <https://doi.org/10.2527/jas.2017.1593>
- Antanaitis, R., Juozaitienė, V., Televičius, M., Malašauskienė, D., Urbutis, M. & Baumgartner, W. 2020a. Influence of subclinical ketosis in dairy cows on ingestive-related behaviours registered with a real-time system. *Animals* 10: 2288. <https://doi.org/10.3390/ani10122288>
- Antanaitis, R., Juozaitienė, V., Televičius, M., Malašauskienė, D., Urbutis, M. & Baumgartner, W. 2020b. Relation of subclinical ketosis of dairy cows with locomotion behaviour and ambient temperature. *Animals* 10: 2311. <https://doi.org/10.3390/ani10122311>
- Antanaitis, R., Juozaitienė, V., Urbonavičius, G., Malašauskienė, D., Televičius, M., Urbutis, M. & Baumgartner, W. 2021. Impact of lameness on attributes of feeding registered with noseband sensor in fresh dairy cows. *Agriculture* 11: 851. <https://doi.org/10.3390/agriculture11090851>
- Antanaitis, R., Juozaitienė, V., Malašauskienė, D., Televičius, M., Urbutis, M., Rutkauskas, A. & Baumgartner, W. 2022. Identification of changes in rumination behavior registered with an online sensor system in cows with subclinical mastitis. *Veterinary Sciences* 9: 454. <https://doi.org/10.3390/vetsci9090454>
- Appuhamy, J.A.D.R.N., Judy, J.V., Kebreab, E. & Kononoff, P.J. 2016. Prediction of drinking water intake by dairy cows. *Journal of Dairy Science* 99: 7191–7205. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-10950>
- Aquilani, C., Confessore, A., Bozzi, R., Sirtori, F. & Pugliese, C. 2022. Precision Livestock Farming technologies in pasture-based livestock systems. *Animal* 16: 100429. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100429>
- Arias, R.A. & Mader, T.L. 2011. Environmental factors affecting daily water intake on cattle finished in feedlots. *Journal of Animal Science* 89: 245–251.
- Basarab, J.A., Milligan, D., Hand, R. & Huisma, C. 1996. Automatic monitoring of watering behavior in feedlot steers: Potential use in early detection of respiratory disease and in predicting growth performance. *Proceedings of the Canadian Society of Animal Science 46th Annual Conference, July 7–11, 1996, Lethbridge, Alberta*. s. 28.
- Brandstetter, V., Neubauer, V., Humer, E., Kröger, I. & Zebeli, Q. 2019. Chewing and drinking activity during transition period and lactation in dairy cows fed partial mixed rations. *Animals* 9: 1088. <https://doi.org/10.3390/ani9121088>
- Brew, M.N., Myer, R.O., Hersom, M.J., Carter, J.N., Elzo, M.A., Hansen, G.R. & Riley, D.G. 2011. Water intake and factors affecting water intake of growing beef cattle. *Livestock Science* 140: 297–300. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.030>
- Caplen, G. & Held, S.D.E. 2021. Changes in social and feeding behaviors, activity, and salivary serum amyloid A in cows with subclinical mastitis. *Journal of Dairy Science* 104: 10991–11008. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-20047>
- Chapa, J.M., Maschat, K., Iwersen, M., Baumgartner, J. & Drillich, M. 2020. Accelerometer systems as tools for health and welfare assessment in cattle and pigs – A review. *Behavioural Processes* 181: 104262. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2020.104262>
- Chapinal, N., Veira, D.M., Weary, D.M. & von Keyserlingk, M.A.G. 2007. Technical note: validation of a system for monitoring individual feeding and drinking behavior and intake in group-housed cattle. *Journal of Dairy Science* 90: 5732–5736. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0331>
- Ertuğrul, M., Zengin, K. & Tarhanc, S. 2020. Development of a new automatic water intake measurement and recording system to monitor individual water drinking behaviors of cattle. *Anadolu Journal of Agricultural Sciences* 35: 245–250. <https://doi.org/10.7161/omuanajas.673790>
- Foris, B., Thompson, A.J., von Keyserlingk, M.A.G., Melzer, N. & Weary, D.M. 2019. Automatic detection of feeding-and drinking-related agonistic behavior and dominance in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 102: 9176–9186. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16697>
- Foris, B., Vandresen, B., Sheng, K., Krahn, J., Weary, D.M. & von Keyserlingk, M.A.G. 2023. Automated, longitudinal measures of drinking behavior provide insights into the social hierarchy in dairy cows. *JDS communications*. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2023-0487>
- Goldhawk, C., Chapinal, N., Veira, D.M., Weary, D.M. & von Keyserlingk, M.A.G. 2009. Prepartum feeding behavior is an early indicator of subclinical ketosis. *Journal of Dairy Science* 92: 4971–4977. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2242>
- Hart, B.L. 1988. Biological basis of the behavior of sick animals. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 12: 123–137. [https://doi.org/10.1016/S0149-7634\(88\)80004-6](https://doi.org/10.1016/S0149-7634(88)80004-6)
- Herbut, P., Hoffmann, G., Angrecka, S., Godyń, D., Vieira, F.M.C., Adamczyk, K. & Kupczyński, R. 2021. The effects of heat stress on the behaviour of dairy cows—a review. *Annals of Animal Science* 21: 385–402. <https://doi.org/10.2478/aoas-2020-0116>
- Huzzey, J.M., Veira, D.M., Weary, D.M. & von Keyserlingk, M.A.G. 2007. Prepartum behavior and dry matter intake identify dairy cows at risk for metritis. *Journal of Dairy Science* 90: 3220–3233. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-807>
- Jawor, P.E., Huzzey, J.M., LeBlanc, S.J. & von Keyserlingk, M.A.G. 2012. Associations of subclinical hypocalcemia at calving with milk yield, and feeding, drinking, and standing behaviors around parturition in Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 95: 1240–1248. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4586>
- Kume, S., Nonaka, K., Oshita, T. & Kozakai, T. 2010. Evaluation of drinking water intake, feed water intake and total water intake in dry and lactating cows fed silages. *Livestock Science* 128: 46–51. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.10.012>
- Lowe, G.L., Schütz, K.E., Sutherland, M.A., Waas, J.R., Wilson, M.T. & Stewart, M. 2017. Validation of an automated system for monitoring water intake and drinking behaviour in dairy calves. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 77: 133–136.

