

Toimiva langaton tiedonsiirtojärjestelmä lypsylehmäpihattoon.

Mikko Järvinen¹⁾, Sutinen Veijo²⁾, Martiskainen Paula¹⁾, Rehu Jari³⁾, Korkalainen Marko³⁾, Käänsälä Klaus³⁾ ja Mononen Jaakko¹⁾

¹⁾ Itä-Suomen yliopisto, Biotieteiden laitos, PL 1627, 70211 Kuopio, etunimi.sukunimi@uef.fi

²⁾ Oulun yliopisto, Mittalaitelaboratorio, Teknologiaapuisto 127, 87400 Kajaani, etunim.sukun@oulu.fi

³⁾ VTT, PL 1100, 90571 Oulu, etunimi.sukunimi@vtt.fi

Tiivistelmä

Täsmäeläintuotannon (*precision livestock farming*) keskeinen toiminta-ajatus on tuottaa tietoa eläinten tuotannosta, terveydestä ja hyvinvoinnista. Tietoa saadaan nykyaikaisten eläintuotantotilojen automatiikasta, kuten erilaisista ympäristöä ja eläimiä valvovista sensoreista sekä mm. eläinten kaulapantoihin tai jalkoihin sijoitetuista mittauslaitteista. Tarkoituksenamme on esitellä yhden eläinten liikkeitä ja käyttäytymistä seuraavan järjestelmän kehitystyötä ja toimintaa.

Kehittämämme HÄN-järjestelmän tavoitteena oli mitata lypsylehmien paikkaa, kiihtyvyyssiikettä ja pintalämpötilaa eläinten liikkeessa vapaasti pihatossa. Mittausjärjestelmä koostuu mittaus- ja paikannusmoduuleista (MPM), SoC-vastaanottimesta (System-on-Chip), ohjaus- ja tiedonkeruu-PC:sta (OTPC), kahdeksasta pseudosatelliitista sekä pseudosatelliittien synkronointiradioverkosta.

MPM ja akkukotelo sijoitettiin lehmien normaaleihin kaulapantoihin järjestelmää varten suunnitelluissa koteloinneissa. MPM koostuu kahdesta piirikortista (AVR ja ITRAX) ja ulkoisesta GPS-antennista. AVR-kortti toimii mittaus- ja paikannusmoduulin ohjaimena ja viestien välittäjänä ylemmille järjestelmille. AVR-kortilla on lisäksi 3D-kiihtyvyyssanturi, lämpötila-anturin liitäntä, muunnin ulkoisille antureille sekä muita oheiskomponentteja. ITRAX-kortti toimii GPS-signaalien vastaanottimena.

Mittaus- ja paikannusmoduulin tehonsyöttö toteutettiin 3,7V Litium-paristopakettilla, joka koostui neljästä 2,4 Ah kennosta. MPM:n keskimääräinen tehonkulutus mittaustilassa oli noin 3 mA ja mittaus- ja paikannustilassa noin 60 mA. Mikäli eläin liikkuu paljon, akku kestää huomattavasti lyhyemmän aikaa kuin vähän liikkuvalla eläimellä, sillä GPS-moduulin ja aktiivisen antennin virrankulutus vaikuttaa merkittävästi akun kestoan. Virran säästämiseksi paikannusmoduuli kytkeytyy pois päältä eläimen ollessa paikoillaan.

HÄN-järjestelmään kuuluvat 45 kaulapantaa tekevät kukin paikka- ja kiihtyvyyssmittauksen 100 ms välein ja 10 mittauksen jälkeen lähettävät mittauksista kootun datapaketin SoC-vastaanottimelle. SoC-vastaanotin hoitaa verkonhallinnan, tiedonkeruun lähettimiltä, lähettimien ohjaukset, tiedon paketoinnin ja paketoitun tiedon lähetyksen OTPC:lle. OTPC toimii tiedon varastojana ja käyttöliittymänä verkossa oleville mittausmoduuleille. Käyttöliittymän avulla säädetään mittausmoduulien parametreja sekä näytetään reaaliaikaisesti mittaustulokset. Ohjelmisto tallentaa mittaustiedot MySQL-tietokantaan sekunnin välein tai asetetun mittausvälin mukaisesti.

