



ESKE

ETÄHALLITTAVAN SÄÄTÖSALAOJAKAIVON KEHITTÄMINEN JA PILOTOINTI

PROJEKTIN LOPPURAPORTTI

Toni Liedes, Sara Pelttari, Jyrki Savela, Janne Torvela ja Minna Törmälä
Älykkäät koneet ja järjestelmät -tutkimusyksikkö

Marraskuu 2022

Hankkeen nimi: Etähallittavan säätösalaajakaivon kehittäminen ja pilotointi

Hankkeen toteuttaja: Oulun yliopisto, Älykkäät koneet ja järjestelmät tutkimusyksikkö

Yhteyshenkilö ja yhteystiedot: Toni Liedes, p. 029 448 2051, toni.liedes@oulu.fi

Hankkeen toteutusaika: 1.5.2021–15.11.2022

Hankkeen tulokset saatavilla: www.oulu.fi/alykkaat

SISÄLTÖ

1	TIIVISTELMÄ.....	4
2	HANKKEEN LÄHTÖKOHTA	5
3	PROJEKTIN TOTEUTUS.....	5
4	YHTEISTYÖ JA SIDOSRYHMÄTYÖSKENTELEY.....	6
5	VIESTINTÄ JA TIEDOTTAMINEN	7
6	HANKKEEN TUOTOKSET	9
6.1	Padotusventtiili.....	9
6.2	Laboratoriokoejärjestely.....	14
6.3	Pilottijärjestelmä	14
6.3.1	Mekaaninen rakenne.....	14
6.3.2	Anturit.....	15
6.3.3	Ohjausyksikkö.....	16
6.3.4	Tietojärjestelmä ja käyttöliittymä	18
6.4	Pilotointikohteet.....	19
7	HANKKEEN TULOKSET	20
7.1	Pilotoinnin tulokset.....	21
7.2	Tulosten vaikuttavuus.....	21
8	HANKKEEN INNOVATIIVISUUS, MONISTETTAVUUS, UUTUUSARVO JA HYÖTY ...	22
9	TOIMINNAN JATKUVUUS	23
10	PROJEKTIN RAHOITUS.....	24
11	HANKKEEN TOTEUTUS NUMEROINA.....	24
12	TOTEUTUSVAIHEEN ARVIOINTI	25

1 TIIVISTELMÄ

Toimiva vesienhallinta on yksi toimivan maa- ja metsätalouden perusedellytyksistä. Salaojitusta on käytetty jo pitkään viljelymaiden kuivatuksessa, mutta se tarjoaa mahdollisuuden myös altakasteluun. Salaojajärjestelmien keskeisenä elementtinä toimii kaivo, johon kuivatusvedet kootaan ennen avo-ojaan johtamista. Säätosalaojituksesta on kysymys silloin, kun kaivon yhteydessä käytetään säädettävää patorakennetta, jolla voidaan vaikuttaa kaivosta poistuvan virtauksen suuruuteen. Padotuksen säätäminen toteutetaan tyypillisesti ihmisvoimin.

Tässä hankkeessa kehitettiin etähallittavan säätosalaojakaivon konsepti. Tavoitteena oli kehittää ratkaisu, jolla kaivon padotuskorkeutta voitaisiin ohjata internetin välityksellä esimerkiksi matkapuhelimella. Ohjaukomentojen antajana voi toimia joko ihminen tai tietokoneohjelma. Kehitystyö suunnattiin kaivon mekaniikan, ohjauselektronikan, tiedonsiirron sekä käyttöliittymän kehittämiseen. Automaattiohjauksen algoritmien suunnittelu ei kuulunut hankkeeseen.

Suunnittelutyön tuloksena päädyttiin levymäiseen luistiin perustuvaan venttiilirakenteeseen, jolla vaikutetaan kaivosta avo-ojaan kulkevan virtauksen suuruuteen. Ratkaisu suunniteltiin olemassa oleviin kaivoihin jälkiasennettavaksi. Venttiilin käyttölaitteeksi valittiin aurinkoenergiaa käyttävä sähkömoottori. Energiaa varastoitiin pieneen akustoon, jolloin ohjaaminen oli mahdollista myös pilvisellä säällä. Käyttäjän päätelaitteen ja kaivon välinen kommunikointi toteutettiin 2G/3G-verkon ja kaupallisen Thinger-pilvipalvelun avulla.

Hankkeen lopputuloksena syntyi käytännössä toimivaksi osoitettu etähallittavan säätosalaojakaivon konsepti ja sen suunnitteludokumentit. Konsepti testattiin laboratoriossa ja pilotoitiin kolmessa eri koekohteessa. Pilotointien tulokset osoittivat venttiiliratkaisun toimivan luotettavasti ja vuodottomasti, mutta tietoliikenteen toimintavarmuuteen jäi parannettavaa.

2 HANKKEEN LÄHTÖKOHTA

Toimiva vesienhallinta on yksi Suomen maa- ja metsätalouden perusedellytyksistä. Tämän hankkeen lähtökohtana oli suunnitella, toteuttaa ja pilotoida etähallittava sää-
tösalaojakaivo, joka toimii keskeisenä elementtinä sää-
tösalaojajärjestelmissä. Sää-
tösalaojitusta käytetään pääasiassa kuivatuksen hallintaan, mutta se mahdollistaa myös
altakastelun.

Hankkeessa suunniteltu ratkaisu edustaa niin sanottua mahdollistavaa teknologiaa, jonka avulla vesienhallintaa on mahdollista digitalisoida ja nostaa käytettävyydeltään kokonaan uudelle tasolle. Etäkäytettävien kaivojen avulla on myös mahdollista hallita nykyistä selvästi laajempia valuma-alueita ja muodostaa erilaisia käyttöstrategioita esimerkiksi viljelykasvien sadon kasvattamiseksi, kasvihuonekasujen määrän minimoiseksi, viljelytoimien ajoittamiseksi ja kasvitautien esiintymisriskin minimoimiseksi.

Viime vuosien aikana esineiden internet (Internet of Things, IoT) on kehittynyt voimakkaasti ja levinnyt nopeasti myös maa- ja metsätalouteen. Tyypillisiä IoT-tekniikan sovel-
luskohteita ovat erilaiset maantieteellisesti hajautetut mittaukset, joita ei tarvitse toistaa lyhyin väliajoin. IoT-sovelluksissa mittauspistekohtaiset tietomäärät ovat usein hyvin pieniä, jolloin elektroniikan energiankulutus on maltillista, ja yksinkertainen paristokäyttö mahdollistaa jopa useiden vuosien toiminta-ajan. IoT-tekniikka tarjoaa mielenkiintoisia mahdollisuuksia myös tämän hankkeen tarpeisiin.

Tämän hankkeen välittömänä kohderyhmänä ovat salaojakaivoja valmistavat yritykset, mutta välisesti hankkeen tulokset koskettavat koko laajaa maa- ja metsätalouden vesienhallintaan liittyvää toimijajoukkoa. Hankkeen tavoitteena oli tuottaa käytännön tasolla toimivaksi osoitettava etähallittavan sää-
tösalaojakaivon konsepti, joka on sovellettavissa joko sellaisenaan tai muokattuna kaupallisen tuotteen lähtökohdaksi.

3 PROJEKTIN TOTEUTUS

Hankkeen suunniteltuja ja toteutuneita toimenpiteitä olivat:

- kaivojen teknisen kokonaisratkaisun suunnittelu
- suunnitteluun liittyvien teknisten dokumenttien (mm. elektroniikan piirikaavioiden ja mekaniikkakuvien) laadinta
- laboratoriotestien suorittaminen järjestelmän eri osille ja/tai osakokonaisuuksille
- laboratorioelaitteen toteutus ja sillä tehtävät testit
- pilotointi todellisessa käyttöympäristössä
- pilotoinnista saatujen käyttökokemusten kerääminen, analysointi ja raportointi.

Käytännössä mitään suunniteltuja toimenpiteitä ei jouduttu jättämään tekemättä. Myöskään suunnittelemattomia toimenpiteitä ei jouduttu tekemään. Hankkeen suunnitteluvaiheessa ajatuksena oli, että pilotointi olisi toteutettu kahden kesäkauden aikana, mutta koska hanke pääsi alkamaan vasta toukokuussa -21, tehtiin täysimittainen pilotointi vain kesäkaudella -22. Kesän -21 aikana pilotoitiin kuitenkin langatonta tiedonsiirtoa ja energianhallintaa prototyypilaitteella, jonka pohjalta kesän -22 pilotoinnissa käytetty ohjauselektronikka kehitettiin. Alkujaan pilotoinnit suunniteltiin tehtäväksi Tyrnävän alueella, mutta hankkeen aikana päädyttiin toteuttamaan pilotoinnit Kannuksessa, Nivalassa ja Ruukissa.

Hanke toteutui kokonaisuutena jotakuinkin suunnitellussa aikataulussa, vaikkakin pilotoinnin laajuutta jouduttiin rajaamaan alkuperäisestä suunnitelmasta. Toimenpiteissä käytetyt menetelmät olivat tyypillisiä teknisen alan suunnittelu- ja testausmenetelmiä, joissa hyödynnetään monipuolisesti elektronisia ja tietoteknisiä työvälineitä. Sellaisia ovat esimerkiksi mekaniikan ja elektroniikan suunnittelussa käytettävät ohjelmistot sekä erilaiset testauksessa hyödynnettävät välineet. Suunnitelmien lopputulokset on esitetty yleiskäyttöisissä tiedostomuodoissa, jotta niiden hyödyntäminen ei edellytä erikoisohjelmien käyttöä.

Hanke toteutettiin globaalien koronapandemian aikana, mutta sen vaikutukset hankkeeseen jäivät yllättävän pieniksi. Joidenkin komponenttien toimitusajat olivat poikkeuksellisen pitkiä, mutta missään vaiheessa hanke ei viivästynyt merkittävästi toimitusten hitauden vuoksi.