- Lowe, G.L., Sutherland, M.A., Waas, J.R., Schaefer, A.L., Cox, N.R. & Stewart, M. 2019. Physiological and behavioral responses as indicators for early disease detection in dairy calves. *Journal of Dairy Science* 102: 5389–5402. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15701>
- Lowe, G.L., Sutherland, M.A., Waas, J.R., Cox, N.R., Schaefer, A.L. & Stewart, M. 2021. Effect of milk allowance on the suitability of automated behavioural and physiological measures as early disease indicators in calves. *Applied Animal Behaviour Science* 234: 105202. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2020.105202>
- Lukas, J.M., Reneau, J.K. & Linn J.G. 2008. Water intake and dry matter intake changes as a feeding management tool and indicator of health and estrus status in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 91: 3385–3394. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0926>
- Meyer, U., Everinghoff, M., Gadeken, D. & Flachowsky, G. 2004. Investigations on the water intake of lactating dairy cows. *Livestock Production Science* 90: 117–121. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.03.005>
- Meyer, U., Stahl, W. & Flachowsky, G. 2006. Investigations on the water intake of growing bulls. *Livestock Science* 103: 186–191. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.02.009>
- McDonald, P.V., von Keyserlingk, M.A.G. & Weary, D.M. 2019. Using an electronic drinker to monitor competition in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 102: 3495–3500. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15585>
- McDonald, P.V., von Keyserlingk, M.A.G., & Weary, D.M. 2020. Hot weather increases competition between dairy cows at the drinker. *Journal of Dairy Science* 103: 3447–3458. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17456>
- Meunier, B., Pradel, P., Sloth, K.H., Cirié, C., Delval, E., Mialon, M.M. & Veissier, I. 2018. Image analysis to refine measurements of dairy cow behaviour from a real-time location system. *Biosystems engineering* 173: 32–44. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.08.019>
- Millman, S. 2007. Sickness behaviour and its relevance to animal welfare assessment at the group level. *Animal Welfare* 16: 123–125. <https://doi.org/10.1017/S0962728600031146>
- Oliveira, B.R., Jr., Ribas, M.N., Machado, F.S., Lima J.A.M., Cavalcanti, L.F.L., Chizzotti, M.L. & Coelho, S.G. 2018. Validation of a system for monitoring individual feeding and drinking behaviour and intake in young cattle. *Animal* 12: 634–639. <https://doi.org/10.1017/S1751731117002002>
- Patbandha, T.K., Mohanty, T.K., Layek, S.S., Kumaresan, A. & Behera, K. 2012. Application of pre-partum feeding and social behaviour in predicting risk of developing metritis in crossbred cows. *Applied Animal Behaviour Science* 139: 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2012.03.014>
- Pereira, G.M., Sharpe, K.T. & Heins, B.J. 2021. Evaluation of the RumiWatch system as a benchmark to monitor feeding and locomotion behaviors of grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science* 104: 3736–3750. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18952>
- Poulopoulou, I., Lambertz, C. & Gauly, M. 2019. Are automated sensors a reliable tool to estimate behavioural activities in grazing beef cattle? *Applied animal behaviour science* 216: 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2019.04.009>
- Proudfoot, K.L., Huzzey, J.M., & von Keyserlingk, M.A.G. 2009. The effect of dystocia on the dry matter intake and behavior of Holstein cows. *Journal of dairy science* 92: 4937–4944. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2135>
- Reith, S., Pries, M., Verhülsdonk, C., Brandt, H. & Hoy, S. 2014. Influence of estrus on dry matter intake, water intake and BW of dairy cows. *Animal* 8: 748–753. <https://doi.org/10.1017/S1751731114000494>
- Roland, L., Schweinzer, V., Kanz, P., Sattler, G., Kickinger, F., Lidauer, L. & Iwersen, M. 2018. Evaluation of a triaxial accelerometer for monitoring selected behaviors in dairy calves. *Journal of dairy science* 101: 10421–10427. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14720>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2015.11.005>
- Ruuska, S., Hämäläinen, W., Kajava, S., Mughal, M., Matilainen, P. & Mononen, J. 2018. Evaluation of the confusion matrix method in the validation of an automated system for measuring feeding behaviour of cattle. *Behavioural Processes* 148: 56–62. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2018.01.004>