Hyvin Älykäs Navetta –hankkeessa kehitettiin radioverkko, joka toimi erinomaisesti tiedon siirrossa pihattonavetassa. Kiihtyvyyssanturit ja lämpötila-anturit toimivat luotettavasti. Kiihtyvyyssanturin ja älykkäiden laskentamenetelmien avulla pystytään tunnistamaan erilaisia lehmien käyttäytymismuotoja. Sen sijaan laboratorio-olosuhteissa toimiva pseudoliittijärjestelmään perustuva GPS-paikantaminen ei toiminut pihatto-olosuhteissa.

Asiasanat: GPS, pseudoliitti, sisätilapaikantaminen, eläinten hyvinvointi, käyttäytyminen

Johdanto

Hyvinvointi on eläinyksilön kokemus sen henkisestä ja fyysisestä olotilasta, jotka ovat seurausta eläimen yrityksistä sopeutua ympäristöönsä (Norges forskningsråd 2005). Eläinten hyvinvointia ei voida mitata suoraan (Duncan & Fraser 1997), vaan sitä voidaan arvioida ainoastaan epäsuorasti useiden mittareiden avulla (esim. Broom 1991, Keeling & Jensen 2002). Eläinten käyttäytyminen on yksi käytetyimmistä eläinten hyvinvoinnin mittareista. Eläimen käyttäytymisessä tapahtuvat muutokset voivat kertoa eläimen hyvinvoinnin muutoksista (Mench & Mason 1997). Eläintuotannon eettisyys ja pitkälti myös kannattavuus riippuu terveistä ja hyvinvoivista tuotantoeläimistä.

Tällä hetkellä yksikkökoot kasvavat nopeasti kaikessa eläintuotannossa. Lypsykarjojen keskimääräinen karjakoko vuonna 2007 oli 23 lehmää, ja runsaat 20 % maidosta tuli yli 50 lehmän tiloilta (MMM 2008). Ennusteen mukaan keskikarjakoko vuonna 2016 on yli 35 lehmää, ja tuolloin yli 50 lehmän tilat tuottavat yli 50 % maidosta. Nykyään käytännössä kaikki uudisrakennuskohteet ovat pihattoa.

Karjakokojen kasvaessa yhden eläinhuoltajan vastuulla olevien eläinten määrä lisääntyy, jolloin on välttämättä turvaututtava myös tuotannon automatisointiin. Nykyään onkin jo käytössä mm. automaattisia lypsy- ja ruokintajärjestelmiä sekä niihin liittyviä älyporttijärjestelmiä, automaattisia lannanpoistolaitteita ja eläinten aktiivisuutta mittaavia mittareita (esim. Rantanen 2005). Tekniikka muuttaa navettatyön luonnetta: fyysinen eläinhuolto muuttuu laitteiden valvomiseksi ja eläinten tarkkailemiseksi. Suurissa karjoissa eläinhuoltajalla on vähemmän aikaa keskittyä yksittäisen eläimen hyvinvoinnin suoraan seuraamiseen, vaikka monesti eläimen hyvinvoinnin ja terveyden tila tulevat ilmi juuri sen käyttäytymisen ja siinä tapahtuvien muutosten kautta.