4 YHTEISTYÖ JA SIDOSRYHMÄTYÖSKENTELY

Hankkeessa oli vain yksi toteuttajaorganisaatio eli Oulun yliopisto, mutta hankkeen aikana tehtiin runsaasti yhteistyötä eri toimijoiden kanssa. Tärkeimpiä yhteistyöorganisaatiota olivat Luonnonvarakeskus, Keski-Pohjanmaan koulutusyhtymä ja ProAgria. Yhteistyö oli erittäin arvokasta ESKE-hankkeelle erityisesti pilotoinnin ja tiedottamisen osalta. Ilman yhteistyötä hankkeen työmäärä olisi kasvanut jopa useilla henkilötyökuukausilla ja hankkeen aikataulu oli muodostunut hyvin tiukaksi. Konkreettiset yhteistyötoimet on esitetty seuraavassa taulukossa.

Taulukko 1. Yhteistyö eri hankkeiden välillä.

Yhteistyö-hanke	Millaista yhteistyötä tehtiin	Saatu lisäarvo	Haasteet
PeltoSäätö	PeltoSäätö-hanke tarjosi pilotointikohteita ja käytännön apua ESKE-hankkeen tuottamien kaivojen testaamiseen.	Pilotointien käytännön toteuttaminen toteutui tehokkaasti ja matkakuluja syntyi suunniteltua vähemmän.	Projektien aikatauluja täytyi yhteensovittaa useasti.
Vesihäisi	ESKE-hankkeen tulokset tarjoavat Vesihäisi-hankkeelle konkreettisen välineen, jolla voidaan testata salaajakaivon automaattista ohjaamista.	ESKE-hankkeen tuloksille löytyy konkreettinen kohde jo hankkeen toteuttamisen aikana. Vesihäisi-hankkeen tavoitteita olisi ollut erittäin vaikea täyttää ilman ESKE:n tukea.	ESKE päättyi hieman turhan aikaisin Vesihäisi-hankkeen näkökulmasta. Mahdollisten myöhemmin ilmenevien tek-

			nisten ongelmien ratkaiseminen jää Vesihäsi-hankkeen tehtäväksi.
WaterAgri	Tiedonvaihtoa liittyen maatalousympäristön IoT-laitteisiin.	Wateragri-hanke sai käyttöönsä tekniikkaa ja teknistä neuvontaa ESKE:n kautta. ESKE sai tietoa käyttöympäristön ominaisuuksista ja tarpeista.	-
Turva	ESKE-hankkeen tuottamia laitteita tullaan hyödyntämään Turva-hankkeessa säätökastelun toteuttamisessa.	ESKE:n tuloksille saadaan suora sovelluskohde ja Turva saa käyttöönsä tekniikka, jota ei ole saatavissa kaupallisesti.	Laitteet joudutaan sovittamaan mekaanisesti uudelleen, koska Turva-hankkeessa käytetään hieman erilaisia kaivoja.
Ilmastovii- sas viljelijä	ESKE-hankkeen tuloksia on jaettu kahdessa webinaarissa ja yhdessä pellonpiennartilaisuudessa Ilmastovii- sas viljelijä - hankkeen kohderyhmälle.	ESKE:n tiedottaminen on tehostunut ja Ilmastovii- sas Viljelijä - hankkeeseen on saatu uutta jaettava sisältöä.	-
VÄPÄ	VÄPÄ-hankkeessa on tehty pohjaveden pinnankorkeuden jatkuvatoimista seuranta tuotantoympäristössä useilla maataloilla. Hankkeesta saatuja kokemuksia on jaettu ESKE:n käyttöön ja joitakin suunnitellut hienosäätöjä on tehty tämän perusteella.	Laitetekniikan kehittämiseen on saatu hyvää taustatietoa. VÄPÄ-hankkeen yhteistyötahoille on jaettu tietoa vesienhallinnan automaatiosta.	-

Hankkeiden välisen yhteistyön osalta ei noussut eteen merkittäviä parannustarpeita. Tiedottamisen ja tiedon jakamisen osalta on aina mahdollista toimia paremmin, mutta kyseessä on enemmin hienosäätö kuin radikaali muutos. Hankkeita toteuttavat tahot ovat Pohjois- ja Keski-Pohjanmaan alueilla hyvin verkostuneita ja tieto kulkee eri medioiden välityksellä nopeasti.

5 VIESTINTÄ JA TIEDOTTAMINEN

Hankkeen viestintä ja tiedottaminen toimivat tehokkaasti ja hankkeen aikana osallistuttiin lukuisiin erilaisiin tapahtumiin, jotka tarjosivat mahdollisuuden esitellä hanketta ja sen tuloksia eri sidosryhmille kuten maanviljelijöille, vesienhallinnan toimialan yrityksille ja muille vesienhallinnasta kiinnostuneille. Esittelytilaisuuksissa esiteltiin itse hanketta, mutta eräänlaisena vetonaulana, myös ESKE:ssä kehitettyä ja valmistettua etäohjattavaa säätösalaajakaivon venttiiliä. Vuoden 2022 aikana osallistuttiin seuraaviin tapahtumiin:

- Suopäivät 20.5.2022 Helsingissä
- Oulun yliopiston järjestämä Twitter-konferenssi "What does science say about summer" 9.6.2022
- VESIHAVE-hankkeen vierailu Kannuksen pilotointikohteessa 20.6.2022
- Luonnonvarakeskuksen Peltopäivät 16.8.2022 Ruukissa
- Nivalan Maaseutunäyttely 19–20.8.2022 Nivalassa
- ProAgrian järjestämä pellonpiennartilaisuus 19.9. Ruukissa (Kuva 1)
- MaatalousKonemessut 13.–15.10.2022 Helsingissä
- ELY:n webinaarit 25.1.2022 ja 5.–6.10.2022



Kuva 1. Demolaitteen esittelyä Luonnonvarakeskuksen peltopäivillä Ruukissa 19.9.2022. Kuvassa vasemmalta lukien Jyrki Savela, Sara Pelttari ja Janne Torvela.

Tapahtumiin osallistumisella tavoitettiin hyvin suuri yleisö, sillä yksistään Nivalan maaseutunäyttelyn kävijämäärä oli noin 12 500 henkeä.

Tärkeimpinä sähköisinä viestintäkanavina toimivat webinaarit ja erilaiset sosiaalisen median kanavat. Nämä olivat hyvin oleellisia eri sidosryhmien suuntaan tapahtuvassa viestinnässä. Viestinnässä hyödynnettiin myös jonkin verran sosiaalista mediaa mm. kesäkuussa 2022 osallistuttiin Oulun yliopiston avoimeen Twitter-konferenssiin, jonka otsikona oli "What does science say about summer?" ESKE:stä kirjoitettiin myös lyhyt esitely Suomen salaojajhdistyksen maaliskuun 2022 uutiskirjeeseen.

Suurin osa hankkeesta tuotetuista viestintämateriaaleista on kytköksissä tilaisuuksiin, joissa hanketta tai hankkeen tuloksena syntynyttä säätösalojakaivoa esiteltiin. Tuotetut viestintämateriaalit koostuvat siis suurelta osin PowerPoint -esityksistä, venttiilistä kuvatuista videoista ja postereista, mutta myös kaivosta ja venttiilistä muokatusta näyttelykappaleesta, jota esiteltiin esimerkiksi Maatalouskonemessuilla. Sitä voidaan pitää kenties tehokkaimpana tässä projektissa tuotettuna viestintämateriaalina, sillä yleisö pääsee seuraamaan laitteen toimintaa lähietäisyydeltä.

Hankkeen viestintä sujui kokonaisuudessaan hyvin. Viestinnässä suurena apuna oli eri hankkeiden muodostama verkosto, joka tarjosi erilaisia kanavia tiedon levittämiseen. Jos kaikki järjestelyt olisi pitänyt tehdä hankkeen omilla resursseilla, olisi tiedottamisen määrää jouduttu supistamaan oleellisesti.

Hankkeen tuloksien esittely on aloitettu jo hyvissä ajoin erilaisissa tapahtumissa. Lisäksi ESKE:ssä kehitettyä laitteistoa esitellään KPEDU:n kotisivuilla PeltoSäätö-projektin yhteydessä. Hankkeen tuloksista tullaan lähitulevaisuudessa kirjoittamaan 2–3 tieteellistä

julkaisua, joista ensimmäinen laitteen prototyypin suunnittelua ja testausta käsittelevä julkaisu on jo valmisteilla, mutta ei tule julkaistuksi hankkeen aikana.

Hanke opetti viestinnän suhteen sen, että kannattaa pyrkiä verkostomaiseen toimintaan ja etsiä hankkeiden välisiä synergioita. Esiteltävä materiaali kannattaa myös valmistella huolellisesti niin, että se on muokattavissa joustavasti erilaisiin käyttötarpeisiin. Valokuvia kannattaa myös ottaa hankkeen eri vaiheessa runsaasti, sillä niistä on usein tiedostusmateriaalia koostettaessa pulaa.

6 HANKKEEN TUOTOKSET

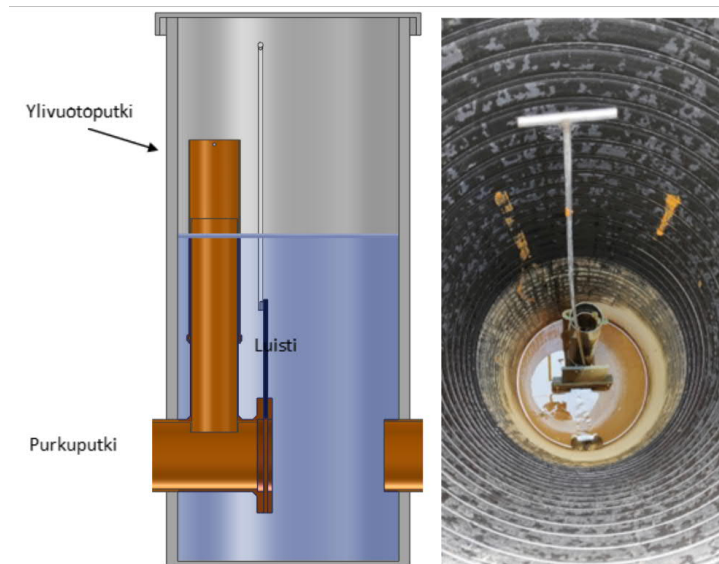
Hankkeen konkreettisenä tuloksena oli etähallittavan säätösalaajakaivoventtiilin kokonaiskonsepti, jonka osatekijöitä ovat:

- venttiilin toiminta- ja kiinnitysmekaniikka sekä venttiiliä liikuttava toimilaite
- anturointi
- ohjausyksikkö, joka sisältää
 - mikro-ohjaimen
 - radiomoduulin
 - aurinkopaneelin ja siihen liittyvän energianhallintaelektronikan sekä akuston
 - antennin ja tarvittavat liittimet
 - ympäristösietoisen koteloinnin
- pilvipohjainen tietojärjestelmä, joka käsittelee ja tallentaa ohjaus- ja mittaussignaalit sekä tarjoaa käyttöliittymän.

