



Vaasan yliopisto
UNIVERSITY OF VAASA

Seija Moskajärvi

Cobottien ja konenäön mahdollisuudet pientuottajien kausityössä

Tekniikan ja
innovaatiojohtamisen
akateeminen yksikkö
Diplomityö
Tietojenkäsittelytieteiden
maisteriohjelma

Vaasa 2026

VAASAN YLIOPISTO**Tekniikan ja innovaatiojohtamisen akateeminen yksikkö**

Tekijä:	Seija Moskakjärvi		
Tutkielman nimi:	Cobottien ja konenäön mahdollisuudet pientuottajien kausityössä		
Tutkinto:	Diplomi-insinööri		
Oppiaine:	Automaatio ja tietotekniikka		
Työn ohjaaja:	Timo Mantere		
Valmistumisvuosi:	2026	Sivumäärä:	65

TIIVISTELMÄ:

Automaatio ja robotiikka ovat viime vuosikymmeninä nousseet keskeiseen rooliin teollisuuden ja palvelualojen kehityksessä. Yhteistyörobotit eli cobotit mahdollistavat tuotannon automatisoinnin myös pk-yrityksissä ilman suuria infrastruktuuri-investointeja. Cobotit soveltuvat myös pienimuotoiseen tuotantoon, koska ne ovat turvallisia ja helppokäyttöisiä. Pientuottajien kohdalla teknologian hyödyntäminen on kuitenkin usein haastavaa kustannusten ja järjestelmien monimutkaisuuden vuoksi. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan, kuinka kevyet cobotit ja konenäköjärjestelmät voivat soveltua pientuottajien vaihteleviin ja kausiluonteisiin työtehtäviin, kuten poimintaan, lajitteluun ja pakkaukseen. Tutkimuksessa arvioidaan teknologian siirrettävyyttä, käytettävyyttä ja kokonaiskustannuksia. Tavoitteena on tunnistaa ratkaisuja, jotka tukevat pientuottajien toimintaa tehokkaasti ja kustannusvaikuttavasti.

Tutkimus toteutettiin kirjallisuuskatsaukseen, markkina-analyysiin sekä pientuottajille suunnattuun kyselyyn perustuvana esiselvityksenä. Työssä tarkasteltiin yhteistyörobotiikan ja konenäön keskeisiä teknologioita sekä analysoitiin olemassa olevia cobotti- ja konenäköjärjestelmiä teollisuuden ja maatalouden sovelluksissa. Lisäksi kartoitettiin pientuottajien työtehtäviä, suhtautumista automaatioon sekä mahdollisia käyttöönoton esteitä kyselytutkimuksen avulla. Kerätty aineisto analysoitiin kuvailevaa analyysia hyödyntäen. Näiden tietojen perusteella arvioitiin cobottien ja konenäköjärjestelmien teknistä soveltuvuutta pientuotannon tyypillisiin kausiluonteisiin työtehtäviin, kuten poimintaan, lajitteluun ja pakkaamiseen. Työssä tarkasteltiin myös ratkaisujen siirrettävyyttä, käytettävyyttä ja kustannuksia sekä hahmoteltiin esimerkkiratkaisuna cobottipohjainen monispektriseen konenäköön perustuva kitkentäjärjestelmä. Tutkimus keskittyi teknologian sovellettavuuden ja toteutettavuuden arviointiin, eikä se sisältänyt varsinaisia laitteistokokeita.

Tutkimuksen perusteella cobotit ja konenäkö voivat tarjota pientuottajille mahdollisuuksia automatisoida erityisesti toistuvia ja työvoimavaltaisia työvaiheita. Poiminta, lajittelu ja pakkaaminen tunnistettiin työvaiheiksi, joissa automaatiolla voidaan parantaa tehokkuutta ja vähentää fyysistä kuormitusta. Kyselytutkimuksen perusteella pientuottajat suhtautuvat automaatioon pääosin myönteisesti, mutta käyttöönottoa rajoittavat investointikustannukset, teknisen osaamisen puute sekä epävarmuus teknologian hyödyistä. Teknisen tarkastelun perusteella kevyet yhteistyörobotit yhdistettynä konenäköön voivat muodostaa joustavia ja siirrettäviä automaatiotratkaisuja, jotka soveltuvat pienimuotoiseen ja vaihtelevaan tuotantoon. Tutkimuksen keskeinen johtopäätös on, että cobottipohjainen automaatio voi olla pientuotannossa toteuttamiskelpoinen vaihtoehto, mikäli järjestelmät suunnitellaan helppokäyttöisiksi ja siirrettäviksi. Tulosten perusteella suositellaan, että tulevassa kehitystyössä keskitytään erityisesti modulaarisiin cobottiratkaisuihin, käyttäjäystävällisiin ohjelmointityökaluihin sekä palvelumalleihin, jotka madaltavat pientuottajien investointikynnystä.