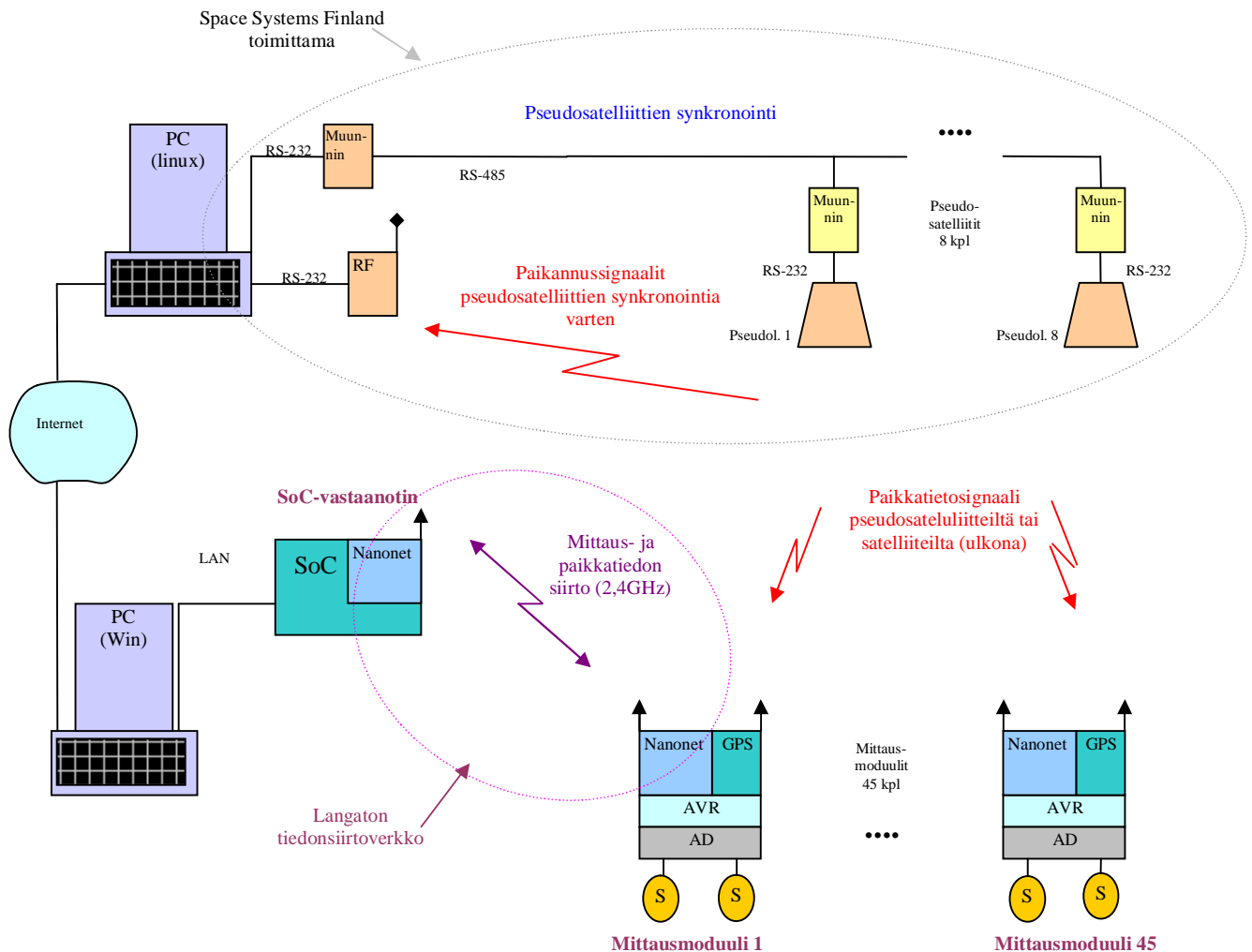
GPS-paikannusta ulkoilmassa on märehtijöillä käytetty sekä villieläimille (Franke ym. 2004) että kotieläimille (Schlecht ym. 2004), mutta GPS-pohjaista sisätilapaikannusta kotieläimillä ei ole raportoitu. Hyvin Älykäs Navetta (HÄN) –hanke toteutettiin rinnakkais Hankkeena Kuopion yliopistossa ja VTT:ssä ajalla 1.1.2006–31.12.2007. Hankkeen tarkoituksena oli kehittää ja toteuttaa pseudoliitti-GPS-paikannukseen sekä kiihtyvyyden ja lämpötila-antureihin perustuva lehmien automaattinen tarkkailujärjestelmä, joka hyödyntäisi myöhemmässä vaiheessa myös muista navettatietojärjestelmistä saatavia tietoja. Lehmistä saatava jatkuva paikkatieto toisi uutta tietoa pihattonavetassa olevien lehmien käyttäytymisestä ja hyvinvoinnista, laumahierarkiasta sekä lisääntymisestä kun paikkatietoa voitaisiin analysoida yhdessä pihattonavetassa muiden automaattien keräämän tiedon kanssa. Eläinten liikkeitä mittaavien kiihtyvyydentureiden tuottamaa tietoa voitaisiin käyttää myös lehmien eri käyttäytymismuotojen tunnistamisessa. Eläimen ruumiinlämpötila puolestaan on tärkeä fysiologinen indikaattori. Tässä esitämme HÄN-järjestelmän kehityksen kulkua, ja siinä esiintyneitä haasteita.

Aineisto ja menetelmät

Paikannus- ja mittausjärjestelmä mittasi lehmien paikkaa, liikkeitä ja lämpötilaa pihattonavetassa. Mittausjärjestelmä koostui lehmien (n=45) kaulapantaan sijoitettavista paikannus- ja mittausmoduuleista, SoC-vastaanottimesta (System-on-Chip), ohjaus- ja tiedonkeruuPC:sta, kahdeksasta pseudosatelliitista sekä pseudosatelliittien synkronointiradioverkosta (Kuva 1). Space System Finland Oy toimitti pseudosatelliitit ja niihin liittyvät synkronointilaitteistot ja algoritmit.