Eri osa-alueista laadittiin teknisiä suunnitteludokumentteja ja työohjeita, jotka edustavat hankkeen osatuloksia.

6.1 Padotusventtiili

Perinteisissä salaajakaivoissa käytetään manuaalista, lihasvoimalla liikuteltavaa padotusventtiiliä, joka voi olla rakenteeltaan luisti- tai läppätyyppinen (Kuva 2). Kun venttiili on suljetussa asennossa, veden virtaus avo-ojaan estyy ja vedenpinta voi nousta kaivossa aina ylivuotoputkella asetettuun padotuskorkeuteen saakka. Runsaiden sateiden aikana padotusventtiili voidaan avata, jolloin vesi poistuu kaivosta purkuputkea pitkin.



Kuva 2. Salaojakaivon poikkileikkauspiirros ja valokuva kaivon sisältä.

Etäohjattavan salaojakaivon keskeinen komponentti on toimilaitteella (esim. sähkömoottori) käytettävä padotusventtiili. Nykyisin käytössä on pääosin 110, 160 ja 200 mm purkuputkille suunniteltuja venttiileitä. Venttiilivalmistajilta saadun tiedon mukaan 160 mm venttiili on yleisin koko, joten tässä hankkeessa venttiili suunniteltiin lähtökohtaisesti tälle kokoluokalle.

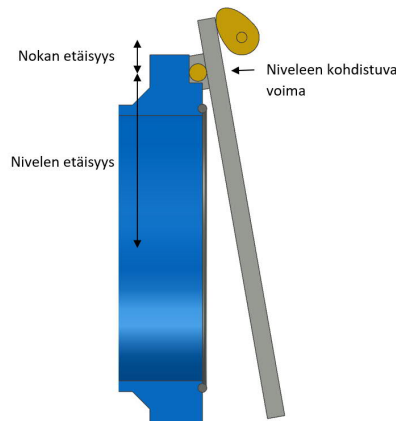
Venttiilin rakenne suunniteltiin olemassa olevien ratkaisujen sekä oman ideoiden pohjalta. Ideoinnin lähtökohdaksi valittiin luisti- ja läppätyyppiset venttiilit, koska sellaisia käytetään yleisesti perinteisissä kaivoissa. Venttiilin käyttö on mahdollista tehdä joko pyörivän- tai suoraviivaisen (lineaarisen) liikkeen avulla. Neljää periaatteellisesti erilaista venttiilirakennetta vertailtiin seuravan matriisin mukaisesti.

	Pyörivä liike	Lineaariliike
Läppäventtiili	Nokkamekanismi	Vipumekanismi
Luistiventtiili	Hammaspyörä ja hammastanko	Lineaarijohde

Kuva 3. Rakennevaihtoehtomatriisi.

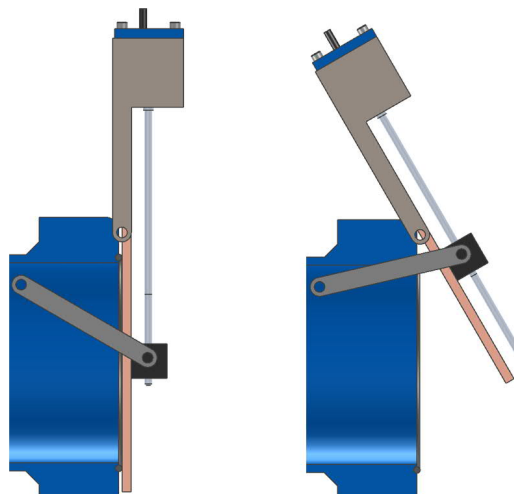
Kun kaivossa on vettä ja venttiili on kiinni, aiheuttaa hydrostaattinen paine venttiiliin luistiin purkuputkea vasten työntävän voiman. Maksimivedenkorkeudeksi valittiin 2 m, jolla paineen aiheuttamaksi puristusvoimaksi saatiin 395 N.

Nokkamekanismilla käytettävän läppäventtiilin periaate on esitetty kuvassa 4. Suurimaksi niveleen kohdistuvaksi voimaksi saadaan laskennallisesti 1580 N, joka aiheuttaisi merkittävän rasituksen rakenteeseen. Myös nokan ja läpän välinen kontakti on ongelmallinen, sillä se toimii kiintoainesta sisältävässä kaivovedessä ja on siten hyvin altis kulumiselle.



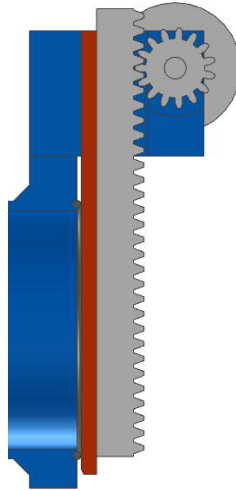
Kuva 4. Nokkamekanismilla käytettävä läppäventtiilirakenne.

Vipumekanismilla toteutettu läppäventtiili on yksi mahdollinen ratkaisu, jossa voidaan hyödyntää lineaariliikettä (Kuva 5). Lineaaritoimilaite on toteutettu periaatekuvassa moottorilla ja liikeruuvilla. Luukun aukeamistilanteessa lineaaritoimilaitteen tuottama voima saadaan kohdistettua läppään vertikaalisuunnassa, jolloin tarvittava aukaisuvoima saadaan minimoitua. Lineaaritoimilaitteen nostaessa venttiilin läppää ylöspäin, se lähtee samalla aukeamaan kuvan mukaisesti. Tällainen ratkaisu vähentäisi todennäköisesti tiivisteen kulumaa. Ratkaisu on kuitenkin useiden nivelpisteiden vuoksi melko monimutkainen ja kunnossapitoa vaativa.



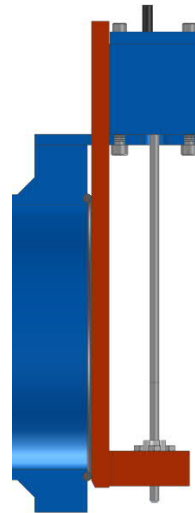
Kuva 5. Vipumekanismiin perustuva läppäventtiilirakenne.

Hammaspyörällä ja -tangolla toteutetun luistiventtiilin periaate on esitetty kuvassa 6. Tässä ratkaisussa luisti liikuu vasten venttiilirunkoa vertikaalisuunnassa aivan kuten edellä esitetyssä kaupallisessa manuaaliventtiilissä (kuva 2). Luistin ja rungon väliseksi kitkakertoimeksi arvioitiin 0,15. Tiivistekitkakertoimeksi arvoitiin 0,1 kun käytetään huu-lityypistä tiivistettä. Tarvittavaksi suurimmaksi avausvoimaksi saatiin 63 N. Hammaspyörä ja -tanko mitoitettiin tarkoitukseen sopiviksi ja materiaaliksi valittiin PA6-muovi. Hammaspyörän säde pyörimisakselilta kontaktipintaan oli 22,5 mm. Toimilaitteelta vaadittava vääntömomentti olisi laskennallisesti 1,4 Nm, kun sallittu vääntömomentti ky-seiselle hammaspyörälle on vain 1 Nm. Rakenne ei siis täyttäisi vaatimuksia ja se olisi avoimen hammaspari vuoksi altis kulumiselle tai jopa jumiutumiseksi, koska kaivoon saattaa joutua joskus olkia tai muuta kiinteää ainesta.



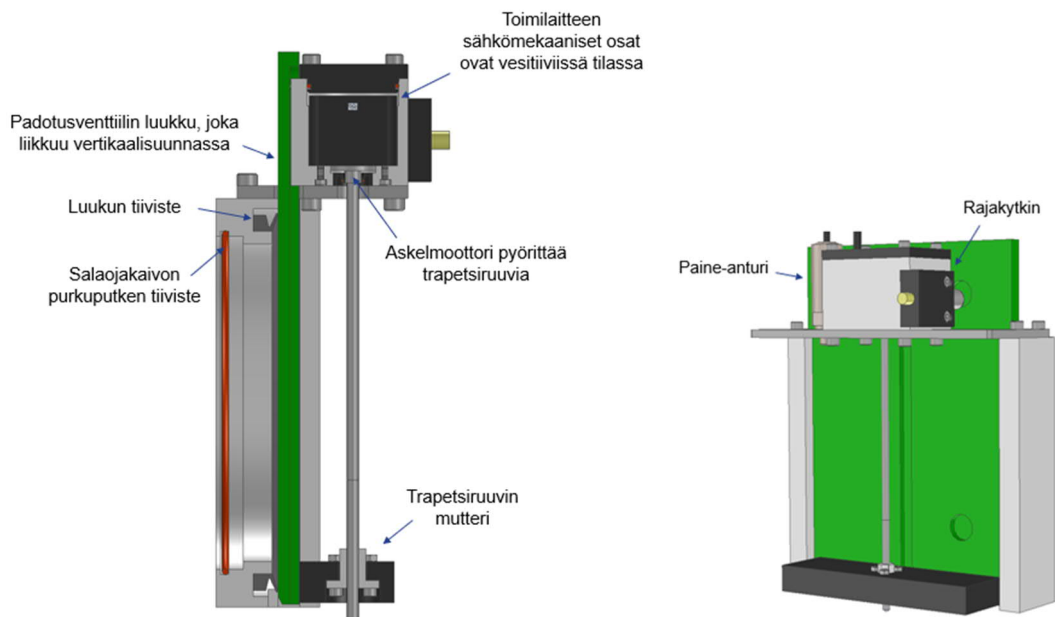
Kuva 6. Vipumekanismin perustuva läppäventtiilirakenne.