AVAINSANAT: Cobotti, konenäkö, automaatio, kausityö, pientuottajat

Sisällys

1	Johdanto	5
2	Teoriatausta: Cobotit, konenäkö, koneoppiminen ja kausityö	7
2.1	Cobottien perusteet ja soveltuvuus	7
2.2	Konenäköjärjestelmien toimintaperiaatteet	12
2.3	Monispektrinen ja hyperspektrinen kuvantaminen maataloudessa	15
2.4	Koneoppimismallit kasviluokittelussa	17
2.5	Maatalousrobotiikan teknologinen kehitys	18
2.6	Pientuottajien haasteet ja kausityön luonne	20
3	Käytännön sovellukset ja markkinatilanne	22
3.1	Aiemmat tutkimukset ja sovellukset cobottien käytöstä maataloudessa	22
3.2	Kaupalliset cobotti- ja konenäköjärjestelmät	24
3.2.1	Fairino cobottiratkaisut	25
3.2.2	Fairino konenäköratkaisut	27
3.2.3	Omron konenäköratkaisut	28
3.3	Vertaileva analyysi aiemmista ratkaisuista	31
4	Tutkimus ja tulokset	36
4.1	Menetelmät	36
4.2	Esikysely	37
4.3	Pientuottajien tarpeiden analyysi	39
4.4	Sovellusarvio	41
4.5	OMRON FHV7 -kameraan perustuvan konenäköratkaisun viitearkkitehtuuri	46
4.6	Käyttöönotto, osaamisvaatimukset ja turvallisuus	50
4.7	Taloudellinen toteutettavuus	51
5	Johtopäätökset ja kehitysehdotukset	53
5.1	Pientuottajien näkemykset suhteessa kirjallisuuteen	53
5.2	Tekninen toteutettavuus: kriittinen arvio	54
5.3	Taloudellinen toteutettavuus	55
5.4	Keskeiset löydökset	57

5.5 Tutkimuksen rajoitukset	57
5.6 Suositukset jatkotutkimukselle	59
Lähteet	60
Liitteet	64
Liite 1. Kysely robotiikasta ja konenäöstä kausitöissä	64

Taulukot

Taulukko 1. Keskeisten automaatioimijoiden vertailu pk-yritysten näkökulmasta	33
Taulukko 2. Esikyselyn keskeiset tulokset (n = 5)	39
Taulukko 3. Sovellusarvio.	46

1 Johdanto

Automaatio ja robotiikka ovat viime vuosina nousseet keskeiseen rooliin teollisuuden ja palvelualojen kehityksessä. Yhteistyörobottien eli cobottien käyttöönotto on yleistynyt erityisesti pk-yrityksissä, joissa pyritään lisäämään tuottavuutta ilman suuria infrastruktuuri-investointeja. Cobottien turvallisuus ja helppokäyttöisyys mahdollistavat niiden käytön myös pientuotannossa. Suuremmilla toimijoilla teknologian hyödyntäminen on arkipäivää, mutta pientuottajille käyttöönotto voi olla haasteellista korkeiden kustannusten ja monimutkaisuuden vuoksi.

Keskeisenä tavoitteena on selvittää, millaisiin kausiluonteisiin työtehtäviin pientuottajien toiminnassa cobotteja ja konenäköä voidaan tehokkaasti soveltaa sekä arvioida ratkaisujen siirrettävyyttä, helppokäyttöisyyttä ja kokonaiskustannuksia. Tutkimus tehdään yhteistyössä automaatio- ja robotiikkaratkaisuja tarjoavan salolaisen DA-teamin kanssa. Tavoitteena on kartoittaa markkinapotentiaalia ja kannattavuutta uuden palveluratkaisun tarjoamiselle paikalliselle (Salon seutu) pientuottajasektorille, jossa yhdistyvät cobotit ja konenäkö. Yrityksen näkökulmasta on olennaista ymmärtää, millaisia vaatimuksia siirrettävyys, helppokäyttöisyys ja kustannustehokkuus asettavat teknologialle ja palvelumallille.

Ensimmäisessä vaiheessa kartoitetaan olemassa olevat cobotti- ja konenäkösovellukset teollisuuden ja maatalouden eri aloilta. Tarkastelun kohteena on teknologioiden soveltuvuus erityisesti toistuviin ja fyysisesti kuormittaviin tehtäviin, kuten poimintaan, lajitteluun ja pakkaukseen, jotka ovat tyypillisiä pientuottajien toimintaympäristössä. Tutkimuksessa kiinnitetään huomiota kevyiden yhteistyörobottien ja konenäköjärjestelmien nykyisiin ratkaisuihin sekä niiden rajoituksiin ja käyttömahdollisuuksiin.