Mittausmoduuli vastaanotti GPS-moduulilla sisätiloissa pseudosatelliittien paikannussignaalin ja ulkotiloissa satelliittien paikannussignaalin. Mittausmoduuli luki paikkatiedon GPS-moduulin avulla ja mittausdatan AD-muuntimella. Paikka- ja mittaus-tieto lähetettiin radioverkon välityksellä SoC-vastaanottimelle, joka paketoiti kaikkien

mittausmoduulien tiedot ja edelleenlähetti ne UDP-viestinä ohjaus- ja tiedonkeruuPC:lle. Ohjaus- ja tiedonkeruuPC tallensi mittausdatan aikaleimattuna lähetykohtaisesti tietokantaan.



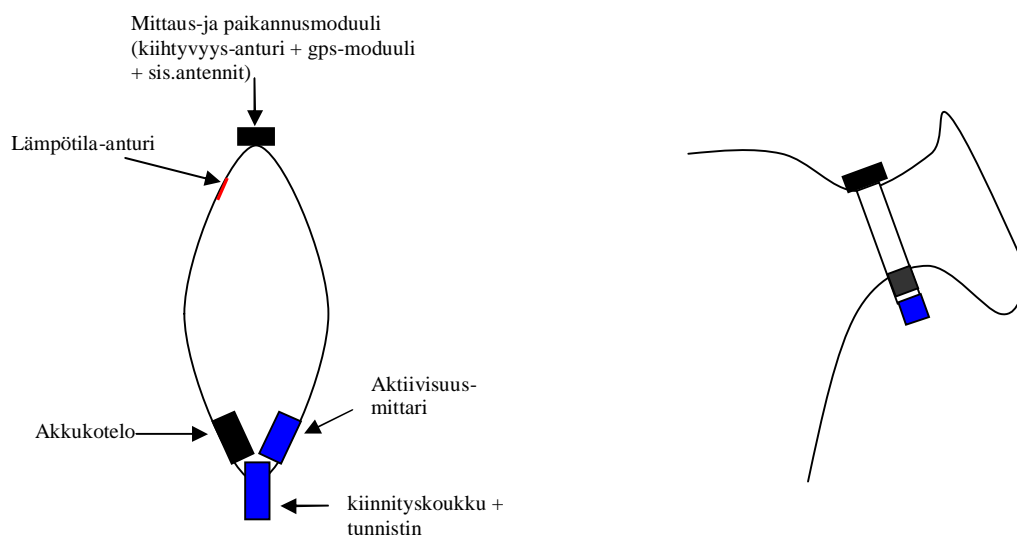
Kuva 1. Mittaus- ja paikannusjärjestelmän kokoonpano ja toimintakaavio.

Linux PC toimi ohjaustietokoneena pseudosatelliittien synkronoinnissa lähettämällä synkronointiviestejä tarvittaessa pseudosatelliiteille. Synkronointiviestit laskettiin vastaanotettujen paikannussignaalien perusteella ja lähety tapahtui RS-485 kaapeloinnin kautta.