- Shane, D.D., White, B.J., Larson, R.L., Amrine, D.E. & Kramer, J.L. 2016. Probabilities of cattle participating in eating and drinking behavior when located at feeding and watering locations by a real time location system. *Computers and Electronics in Agriculture* 127: 460–466. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.07.005>
- Siivonen, J., Taponen, S., Hovinen, M., Pastell, M., Lensink, B.J., Pyörälä, S., & Hänninen, L. 2011. Impact of acute clinical mastitis on cow behaviour. *Applied Animal Behaviour Science* 132: 101–106. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.04.005>
- Sowell, B.F., Branine, M.E., Bowman, J.G.P., Hubbert, M.E., Sherwood, H.W. & Quimby, W.F. 1999. Feeding and watering behavior of healthy and morbid steers in a commercial feedlot. *Journal of Animal Science* 77: 1105–1112. <https://doi.org/10.2527/1999.7751105x>
- Steenefeld, W., Hogeveen, H. & Oude Lansink, A.G.J.M. 2015. Economic consequences of investing in sensor systems on dairy farms. *Computers and Electronics in Agriculture* 119: 33–39. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.10.006>
- Steinmetz, M., von Soosten, D., Hummel, J., Meyer, U. & Dänicke, S. 2020. Validation of the RumiWatch Converter V0. 7.4. 5 classification accuracy for the automatic monitoring of behavioural characteristics in dairy cows. *Archives of Animal Nutrition* 74: 164–172. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2020.1721260>
- Stygar, A.H., Gómez, Y., Berteselli, G.V., Dalla Costa, E., Canali, E., Niemi, J.K., Llonch, P. & Pastell, M. 2021. A systematic review on commercially available and validated sensor technologies for welfare assessment of dairy cattle. *Frontiers in Veterinary Science* 8: 634338. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.634338>
- Szyska, O., Tolkamp, B.J., Edwards, S.A. & Kyriazakis, I. 2012. The effects of acute versus chronic health challenges on the behavior of beef cattle. *Journal of Animal Science* 90: 4308–4318. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4765>

- Tsai, Y.-C., Hsu, J.-T., Ding, S.-T., Rustia, D.J.A. & Lin, T.-T. 2020. Assessment of dairy cow heat stress by monitoring drinking behaviour using an embedded imaging system. *Biosystems Engineering* 199: 97–108. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.03.013>
- Warnock, T.M., Thrift, T.A., Irsik, M., Hersom, M.J., Yelich, J. V., Maddock, T.D. Lamb, G.C. & Arthington, J.D. 2012. Effect of castration technique on beef calf performance, feed efficiency, and inflammatory response. *Journal of Animal Science* 90: 2345–2352. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4511>
- 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. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1297>
- Welfare Quality 2018. Welfare Quality Network. <https://www.welfarequalitynetwork.net/en-us/home/>
- Wilson, M.E., Shaffer, K., Plum, S., Garossino, K., Lansink, N., Hubbart, J., Hatton, J. & Kim, J. 2021. Predicting dry matter intake in beef cattle with water intake and other variables. *Journal of Animal Science* 99 (Suppl. 3): 478–478.
- Williams, L.R., Bishop-Hurley, G.J., Anderson, A.E. & Swain, D.L. 2019a. Application of accelerometers to record drinking behaviour of beef cattle. *Animal Production Science* 59: 122–132. <https://doi.org/10.1071/AN17052>
- Williams, L.R., Fox, D.R., Bishop-Hurley, G.J. & Swain, D.L. 2019b. Use of radio frequency identification (RFID) technology to record grazing beef cattle water point use. *Computers and Electronics in Agriculture* 156: 193–202. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.11.025>
- Williams, L.R., Moore, S.T., Bishop-Hurley, G.J. & Swain, D.L. 2020. A sensor-based solution to monitor grazing cattle drinking behaviour and water intake. *Computers and Electronics in Agriculture* 168: 105141. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105141>
- Wolfger, B., Jones, B.W. Orsel, K. & Bewley, J.M. 2017. Technical note: Evaluation of an ear-attached real-time location monitoring system. *Journal of Dairy Science* 100: 2219–2224. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11527>
- Zehner, N., Umstatter, C., Niederhauser, J.J. & Schick, M. 2017. System specification and validation of a noseband pressure sensor for measurement of ruminating and eating behavior in stable-fed cows. *Computers and Electronics in Agriculture* 136: 31–41. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.02.021>