Seuraavaksi keskitytään paikallisten pientuottajien tarpeiden ja asenteiden kartoittamiseen automaation ja robotiikan suhteen. Tämä toteutetaan kyselyiden ja

haastattelujen avulla, joiden kautta saadaan tietoa käyttäjien teknisestä osaamisesta, teknologian hyväksyttävyydestä sekä käyttöönottoa mahdollisesti rajoittavista tekijöistä. Lisäksi selvitetään pientuottajien odotuksia ja vaatimuksia cobottien ja konenäön käytölle, jotta teknologiaratkaisut voidaan räätälöidä vastaamaan heidän todellisia tarpeitaan.

Kolmannessa vaiheessa arvioidaan valittujen kausiluonteisten työtehtävien, kuten poiminnan ja lajittelun, automatisoinnin taloudellista kannattavuutta. Samalla tarkastellaan, miten siirrettävyys ja helppokäyttöisyys vaikuttavat kokonaiskustannuksiin ja käyttöönoton mielekkyyteen pientuottajien näkökulmasta.

Lopuksi työssä esitetään konkreettiset suositukset sovelluskohteista sekä mahdollisista palvelumalleista. Suositukset perustuvat tutkimustuloksiin ja analyysiin, ja niiden tarkoituksena on tukea pientuottajien työtehtävien tehostamista sekä teknologian käytännön soveltamista.

Työ on soveltava ja dokumenttipohjainen selvitys, joka ei sisällä laitteiston fyysistä testausta tai kehitystyötä. Pientuottajien tarpeiden kartoitus perustuu kysely- ja haastattelumenetelmiin. Työn rakenne etenee teoriapohjasta olemassa olevien ratkaisujen analyysiin, pientuottajien tarpeiden kartoittamiseen sekä tulosten ja havaintojen esittelyyn.

Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi työssä vastataan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Mihin työtehtäviin cobotteja ja konenäköä voidaan soveltaa pientuottajien kausitöissä?
- Kuinka siirrettäviä ja helppokäyttöisiä nämä ratkaisut voivat olla pientuottajien toimintaympäristöissä?
- Millainen on cobotti- ja konenäköratkaisujen taloudellinen kannattavuus pientuottajien näkökulmasta?

2 Teoriatausta: Cobotit, konenäkö, koneoppiminen ja kausityö

2.1 Cobottien perusteet ja soveltuvuus

Käsite yhteistyörobotiikasta eli coboteista (collaborative robots) viittaa robottijärjestelmiin, jotka on suunniteltu työskentelemään läheisessä vuorovaikutuksessa ihmisen kanssa, usein suojakaiteiden tai erillisten turva-aitojen sijaan (Malm ja muut, 2019).

Cobottien etuna on, että ne voivat pienemmällä tilantarpeella ja usein joustavammin integroitua yksikkö- tai pientuotantoympäristöihin kuin perinteiset teollisuusrobotit (Villani ja muut, 2018). Cobottien käyttöönotto on yleistynyt erityisesti pk-yrityksissä, joissa pyritään lisäämään tuottavuutta ilman suuria infrastruktuuri-investointeja (Innovando, 2024).

Cobotit soveltuvat hyvin etenkin toistuviin, vaarallisiin tai ergonomisesti kuormittaviin tehtäviin: ne voivat esimerkiksi avustaa tuotannossa, pakkaamisessa, lajittelussa tai siirroissa. Lisäksi niiden turvallisuus- ja helppokäyttöisyysmahdollisuudet mahdollistavat käyttöönottoa myös pienemmässä mittakaavassa (Innovando, 2024).



Kuva 1. Yhteistyörobotin ohjelmointia ja käyttöä opetustilanteessa (PTE MIK, 2021). Lähde: Wikimedia Commons (CC BY-SA 4.0).

Kuvassa 1 esitetään yhteistyörobotin käyttöä opetustilanteessa, jossa robottia ohjataan ja testataan ihmisen kanssa samassa työtilassa. Kuva havainnollistaa yhteistyörobotin keskeistä ominaisuutta, eli kykyä toimia turvallisesti ihmisen läheisyydessä ilman perinteisiä turvarakenteita. Tällainen vuorovaikutus on keskeinen tekijä cobottien soveltuvuudessa pientuotantoon ja joustaviin työympäristöihin.