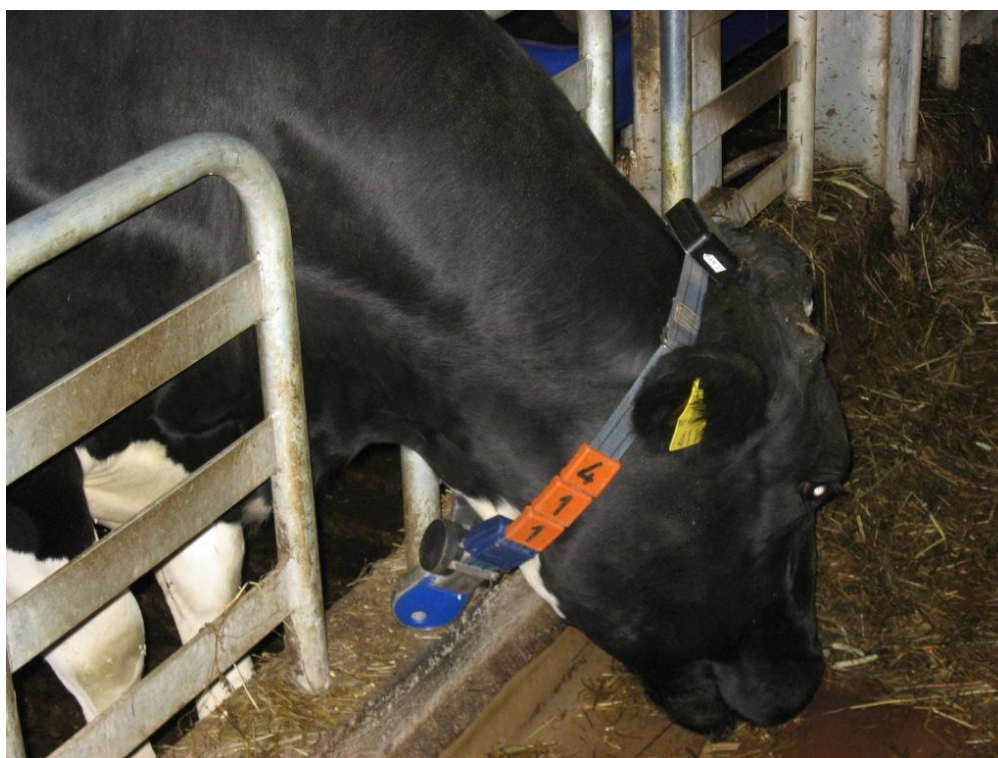
Mittaus- ja paikannusmoduuli, joka sisälsi radioliikenteenkomponentin sekä paikannuskomponentin, sijoitettiin eläimen kaulapantaan ruokintatunnisteen (DeLaval) ja aktiivisuusmittarin (DeLaval) lisäksi. Mittaus- ja paikannusmoduulin lisäksi kaulapantaan sijoitettiin myös lähettimen vaatima akkukotelo ja lämpötila-anturi (Kuva 2).

AVR-kortti toimi mittaus- ja paikannusmoduulin ohjaimena ja viestien välittäjänä ylemmille järjestelmille. AVR-kortin mikro-ohjaimena oli ATmega1281 (Atmel, San Jose, USA) ja viestin välityksessä käytettiin Nanopan 5361 radiomoduaalia (Nanotron Technologies GmbH, Berlin Saksa). Radioantennina oli piirilevyymallinen keraaminen antenni (Advanced Ceramic X corporation, Hsinchu Hsien, Taiwan). AVR-kortilla oli lisäksi kolme akselinen kiihtyvyyssanturi (ADXL330, Analog Devices Inc., Massachusetts, USA), 12-bittinen AD-muunnin ulkoisille antureille, lämpötila-anturin liitäntä sekä muita oheiskomponentteja (mm. jännitteen regulointi, suodatukset). ITrax-kortti toimi GPS-signaalien vastaanottimena ja sen

pääkomponenttina toimii ITrax 03-02 GPS –moduuli (Fastrax Oy, Vantaa, Suomi). Kortilla on lisäksi liityntä ulkoisella GPS-antennille ja muita oheiskomponentteja (mm. jännitteen regulointi ja suodatuskomponentteja). Mittaus- ja paikannusmoduulin tehonsyöttö toteutettiin 3,7V Litium-paristopakettilla, joka koostui neljästä 2,4Ah kennosta. Näin kokonaiskapasiteetiksi saatiin 9,6Ah. Akkukotelo sijoitettiin eläimen pannaan alaosaan painojakauman vuoksi. Piirikortit ja aktiivinen GPS-antenni sijoitettiin muovikoteloon, joka suunniteltiin ja toteutettiin tätä sovellusta varten (Kuva 3.).



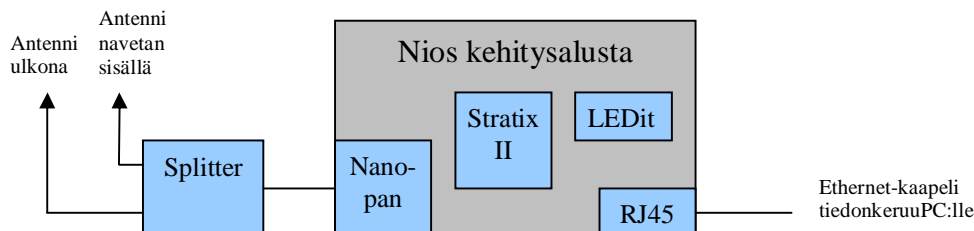
Kuva 2. Moduulien sijoittuminen kaulapantaan.