Lineaarijohteella toteutettu luistiventtiili on esitetty kuvassa 7. Tarvittava luistin avausvoima on sama kuin hammaspyörä/-tanko-rakenteessa. Lineaaritoimilaite on toteutettu periaatekuvassa moottorilla ja liikeruuvilla ja se liikuttaa luistia vertikaalisuunnassa. Luisti tarvitsee ympärilleen lineaarijohteen tai muun ratkaisun hallitun liikkeen aikaansaamiseksi, jonka ansiosta siihen kohdistuu vain tiivistekitkan sekä venttiilirungon ja luistin välisen kitkan aiheuttama voima.



Kuva 7. Luistimekanismin ja liikeruuviin perustuva venttiilirakenne.

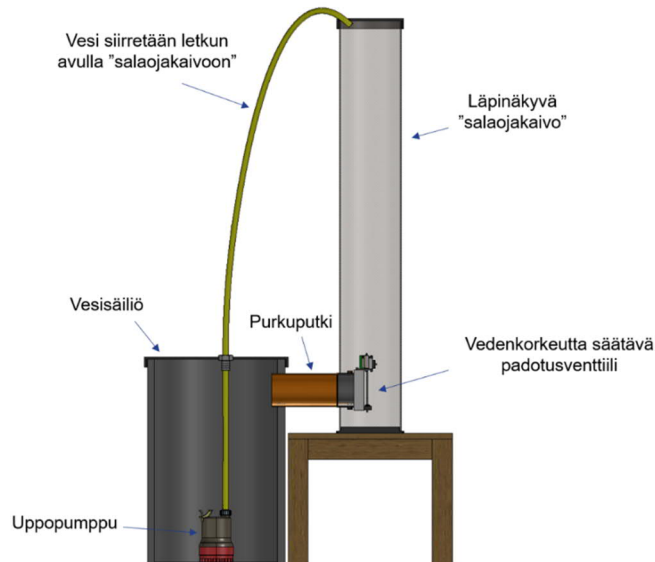
Edellä esitetyistä vaihtoehdoista päätettiin toteuttaa prototyyppi lineaarijohteella toteutetusta luistiventtiilistä (kuva 8). Toimilaitteeksi valikoitui Haydon Kerk E43H4N hybridiaskelmoottori, jonka tuottama maksimivoima on noin 700 N. Venttiilissä päädyttiin aluksi kuvassa 9 näkyvään rakenteeseen, jolla tarvittavaa avausvoimaa ja luistin kulumista voidaan tutkia laboratoriossa. Venttiilin rungon materiaaliksi valittiin POM-C muovi, joka on mekaanisilta ominaisuuksiltaan erinomainen. Padotusventtiilin luisti painautuu hydrostaattisella paineella vasten runkoa, joten se muodostaa rungon kanssa kitkaporin. Luistin materiaali pyrittiin valitsemaan siten, että kitkavoima rungon kanssa olisi mahdollisimman pieni ja sen mekaaniset ominaisuudet olisivat riittävän hyvät. Luisteja päätettiin rakentaa kokeiluja varten neljästä eri materiaalista: 1) PE 9000 MOS2 (musta), 2) Tecaglide (vihreä), 3) Zellamid 1400 T (harmaa) ja 4) PA 6 G OIL (keltainen). Luukun tiivisteeksi valittiin V-tiiviste, jonka aiheuttama kitkavoima arvioitiin vähäiseksi.



Kuva 8. Prototyyppiventtiilin rakennetta. Kuvassa näkyy myös antureiden sijoittelu.

6.2 Laboratoriokoejärjestely

Oulun yliopisto laboratoriotiloihin rakennettiin kuvan 9 mukainen koejärjestely, jolla voitiin tutkia venttiilin mekaanista toimintaa, toimilaitteen voimantarvetta, venttiilin pitävyyttä, kitkaparien kulumista, energiankulutusta ja venttiilin käyttövoiman riippuvuutta kaivon vedenpinnan korkeudesta.



Kuva 9. Koejärjestelyn rakennetta.

6.3 Pilottijärjestelmä

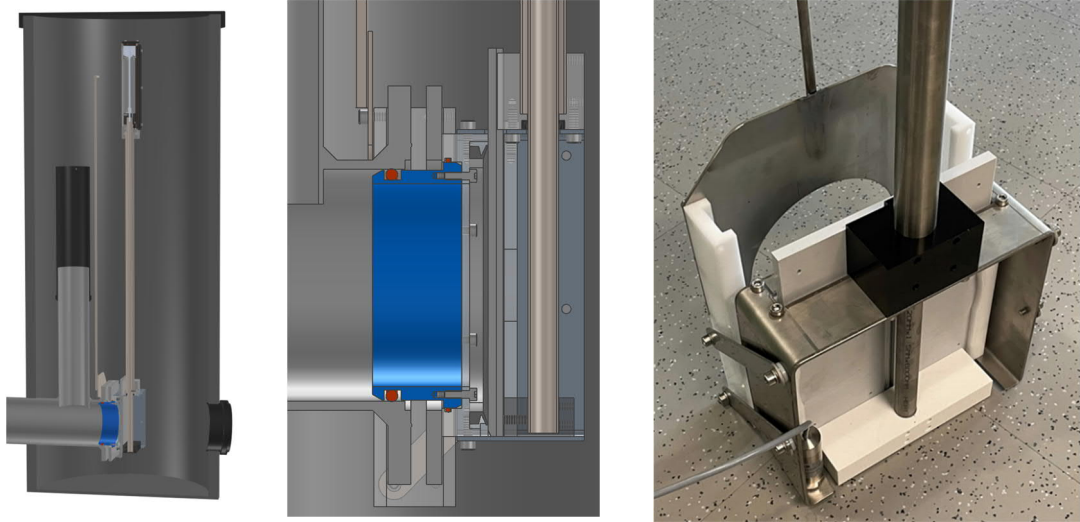
Kenttäkokeita varten suunniteltiin ratkaisu, jossa etäohjattava venttiili sijoitetaan perinteisen säätösalojakaivon pohjaventtiiliin paikalle. Peruskaivoina voi siis toimia lähes mikä tahansa perinteinen salaojakaivo, jonka tuloputkeen on mahdollista työntää hankkeessa suunniteltu venttiili. Liityntärajapinnan pitää olla hyväkuntoinen, eli putkessa ei saa olla merkittäviä naarmuja, soikeutta tai tiukkaan tarttunutta ruostesakkaa.

Pilotointijärjestelmään sisällytettiin mahdollisuus myös kastelupumpun tai muun vastaavan päälle/pois-tyyppisen laitteen ohjaamiseen, mutta yhdessäkään pilotointikohteessa ei käytetty kastelua.

6.3.1 Mekaaninen rakenne

Pilotointia varten suunniteltu mekaaninen rakenne on esitetty kuvassa 10. Venttiilin luisuttava toimilaitte siirrettiin laboratoriojärjestelystä poiketen venttiilin yhteydestä kaivon yläosaan. Näin toimilaittekotelo sijoittuu vedenpinnan yläpuolelle ja siihen päästään tarvittaessa helposti käsiksi.

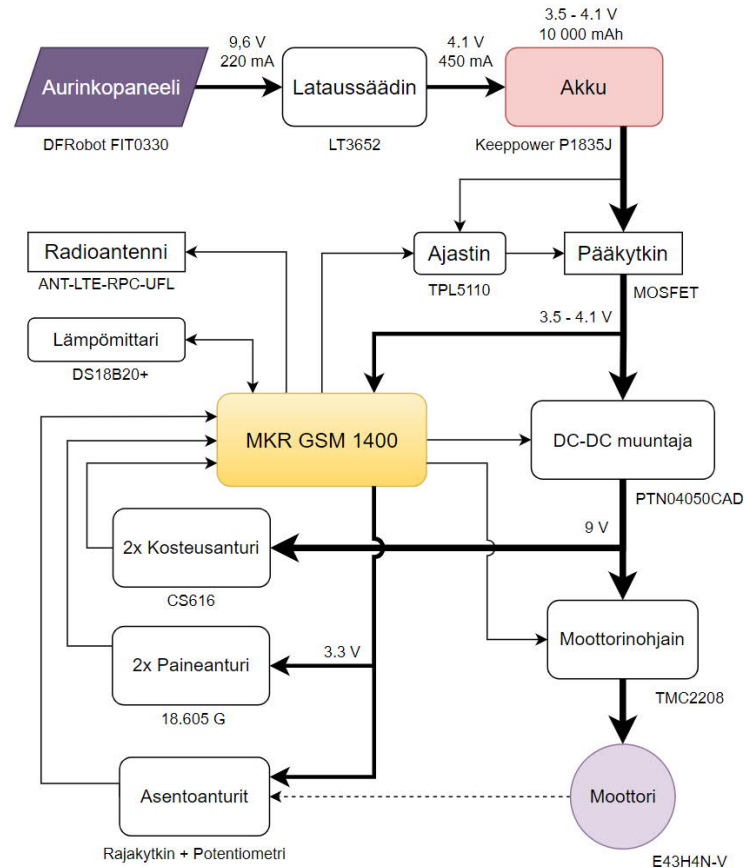
Asennettaessa venttiili työnnetään purkuputken sisälle ja se tiivistyy o-renkaalla, jonka puristuma asetellaan tapauskohtaisesti o-renkaan alle kierrettävällä putkiteipillä. Venttiili lukitaan paikoilleen kuvan mukaisella mekanismilla, joka mahdollistaa myös venttiilin nopean irrottamisen.



Kuva 10. Pilotointijärjestelmän rakennetta.

6.3.2 Anturit

Järjestelmä tarvitsee toimiakseen anturointia, jolla saadaan tieto ainakin venttiilin asemasta ja kaivon vedenpinnan korkeudesta. Pilotointijärjestelmään sisällytettiin myös mahdollisuus pohjaveden pinnankorkeuden mittaamiseen kaivon läheisyydestä sekä liityntä kahdelle Campbell Scientificin CS616 -maankosteusanturille (Kuva 11). Ohjausyksikön lämpötilaa mitattiin erillisellä anturilla. Kaikki edellä mainitut anturit eivät ole venttiilin ohjaamisen kannalta välttämättömiä, mutta ne helpottavat testaamista avaamalla näkymän kaivon ympäristön kosteustilanteeseen ja mahdollistamalla ylikuumentilanteen tunnistamisen.



Kuva 11. Ohjausyksikön ja anturoinnin kaaviokuva.

6.3.3 Ohjausyksikkö

Ohjausyksikkö on järjestelmän elektroninen ohjain, jonka tehtävänä on

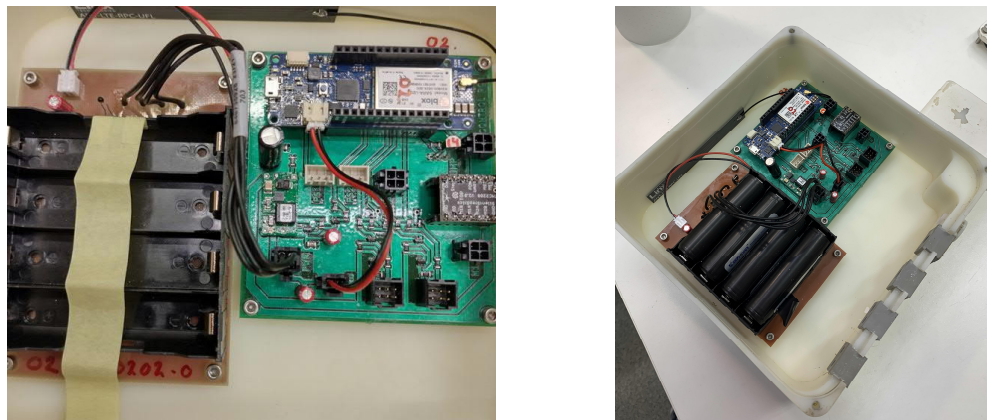
- huolehtia venttiiliä käyttävän toimilaitteen ohjaamisesta käyttäjältä vastaanotettavien ohjaukskäskyjen mukaisesti
- lukea ja käsitellä anturisignaaleita sekä välittää niiden sisältämä informaatio käyttöliittymään
- huolehtia sekä omasta että toimilaitteen ja anturien energianhallinnasta
- toimia mekaanisena kiinnitysalustana aurinkopaneelille ja antennille.

Ohjausyksikön looginen rakenne on esitetty kuvassa 11. Lähtökohdaksi valittiin Arduino MKR GSM 1400 -kehityskortti, koska se tukee yleisimmin ja laajimmin käytössä olevaa 2G- ja 3G-verkkoteknologiaa, sekä SMS-tekstiviestipalvelua, jonka avulla laitteelta vaaditut perustoiminnot voidaan toteuttaa muiden sovellusalojen ja palveluiden toimivuudesta riippumatta. Matkapuhelinverkkoa hyödyntämällä laitteisto kytkeytyy suoraan julkiseen internetiin, jolloin järjestelmän toimivuus ja toteutus eivät ole riippuvaisia kolmansien osapuolien palveluista. Uudemmissa 4G- ja 5G-verkkoteknologioiden vastaava toteutus voidaan saavuttaa LTE-M ja NB-IoT yhteensopivilla laitteilla, joskin SMS-palvelun saatavuus ja pääsy suoraan julkiseen tietoverkkoon riippuu verkon operaattorista.

Laitteen käyttöenergia kerättiin aurinkopaneelilla ja se puskuroitiin neljään 18650-tyyppiseen akkuun. Paneelin tehoksi mitattiin suorassa auringonpaisteessa 2,2 W, josta akuston varaustehoksi saadaan parhaimmillaan 1,85 W. Latausjärjestelmän hyötysuhde muuntohäviöineen on 84 %. Akusto koostuu Litium-akkennoista joiden yhteenlaskettu nimelliskapasiteetti on 14 Ampeerituntia. Laitteisto voi käyttää tästä 10 Ampeerituntia käytännön rajoitteiden puitteissa. Lataussäädin kykenee täyttämään akuston 2–3 vuorokaudessa, kun suoraa auringonvaloa on saatavilla vähintään 8,5 tuntia vuorokaudessa. Lataus kuitenkin keskeytyy akkennojen suojelemiseksi, mikäli akuston lämpötila kohoaa yli +38 °C, tai laskee alle -5 °C. Nimellisellä 5 mA keskimääräisellä virrankulutuksella radiolähettimen toiminta-aika on noin 83 vuorokautta normaalissa käyttötilassa, tai 400–500 vuorokautta harvennetulla toimintavälillä, ilman latausta aurinkopaneelista.

Elektroniikka toteutettiin kahdella erillisellä piirilevyllä, joista toinen toimii akuston ja energianhallintajärjestelmän alustana ja toinen Arduinon ja sen lisälaitteiden alustana (Kuva 12). Piirilevyt suunniteltiin KiCad-ohjelmistoa käyttäen ja valmistettiin Oulun yliopiston Fab lab -työpajassa (<https://www.oulu.fi/en/university/fab-lab-oulu>).

Ohjausyksikkö koteloitiin kuvan 13 mukaisesti ja se aseteltiin pilotointikohteissa kaivon läheisyyteen niin, että aurinko pääsi paistamaan mahdollisimman esteettömästi kotelon kanteen kiinnitettyyn aurinkopaneeliin. Yksiköön sisällytettiin varaus myös kastelupumpun ohjaamiseen.



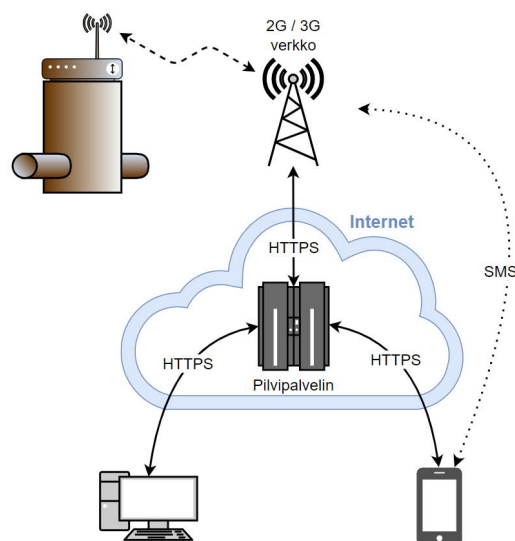
Kuva 12. Piirilevyt asennettuna ohjausyksikön kotelon sisään.



Kuva 13. Pilottikaivo ja ohjausyksikkö Nivalassa.

6.3.4 Tietojärjestelmä ja käyttöliittymä

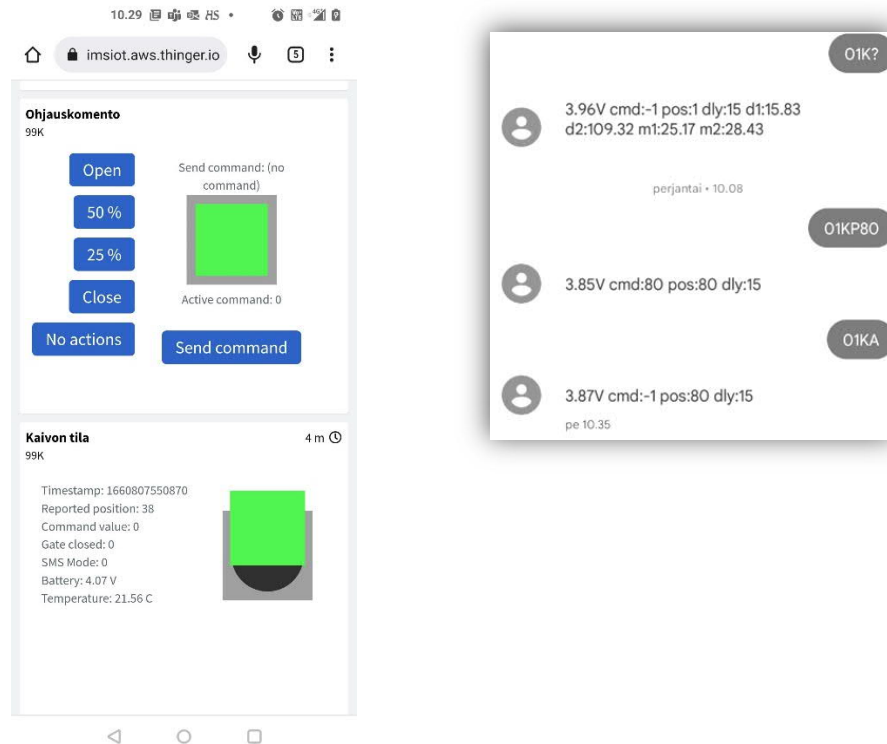
Projektissa vältettiin tukeutumista mihinkään erityiseen palvelualustaan, koska näin saadut tulokset eivät välttämättä olisi yleistettävissä ja sovellettavissa muualla. Sen vuoksi kaikki tietoliikenne pyrittiin toteuttamaan hyödyntäen yleisesti käytettyjä protokollia ja rajapintoja, kuten HTTPS ja REST API. Toteutuksessa etäohjattu laite voidaan ohjelmoida ottamaan yhteyttä mihin tahansa julkiseen verkkopalvelimeen, joka tunnistaa laitteen sille annetun nimen ja salausavaimen perusteella. Verkkopalvelin tarjoaa laitteelle tietokannan, johon laite lähettää mitatun tiedon ja lukee toimintakomentoja. Käyttäjän suuntaan järjestelmä toimii vastaavalla tavalla: käyttäjän ohjelmisto toimii käyttöliittymänä tietokantapalvelimeen ja tuottaa halutut graafit ja näkymät mittausdataan sekä ohjaukseen.