Kuva 3. Eläimen kaulapanta ja siihen liitetyt komponentit.

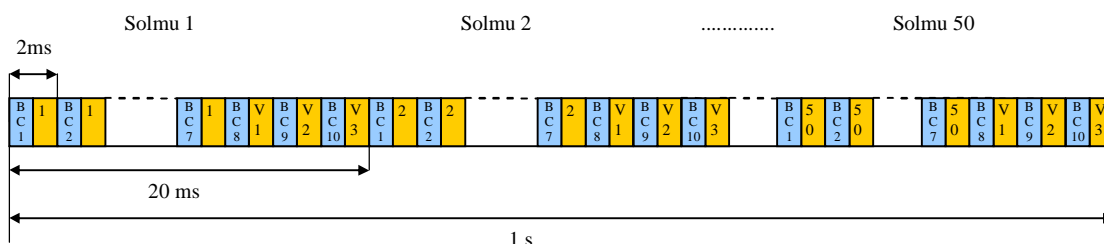
SoC-vastaanotin hoiti verkonhallinnan, tiedonkeruun lähettimiltä, lähettimien ohjaukset, tiedon paketoinnin sekä paketoitun tiedon lähetyksen tiedonkeruuPC:lle (Kuva 1.). SoC-

vastaanotin pohjautui NIOS-kehitysalustaan, jonka ytimenä on Alteran Stratix II järjestelmäpiiri (Altera Corporation, San Jose, USA) (Kuva 4.). SoC-vastaanotin koteloitiin vesitiiviiseen IP65-luokan koteloon, jossa on läpiviennit antennikaapelille, sähkönsyötölle ja verkkokaapelille. Kehitysalustaan oli lisätty liityntälevyn avulla Nanopan radiomoduuli (Nanotron Technologies GmbH), jonka antenni haaroitettiin splitterin avulla. Näin saatiin samaan radioon kytkettyä sekä sisäantenni että ulkoantenni. Kehitysalustalla oli lisäksi valmis Ethernet-rajapinta tiedonsiirtoa varten sekä LEDit osoittamassa alustan toimintaa.



Kuva 4. SoC-vastaanottimen lohkokaavio.

HÄN-järjestelmän 45 mittaussohmua hallittiin aikajakoon perustuvalla verkkorakenteella. Jokaiselle solmulle varattiin aikaikkuna sekunnin välein, jolloin se voi lähettää maksimissaan viisi datapakettia (Kuva 5.). Vastaanotin lähetti jokaiselle lähettimelle 10 BC-viestiä, joista kolme viimeistä oli varattu välitinasemille. Välitinasemat välittivät viestin mikäli mittaus- ja paikannusmoduuli ei saanut sitä toimitettua. Viestin vastaanoton mittaus- ja paikannusmoduuli ja välitinsolmu havaitsevat muuttuneesta BC-viestistä.



Kuva 5. Verkkorakenne (TDMA).