Kuva 14. Tiedonsiirtojärjestelmän kaaviokuva.

Hankkeessa käytettiin tietokantapalvelimena ja käyttöliittymän toteutuksessa kaupallista Thinger.io-pilvialustaa, joka hyödyntää Amazon Web Services (AWS) laskenta-alustan resursseja. Rakennettu käyttöliittymä ei ole riippuvainen Thinger.io-alustasta, vaan se voidaan toteuttaa esimerkiksi paikallisena HTML/JavaScript-tiedostona, jonka käyttäjä avaa verkkoselaimella. Tietokantapalvelimen käyttö viestien välitykseen mahdollistaa suoraan järjestelmän automatisoinnin: mikä tahansa ohjelma tai laite, joka kykenee muodostamaan HTTPS-kyselyn voi päästä käsiksi mittausdataan ja ohjata laitetta. Tietokantapalvelin voi toimia virtuaalisena palvelimena pilvessä, tai erillisenä toteutuksena. Etäohjatun laitteiston käyttäjä voi omistaa tavalliseen kuluttajaliittymään kytketyn pienoispalvelimen, joten laitteiston ylläpito ja automatisointi voidaan toteuttaa yhtä hyvin kaupalliselta toimijalta ostettavana palveluna, tai tuotteena jota käyttäjä ylläpitää ja hallinnoi itse. Jälkimmäisessä tapauksessa vaaditaan vain, että käyttäjällä on saatavilla julkinen ja pysyvä verkko-osoite.

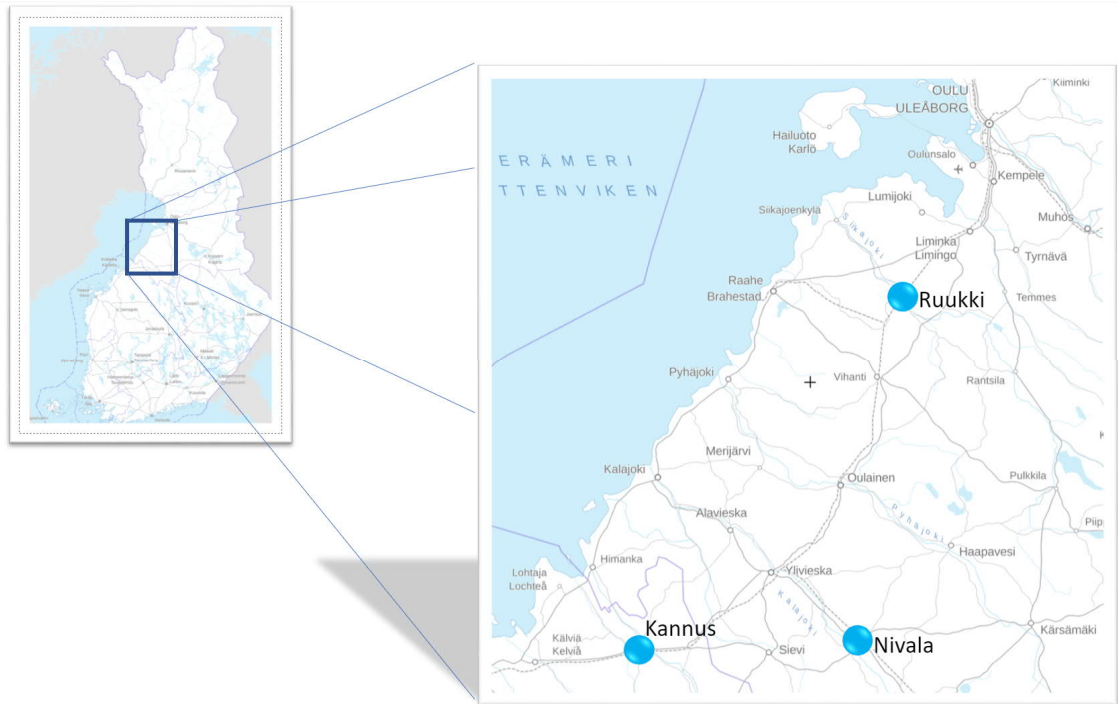
Yksinkertaisessa tapauksessa käyttäjä voi haluta vain mahdollisuuden ohjata yksittäisiä venttiilejä auki ja kiinni. Tätä käyttötapaa varten laitteistoa voidaan ohjata suoraan tekstiviestillä. Mittausdatan keräys vaatii kuitenkin aina yhteyden tietokantapalvelimeen. Useamman kaivon tapauksessa hallinta tietokantayhteyden kautta helpottaa toimintaa, jolloin on myös perusteltua käyttää keskitettyä palvelinta. Kuvassa 15 on esitetty käyttöliittymänäkymiä. Tekstiviestiohjauksen komentokieli on tarkoitettu kehitysvaiheen käyttöön ja näyttää siksi vaikeaselkoiselta. Komentoja on kuitenkin helppo muokata lopputyöntekijälle helppokäyttöisemmiksi.



Kuva 15. Kuvakaappauksia matkapuhelimelle tarkoitetusta käyttöliittymästä. Vasemmalla verkkosivunäkymä ja oikealla näyte tekstiviestiohjauksen viestiketjusta.

6.4 Pilotointikohteet

Hankesuunnitelman mukaan pilotointi oli tarkoitus toteuttaa Tyrnävän alueella, mutta hankkeen aikana ilmeni, että tarkoituksenmukaisemmat pilotointikohteet löytyvät Nivalasta Auringon tilalta, KPEDUN Kannuksen toimipaikasta ja Luonnonvarakeskuksen Ruukin tutkimusasemalta (Kuva 16). Tyrnävän kohdalla lisätyötä olisi aiheuttanut se, että mahdolliset koalueet olivat perunantuotantokäytössä ja vaatimukset salaojituksen häiriöttömälle toiminnalle ovat korkeat. Hankkeeseen valitut pilottipellot olivat viljelykäytössä, mutta kaivojen koekäytölle saatiin laajat vapaudet.



Kuva 16. Pilotointikohteiden sijannit.

7 HANKKEEN TULOKSET

Hankkeen tavoitteena oli suunnitella, toteuttaa ja pilotoida etähallittava säätösalaaja-kaivo. Voidaan todeta, että kaikki hankkeen tavoitteet saavutettiin. Suunnittelu tuotti kokonaisratkaisun, jonka toimivuus osoitettiin useassa eri vaiheessa; eri osakokonaisuudet testattiin vaiheittain laboratoriossa ja niistä kokoonpantiin viisi pilottilaitteistoa kolmeen eri kohteeseen. Alkuperäisenä ajatuksena oli suunnitella koko kaivorakenne etäohjauksen ehdoilla, mutta saadun käyttäjäpalautteen perusteella olisi erittäin toivottavaa, että myös jo pellolle asennettuihin kaivoihin voisi jälkiasentaa etäohjauksen. Niinpä suunnittelun yhdeksi vaatimukseksi otettiin jälkiasennettavuus. Tähän vaatimukseen onnistuttiin myös vastaamaan ja lopullinen ratkaisu ei siis ole etäohjattava kaivo, vaan etäohjattava venttiili, joka on asennettavissa erilaisiin kaivoihin. Toki rakenteen ympärille voi suunnitella myös kokonaan uuden kaivorakenteen, mutta välttämätöntä se ei ole.



Kuva 17. Pilotointilaitteisto Nivalan käyttöpäikällä.

7.1 Pilotoinnin tulokset

Pilotointikohteita oli kaikkiaan kolme ja niihin asennettiin yhteensä viisi pilottilaitteistoa. Koska jokainen asennuskohde oli yksilöllinen sekä kaivon että liitosrajapinnan osalta, vaati asentaminen hienosäätöä ja testaamista. Erityisesti venttiilin liitoksen tiiviyyteen kiinnitettiin huomiota, koska pienikin (pitkään jatkuva) vuoto on pellon vesitalouden kannalta haitallista.

Pilotointi osoitti laitteiden toimivan jotakuinkin odotetulla tavalla myös haastavissa käytännön olosuhteissa. Olosuhteet kaivossa ovat teknisen laitteen luotettavan toiminnan kannalta vaikeat; Vesi voi olla hapanta ja siinä on erilaisia epäpuhtauksia, jotka kuormittavat mekaanisia rakenteita aiheuttaen kulumista ja jopa liikkuvien osien jumiutumista. Käytännössä yksikään pilottilaitte ei kärsinyt testikauden aikana jumiutumista tai vuoto-ongelmista, mutta ohjausjärjestelmää vaivasi satunnainen sammuilu. Syytä tähän ei onnistuttu löytämään hankkeen aikana. Kyseessä ei ollut käyttöenergian loppuminen, vaan ohjelmisto- tai laiteongelma. Ongelma ratkaistaan viimeistään seuraavissa kehitysversioissa, joita tehdään tämän hankkeen ulkopuolella.

7.2 Tulosten vaikuttavuus

Hankkeen tuloksena syntynyt konsepti edustaa ns. mahdollistavaa tekniikkaa. Tällä tarkoitetaan sitä, että konsepti avaa mahdollisuuden maa- ja metsätalouden vesienhallinnan automaation edistämiseksi. Tällä hetkellä markkinoilla ei käytännössä ole tarjolla teknistä ratkaisua, joka mahdollistaisi säätösalaajakaivojen ohjaamisen etäältä. Tämän hankkeen tuloksena syntyneitä konsepteja voidaan käyttää lähtökohdana kaupallisten tuotteiden suunnittelulle. Tulokset hyödyttävät yrityksiä, jotka toimivat, tai ovat kiinnostuneita toimimaan, vesienhallinnan alueella. Toisaalta tulokset hyödyttävät välittömästi myös vesienhallinnan tutkimusta, koska automaattijärjestelmien käytännön toteuttaminen on nyt mahdollista kohtuullisin kustannuksin ja ilman sitoutumista kaupallisiin laite-toimittajiin.

Tässä hankkeessa kehitystyön keskipisteessä oli veden virtaukseen vaikuttava venttiili ja sen etäohjaus, mutta on huomattava, että sivutuotteena syntyi myös tiedonvälitysketju, joka mahdollistaa ympäristön monitoroinnin. Kehitetty venttiilin ohjausjärjestelmä avaa aina kaksisuuntaisen tiedonsiirtokanavan, jota voi kaivon ohjaamisen lisäksi käyttää esimerkiksi maan kosteuden ja lämpötilan seurantaan. Samalla tietoa on mahdollista säilöä digitaaliseen muotoon myöhempää analyysiä tai muuta käyttöä varten. Tämä on tärkeä lisäpiirre, sillä maatalouden toimintaympäristöstä kerätyt digitaaliset aineistot saattavat olla myöhemmin hyvin arvokkaita.

Pitkällä aikavälillä hankkeen tulokset voivat hyödyntää laajalti niitä toimialoja, jotka ovat kytköksissä maa- ja metsätalouteen. Mikäli vesienhallinnallin digitalisaatio etenee kohti laajamittaista käyttöä, on laitetekniikalla kehityksessä keskeinen rooli. Vain perusteillaan kestävä, toimintavarmat, riittävän edulliset ja määrällisesti skaalautuvat ratkaisut voivat menestyä. Kehityksen nopeuteen vaikuttavat ainakin kansallinen ja kansainvälinen regulaatio, ICT-markkinan ja laitetekniikan yleinen kehitys sekä asiakkaiden käyttäytyminen.

Vesienhallinnan automatisoituminen voi muuttaa perinteisiä toimintatapoja merkittävästikin. Maatalouden vesienhallinta perustuu pitkän ajan kuluessa karttuneeseen osaamiseen ja vakiintuneisiin toimintatapoihin sekä peltolohkokohtaiseen päätöksentekoon. Automaation myötä vesien ohjaamiseen on mahdollista luoda erilaisia strategioita, jotka voivat ottaa päätöksenteossa huomioon selvästi peltolohkoa laajemman alueen.

Hankkeen tuloksia on jo hyödynnetty käynnissä olevissa tutkimushankkeissa (mm. Vesihiisi, TURVA, PeltoSäätö) tarjoamalla protolaitteita niiden käyttöön. Tuloksia pyritään hyödyntämään jatkossa laajemmassa mittakaavassa rakentamalla koejärjestelyjä, joissa kaivojen ohjaus pohjautuu ihmisen antamien ohjauskäskyjen sijaan ohjelmalliseen älyyn.

8 HANKKEEN INNOVATIIVISUUS, MONISTETTAVUUS, UUTUUSARVO JA HYÖTY

Hankkeessa syntyi runsaasti uutta tietoa ja osaamista sekä käytännön testeillä toimivaksi osoitettua laitetekniikkaa vesienhallinnan tarpeisiin. Hankkeella on uutuusarvoa erityisesti siinä mielessä, että se vie käytännön tasolle vesienhallintaan tarkoitettun IoT-sovelluksen, jota eri toimijat voivat hyödyntää esimerkiksi käyttämällä hankkeessa tuotettuja ratkaisuja oman tuotesuunnittelunsa lähtökohtana. Tuloksia voidaan monistaa, muokata, skaalata ja soveltaa myös maa- ja metsätalouden ulkopuolella esimerkiksi teollisissa kohteissa. Teknisessä toteutuksessa on käytetty uusinta tekniikkaa erityisesti tiedonsiirron ja -hallinnan osa-alueilla.

Hankkeen tulokset eivät rajaudu maantieteellisesti. Kehitettyä tekniikkaa voidaan soveltaa periaatteessa globaalisti, kunhan tietyt ehdot täyttyvät. Sovelluskohteessa täytyy olla käytettävissä sopiva tietoliikenneverkko, riittävästi auringonvaloa ja venttiili ei saa jäätyä missään tilanteessa kauttaaltaan.

9 TOIMINNAN JATKUVUUS

Hankkeen tuloksia on jalkautettu käytäntöön eri hankkeiden kanssa tehdyn yhteistyön kautta. PeltoSäätö-hankkeessa on pilotoitu tämän hankkeen tuotoksia ja toimintaa tullaan jatkamaan koko hankkeen ajan, eli vuoden -23 loppupuolelle. PeltoSäädön yhtenä tavoitteena on kerätä käyttökokemuksia etähallittavasta kaivosta ja siihen liittyvästä muusta laitetekniikasta käytännön maatalousympäristössä. Nämä tiedot ohjaavat konseptin jatkokehitystä ja mahdollistavat tietopakettien ja ohjeistusten luomisen.

TURVA- ja Vesihiisi-hankkeissa tullaan käyttämään tässä hankkeessa tuotettua laitetekniikkaa kuivatuksen ja kastelun automatisoinnissa. On muistettava, että tässä hankkeessa tuotettu konsepti ei ole toiminnaltaan automaattinen, vaan ihmisen on tuotettava ohjauskäskyt. Em. hankkeissa keskitytään automaationjärjestelmän toimintalogiikan kehittämiseen ja testaamiseen. TURVA-hankkeessa mukana on myös veden varastoaltaan hyödyntäminen kastelussa. Pilotointi toteutetaan kesän -23 aikana Luonnonvarakeskuksen Ruukin tutkimusasemalla.

Edellä mainittujen hankkeiden lisäksi tavoitteena on hankkia rahoitusta myös uusille projekteille. Aiheen tiimoilta on jätetty hakemus Suomen Akatemian RRF-hakuun. Rahoituspäätös saadaan joulukuussa -22. Myös muita rahoitusinstrumentteja on tarkoitus yrittää hyödyntää. Tärkeimpinä tutkimusteemoina ovat ohjausautomaatioon liittyvät menetelmät, jotka mahdollistavat ennakoivan ohjaamisen. Lisäksi ohjaamisen mahdollistavan tilannekuvan käytännölliseen tuottamiseen tarvitaan tutkimusta, koska ohjattavaa aluetta ei voi kustannussyistä anturoida tiheästi ja anturit saattavat häiritä normaaleja viljelytoimia. Kaikkiaan tutkimusta täytyy suunnata järjestelmätason toteutukseen kokonaisuutena. Se vaatii kaikkien osa-alueiden toiminnan yhteensovittamista ja valuma-alueitasoista tarkastelua. Käytännössä tämä tarkoittaa monitieteellistä tutkimusta ja riittävän kattavaa hankekokoja, koska järjestelmä muodostuu väistämättä monimutkaiseksi. Toisaalta saavutettavissa olevat hyödyt ovat selkeitä: vesienhallinta voi tehostua huomattavasti ja eri tavoitteita voidaan ottaa huomioon samanaikaisesti. Esimerkiksi pellon kantavuuden, kosteustilanteen, kasvihuonekaasupäästöjen ja ravinnehuuhtoumien välille voidaan hakea tilannekohtaista tasapainoa automaattisesti. Tällainen toiminta ei ole mahdollista perinteisellä järjestelyllä lainkaan.

Tämän hankkeen kirjalliset tuotokset kuten mekaniikan työkuvat, elektroniikan piirikuvat ja piirilevykuvat löytyvät hankkeen toteuttaneen tutkimusyksikön internetsivuilta (www.oulu.fi/alykkaat).

10 PROJEKTIN RAHOITUS

Hankkeen budjetin suunnitelman ja toteuman vertailu on esitetty seuraavassa taulukossa. Kuluja on kirjautunut lokakuun loppuun -22 saakka, vaikka hankkeen päättämisaikankohta on 15.11.2022. Ero johtuu siitä, että yliopiston talousjärjestelmästä ei ole mahdollista saada ulos raportointikelpoisia lukuja kesken kuukauden. Niinpä hankkeen kahden viimeisen viikon kulut jäivät toteuttajan maksettavaksi ja myöskään suunniteltu hankebudjettia ei toteudu sellaisenaan.

	Suunnitelma	Toteuma	Ero
Rahapalkat	107 250 €	103 337 €	+ 3 913
Henkilösivukustannukset	16 088 €	21 335 €	- 5 248
Yleiskustannukset	18 501 €	18 701 €	- 200
Matkat	5 000 €	1 522 €	+ 3 478
Aineet ja tarvikkeet	15 000 €	13 652 €	+ 1 348
Laiteostot	5 000 €	- €	+ 5 000
Ostettavat palvelut	4 000 €	99 €	+ 3 901
Muut kustannukset	4 162 €	111 €	+ 4 051
YHTEENSÄ	175 000 €	158 756 €	+ 16 244

Toteuma ja suunnitelma ovat pääpiirteissään melko yhtenevät. Laiteostojen ja ostopalvelujen osalta budjettia ei ole juurikaan käytetty. Tämä johtuu siitä, että hankkeessa käytettävät laitteet suunniteltiin ja valmistettiin itse. Ostopalvelubudjettia suunniteltaessa varauduttiin ulkopuolisen suunnittelupalvelun hankintaan, mutta sellaista ei lopulta tarvittu. Matkakuluja syntyi suunniteltua vähemmän, sillä osa matkoista toteutui yhteistyöhankkeiden rahoituksella ja pilotointi kaikkineen vaati vähemmän matkustamista kuin oli ennakoitu.

Hankkeen toteutus sujui maailmantilanteen yllättävistä muutoksista huolimatta budjettimeielessä yllätyksettömästi. Tuleva hankkeita ajatellen mitään selkeitä budjettisuunnittelun muutostarpeita ei noussut esiin. Käytännön kokeisiin nojautuvan kehitystyön resurssien mitoittaminen on usein vaikeaa ja erityisesti kenttätöyöhön liittyviä kustannuksia on helppo aliarvioida. Tässä hankkeessa tämänkään osa-alueen kohdalla eteen ei tullut suurempia yllätyksiä, vaikka erityisesti joidenkin elektroniikkakomponenttien saataavuus oli heikkoa.