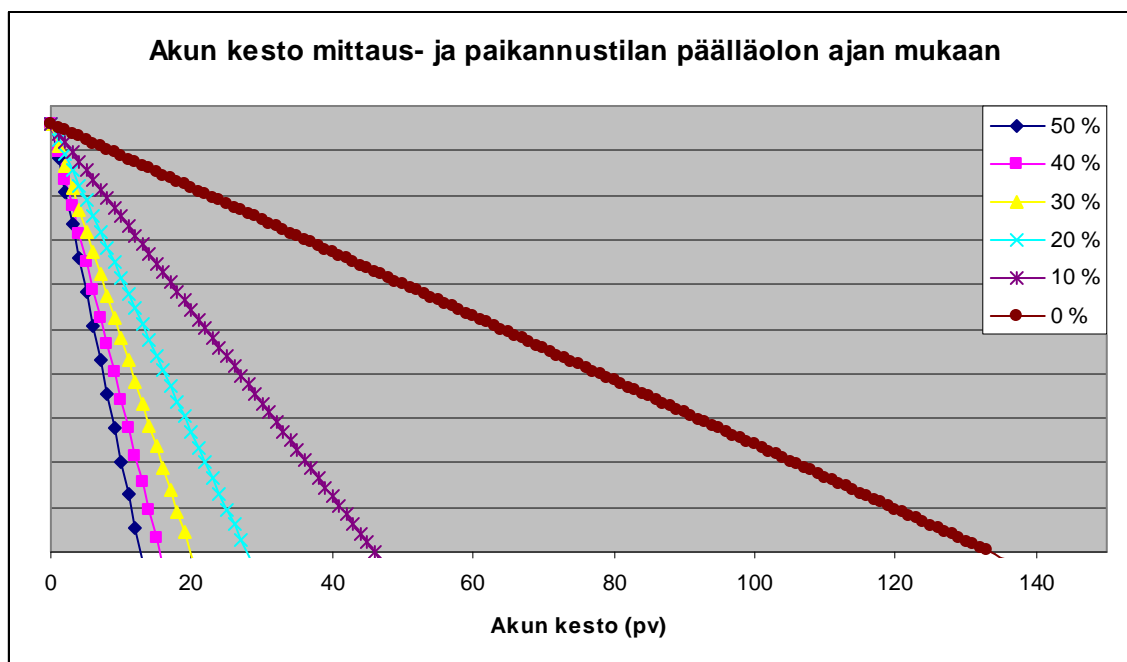
Ohjaus- ja tiedonkeruuPC toimi tiedon varastoijana ja käyttöliittymänä verkossa oleville mittaussohmuille. Käyttöliittymän avulla säädettiin mittausmoduulien parametreja sekä näytettiin reaaliaikaisesti mittaus tulokset. Ohjelmisto tallensi mittaus tiedot aikaleimattuna MySQL-tietokantaan sekunnin välein tai asetetun mittausvälin mukaisesti.

Tulokset ja tulosten tarkastelu

Mittaus- ja paikannusmoduulin keskimääräinen virrankulutus mittaustilassa oli noin 3 mA ja mittaus- ja paikannustilassa noin 60mA. Mikäli eläin liikkuu paljon, akku kestää huomattavasti lyhyemmän aikaa kuin vähän liikkuvalla eläimellä, sillä GPS-moduulin ja aktiivisen antennin virrankulutus vaikuttaa merkittävästi akun kesto. Virran säästämiseksi paikannusmoduuli kytkeytyi pois päältä eläimen ollessa paikoillaan. Kuvassa 7 on esitetty akunkesto ajan funktiona.

GPS-moduulin ongelmana ei yksistään ollut virrankulutus vaan moduulin pitkä käynnistysaika, sillä käynnistyttyä yhteydessä se tarvitsee tiedot pseudosatelliiteilta sekä 2-10 m liikkeen, jotta se voi laskea paikkakoordinaatit. Näiden toimintojen suorittamiseen vie paikannusjärjestelmältä noin 20-30 s, minkä takia moduulin toiminta-aika ei juuri pitene,

vaikka mittausväliä pidennettäisiin esim. 30 s. Vasta 30 s jälkeen mittausvälin pidentäminen alkaa jatkaa moduulin toiminta-aikaa.



Kuva 7. Akun kesto. Käyrät osoittavat mittaus- ja paikannustilan aktiivisuutta suhteessa lepoaikaan.

Pseudoliitti-GPS-paikantaminen valittiin vuonna 2006 sen hetkisistä tekniikoista mielenkiintoisimpana, sillä sen pitäisi toimia teoriassa sekä sisällä että ulkona. Space Systems Finland Oy ei kuitenkaan saanut GPS-paikannusta toimimaan luotettavasti pihatto-olosuhteissa. Paikannustarkkuus oli satunnaisesti jopa niinkin hyvä kuin 13 senttiä, mutta keskimääräisesti yli 100 cm. Paikannustarkkuutta merkittävämpi ongelma oli kuitenkin paikantamisen epäluotettavuus. Paikannuslaitteisto menetti toistuvasti yhteyden kaulapantoihin, jolloin paikannuksen pitkä käynnistymisprosessi alkoi alusta, mikä teki paikannuksesta hyödyttömän. Syitä pihatossa huonosti toimivaan GPS-paikantamiseen olivat ennen kaikkea rakenteiden muodostamat esteet signaalinkululle (vrt. Kee ym. 2004, Lee ym. 2004), mutta myös pseudosatelliittien ja vastaanottimien vähäiset korkeuserot sekä huonosti toimiva paikannusalgoritmi. Suomessa on testattu myös WLAN paikannusta, mutta siinäkin ongelmana oli paikannuksen epäluotettavuus (Huhtala ym 2007).

Mittaus- ja paikannusmoduuli välitti 1 Hz taajuudella eläimen paikan pihatossa, lehmän pintalämpötilan sekä kiihtyvyydestiedon kolmelta akselilta. Alun perin kiihtyvyyssanturi oli tarkoitettu vain on/off kytkimeksi paikannukselle virransäästötarkoituksessa. HÄN-hankkeen aikana kiihtyvyyssanturin tieto osoittautui kuitenkin toimivaksi eläimen eri käyttäytymismuotojen tulkitsemisessä (Martiskainen ym. 2009).

Mittaustulokset lähetettiin pannoista langattomasti SoC-vastaanottimeen. Radioliikenteen läpäisyprosentti vuorokausi akkujen vaihdosta 16 mittaus- ja paikannusmoduulilla oli 91 % (1262666 lähetettyä pakettia vs. maksimi 1382400). Tulos oli erinomainen ottaen huomioon, että lähetetyt paketit eivät mene perille eläimen ollessa esimerkiksi lypsyrobotissa.

Johtopäätökset

Hyvin Älykäs Navetta -hankkeessa kehitettiin radioverkko, joka toimi erinomaisesti tiedon siirrossa pihatonavetassa. Kiihtyvyyssanturit ja lämpötila-anturit toimivat luotettavasti. Sen

sijaan laboratorio-olosuhteissa toimiva pseudoliittijärjestelmään perustuva GPS-paikantaminen ei toiminut pihatto-olosuhteissa.

Kirjallisuus

- Broom, DM.** 1991. Animal welfare: concepts and measurement. *Journal of Animal Science* 69:4167-4175.
- Duncan, IJH. & Fraser, D.** 1997. Understanding animal welfare. Teoksessa: Appleby MC & Hughes BO (toim.), *Animal welfare*. CAB International, Cambridge. p. 19-31.
- Franke, A., Caelli, T. & Hudson, R.** 2004. Analysis of movements and behavior of caribou (*Rangifer tarandus*) using hidden Markov models. *Ecological Modelling*. 173:259-270.
- Huhtala, A., Suhonen, K., Mäkelä, P., Hakojärvi, M. & Ahokas, J.** 2007. Evaluation of Instrumentation for Cow Positioning and Tracking Indoors. *Biosystems Engineering*. 96: 399-405.
- Kee, C., Kim, J., So, H., Jun, H., Parkinson, B. & Hansen, W.W.** 2004. Effect of the error in line of sight unit vector on the accuracy of GPS and pseudolite navigation system. *Computers & Mathematics with Applications*. 48:779-787
- Keeling, L. & Jensen, P.** 2002. Behavioural disturbances, stress and welfare. Teoksessa: Jensen P (toim.), *The ethology of domestic animals: an introductory text*. CAB International, Oxon. p. 79-98
- Lee, H., Wang, J., Rizo, C. & Grejner-Brzezinska, D.** 2004. Analyzing the impact of integrating pseudolite observables into a GPS/INS system. *Journal of Surveying Engineering*, 130:95–103.
- Martiskainen, P., Järvinen, M., Skön, J-P., Tiirikainen, J., Kolehmainen, M. & Mononen, J.** 2009. Cow behaviour pattern recognition using a three-dimensional accelerometer and support vector machines. *Applied Animal Behaviour Science*. 119:32-38.
- Mench, JA. & Mason, GJ.** 1997. Behaviour. Teoksessa: Appleby MC & Hughes BO (toim.), *Animal welfare*. CAB International, Oxon. s. 127-141.
- MMM.** 2008. Maidontuotannon tulevaisuuden vaihtoehdot –työryhmä: Maitomaa Suomi. Loppuraportti. Maa- ja metsätalousministeriö, työryhmämuistio MMM 2008:6.
- Norges forskningsråd,** 2005. Forskningsbehov innen dyrevelferd i Norge. Rapport fra styringsgrubben. Norges forskningsråd, Oslo. 356 s.
- Rantanen, K.** 2005. Automaattinavetassa lehmä käyttää robottia. *Tiede* 5/2005: 12-13.
- Schlecht, E., Hülsebusch, C., Mahler, F. & Becker, K.** 2004. The use of differentially corrected global positioning system to monitor activities of cattle at pasture. *Applied Animal Behaviour Science*. Volume 85:185-202.