11 HANKKEEN TOTEUTUS NUMEROINA

KYSYMYS	lkm
Kuinka monta maanomistajaa on ollut mukana hankkeessa? Myös maanvuokraajat lasketaan.	3
Kuinka monta uutta menetelmää hankkeessa pilotoitiin?	1

Kuinka monta valuma-aluekohtaista / osa-valuma-aluekohtaista suunnitelmaa hankkeessa on laadittu?	-
Mikä on valuma-aluekohtaisten suunnitelmien laajuus (pinta-ala, ha)?	-
Kuinka monta tilaisuutta hanke on järjestänyt? Tässä huomioidaan tilaisuudet, joissa on mukana hankkeen ulkopuolisia osallistujia.	0
Kuinka monta osallistujaa on yhteensä ollut hankkeen järjestämissä tilaisuuksissa? Tässä huomioidaan tilaisuudet, joissa on mukana hankkeen ulkopuolisia osallistujia.	0
Kuinka moneen muiden järjestämään tilaisuuteen hanke / hankkeen edustajat ovat osallistuneet. Tässä huomioidaan vesienhallinnan teemaan liittyvät tilaisuudet. Esim. webinaariesittelyt/ Webinaarien arvioitu kuulijamäärät.	9, arvioitu kuulijamäärä 500
Kuinka monta viestintätuotetta hankkeessa on valmistunut? Viestintätuotteita ovat esimerkiksi tiedotteet/uutiset, blogit, videot, esitteet, podcastit, some, verkkosivut, lehtijutut yms.	10–20, riippuen siitä, miten eri somejulkaisut lasketaan
Kuinka monta asiantuntija-artikkelia hankkeessa on valmistunut?	0 hankkeen aikana.

Hanke ei ole järjestänyt itsenäisesti tilaisuuksia, mutta on osallistunut taulukon mukaisesti noin kymmeneen eri tilaisuuteen, joissa on ollut yhteensä satoja kuulijoita.

Hankkeen tuloksia tullaan julkaisemaan sen päättymisen jälkeen 1–2:ssa tiedelehdessä sekä ainakin yhdessä ammattilehdessä. Artikkelien valmistelu ja julkaisuprosessi ovat sen verran hitaita, että niitä ei ehditä käymään läpi projektin aikana. Hankkeen tuloksia julkaistaan vuoden –22 aikana lisäksi Oulun yliopiston Älykkäät koneet ja järjestelmät - tutkimusyksikön internetsivuilla osoitteessa www.oulu.fi/alykkaat.

12 TOTEUTUSVAIHEEN ARVIOINTI

Hankkeen toteutus onnistui toteuttajan kokemuksen perusteella tavallista paremmin. Asetetut tavoitteet saavutettiin ja kireähköstä aikataulusta huolimatta myös pilotointivaihe onnistui hyvin. Alkuperäisen suunnitelman mukaan pilotointijaksoja olisi ollut kaksi, eli kesäkaudet -21 ja -22. Hankkeen aloittaminen viivästyi kuitenkin alkuperäisestä suunnitelmasta joitakin kuukausia rahoituspäätöksen tultua ennakoitua myöhemmin ja rekrytointien viedessä jonkin verran aikaa. Tämä johti siihen, eli kesäkaudella -21 ei ollut mahdollista toteuttaa täysimittaista pilotointia. Niinpä päädyttiin testaamaan lähinnä laite- ja tietotekniikkaan liittyviä osa-alueita kuten tiedonsiirtoa Arduino-alustalla ja Thinger.io-datanhallintapalvelua. Testeistä saatuja kokemuksia hyödynnettiin varsinaisten pilottilaitteiden suunnittelussa.

Hankkeen aikana ei kohdattu juurikaan yllätyksiä. Joidenkin elektroniikkakomponenttien saatavuudesta oli rajoitteita, ja IoT-verkkojen toimialalla tapahtui muutoksia, kun Ranskalainen Sigfox-verkkoa globaalisti hallinnoiva yritys ajautui talousvaikeuksiin ja uudelle omistajalle. Tämä ei kuitenkaan vaikuttanut juurikaan hankkeen toteutukseen, sillä päätös käyttää tiedonsiirrossa Sigfoxin sijaan 2G/3G-verkkoa oli tehty jo aiemmin. On tärkeä mieltää, että nykyisessä tietoteknisesti verkottuneessa ympäristössä toimiminen sisältää aina riskejä teknologioiden muutoksista. Muutokset voivat olla teknisiä tai kaupallisia ja niiden vaikutus saattaa olla välitön. Esimerkiksi tietoverkon toiminta voi teoriassa katketa ilman ennakkovaroitusta. Tämä täytyy luonnollisesti ottaa huomioon myös vesienhallinnan automaatiota kehitettäessä. Verkkojen pitää olla toimintavarmoja ja häiriösietoisia erityisesti nykyisessä maailmanpoliittisessa tilanteessa. Lisäksi sovellusten kehittäjien täytyy pohtia huolellisesti kaupallisia riskejä ja niiden hallintaa. Tiukka sitoutuminen tiettyihin tekniikoihin/toimijoihin saattaa johtaa vaikeasti korjattaviin tilanteisiin esimerkiksi konkurssitapauksessa.

Hankkeen myötä syntyi uutta insinööriosaamista erityisesti IoT-tekniikkaan nojautuvan vesienhallinnan alueella. Myös laitteiden käytöstä maatalousympäristössä saatiin kokemuksia. Tietoa kehityksen alla olevista järjestelmistä ja niiden tulevaisuuden mahdollisuuksista pystyttiin jakamaan sekä tutkijoille että ns. suurelle yleisölle. Syntyneen osaamisen myötä jatkokehitystä on mahdollista kohdistaa aiempaa tarkemmin tiettyihin osalualueisiin, kuten tiedon hallintaan ja anturoinnin käytännön toteuttamiseen. Hankkeessa tunnistettiin hyvin se, että IoT-tekniikan vieminen maatalousympäristöön on sinänsä melko suoraviivaista, mutta laitteiden ylläpito ja sopeuttaminen viljelytoimia mahdollisimman vähän häiritseviksi on hankalaa. Tämän hankkeen rinnalla kulkeneista yhteistyöhankkeista saatujen kokemusten perusteella yksi jatkokehitystä vaativa kohde on pohjaveden pinnankorkeuden edustava mittaaminen mahdollisimman edullisesti ja vähän ylläpitoa vaativasti. Tällä hetkellä ei ole selkeää yhtenäistä toimintamallia ja tietopohjaa siihen, miten anturit sijoitetaan ja kuinka paljon niitä täytyy olla kappalemääräisesti. On myös havaittu, että anturien välisissä lukemissa saattaa olla huomattavaa vaihtelua pienelläkin alueella. Helppointa olisi, jos yhden salaojakaivon toiminta-alueelle riittäisi yksi pohjavesianturi, jonka sijoitettaisiin salaojakaivoon. Sinne anturi on hyvin helppo asentaa ja se ei haittaa viljelytoimia. Ainoa ongelma on se, että painemittaukseen perustuvat pohjavesianturit eivät saa jäätyä. Kaivossa anturi saattaa jäätyä erityisesti kylminä talvina. Jos anturi sijoitetaan kaivon ulkopuolelle, eli niin sanottuun pohjavesiputkeen, jäätyminen ei ole ongelma, koska anturi voidaan sijoittaa routarajan alapuolelle.

Hankkeen valvonta ja ohjaus toimivat moitteettomasti. Rahoittajan järjestämät webinaarit oli fasilitoitu mainiosti ja ne mahdollistivat osallistumisen ilman matkustusku-
luja ja -aikaa. Jatkossa voisi pohtia vielä sitä, kuinka eri hankkeista tiedottaminen saataisiin linjakkaaksi ja jokainen hanke vastaisi selkeästä kysymykseen: mitä tehdään, miten ja miksi. Ehkä jonkinlainen vakioitu pohja webinaariesitysten alkuosaa varten olisi hyvä.

Hankkeessa saavutettujen tulosten jalkauttaminen käytäntöön riippuu useasta tekijästä. Yleisellä tasolla tarve hankkeessa kehitetylle tekniikalle on ilmeinen. Maa- ja metsätalouden vesienhallinnan kehittäminen kohti valuma-alueitasoista kontrollia edellyttää väistämättä jonkinlaista automaatiota. Automaatio taas tarvitsee toimintalogiikan lisäksi sekä anturoinnin että toimilaitteet. Anturointia on saatavissa jo nykyisin kaupallisesti melko hyvin, mutta toimilaitteista on selkeää pulaa. Toinen merkittävä tekijä tulosten jalkauttamisessa on käyttäjien usko saavutettaviin hyötyihin ja sitä kautta investointihalukkuus. Hyötyjen on oltava konkreettisia, helposti mielletäviä ja mitattavia. Tällä osa-alueella on kehitettävää ja tarvitaan sekä kattavia ja riittävän pitkäkestoisia pilotteja, joissa hyödyt voidaan osoittaa konkreettisesti. Mikäli siinä onnistutaan, niin sekä laitevalmistajien kehityshalukkuus että käyttäjien investointihalukkuus vahvistuvat.

Tutkimuspuolella hankkeen tuloksia hyödynnetään jo muissa hankkeissa (Vesihäisi, PeltoSäätö, Turva) ja myös uusia rahoitushakemuksia on vireillä. Tämän hankkeen tulokset toimivat teknisen evoluution lähtökohtana vesienhallinnan automaation kehityksessä. Aika näyttää kuinka nopeasti kehitys kulkee käytännön tasolla. On selvää, että erilaiset maa- ja metsätalouden IoT-ratkaisut tulevat yleistymään. Tekniikan kehityksen nopeutta yliarvioidaan usein lyhyellä aikavälillä ja aliarvioidaan pitkällä aikavälillä.