Kuitenkin cobottien käyttöönottoon liittyy erityisiä vaatimuksia. On arvioitava esimerkiksi turvallisuusnormit, ihmisen ja robotin välinen vuorovaikutus, käyttöliittymät, ohjelmointi- ja huolto-osaaminen sekä investoinnin takaisinmaksu. Näin ollen pientuottajien näkökulmasta cobottien potentiaali on lupaava — mutta toteutuksen onnistuminen edellyttää huolellista suunnittelua, helppokäyttöisiä ratkaisuja ja palvelumallia, joka huomioi pientuottajan resurssit.

Yhteistoiminnallisen robottisolun turvallistamisen keinot riippuvat ensisijaisesti solussa käytettävän robotin ominaisuuksista. Jos käytössä on luontaisesti turvallinen robotti, usein nimeltään yhteistyörobotti, riskien arvioinnin lähtökohtana on robotin mahdollinen törmäys ihmiseen. Sovellus toteutetaan tällöin ilman erillisiä turvalaitteita, ja riskikartoituksessa keskitytään arvioimaan törmäyksen aiheuttaman vahingon vakavuutta, ei niinkään törmäyksen todennäköisyyttä (Latokartano, J., 2023, s.112).

Tekninen spesifikaatio ISO TS 15066 ohjeistaa arviointia muun muassa törmäyskohtien mukaan. Törmäyksen turvallisesti tekeminen edellyttää robotin törmäysvoiman rajoittamista, esimerkiksi rajoittamalla robotin massaa ja nopeutta sekä vaimentamalla törmäystä laajentamalla pinta-alaa ja pehmustamalla pintoja. Riskikartoitus tulee aina tehdä valmiille sovellukselle, sillä yhteistoiminnallisen robotin käyttö sinänsä ei takaa sovelluksen turvallisuutta. Lisäksi myös työkalujen, lisälaitteiden ja prosessin täytyy olla käyttäjälle turvallisia (Latokartano, 2023, s. 112–113).

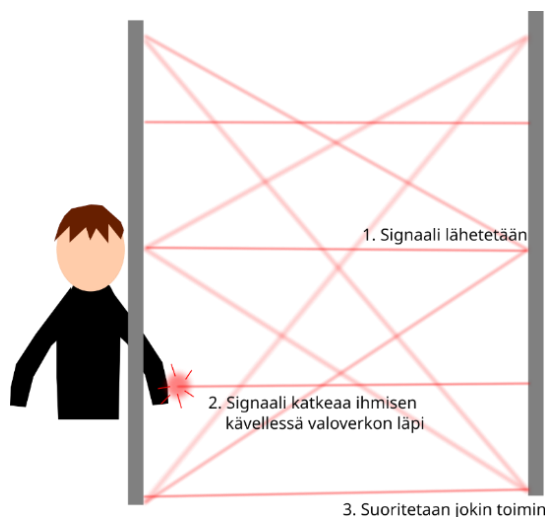
Standardi SFS-EN ISO 10218-2 määrittelee ihmisen ja robotin yhteistyölle neljä eri toteutustapaa, joista yksinkertaisin on turvaluokiteltu valvottu pysäytys. Tämän mukaan

robotin on pysähdyttävä, kun ihminen on yhteisessä työtilassa, ja ihmisen poistuessa robotti voi jatkaa automaattista toimintaa. Mikäli robotti liikkuu ihmisen ollessa alueella, se aiheuttaa suojapysähdysten (Latokartano, 2023, s. 113).

Turvaluokiteltu valvottu pysäytys mahdollistaa aidan poistamisen robotin ympäriltä, jolloin ihmisen pääsy alueelle on joustavampaa ja robotin toiminta nopeutuu, sillä ihmisen poistuessa alueelta ei tarvitse erikseen kuitata poistumista, kun se voidaan todeta turvalaitteiden, kuten laserturvaskannerin tai valoverhon avulla (Latokartano, 2023, s. 113–114).

Turvaskanneri ja valoverho ovat yleisesti käytettyjä koneturvallisuuskomponentteja, jotka suojaavat ihmisiä ja koneita vaaratilanteissa. Turvaskanneri on laserpohjainen laite, joka mittaa ympäristönsä vaiheittain lähettämällä laserpulseja ja vastaanottamalla niistä heijastuneita signaaleja. Näin se tunnistaa alueelle tulevat esineet tai henkilöt ja voi pysäyttää koneen tai rajoittaa sen toimintaa ennen vaaratilanteen syntymistä (Shepard, 2024).

Valoverho puolestaan koostuu useista rinnakkaisista infrapunavalosäteistä, jotka muodostavat suojaavan turvaesteen. Mikäli jokin esine tai henkilö katkaisee tämän valon, valoverho laukaisee turvatoimenpiteen koneen pysäyttämiseksi (Shepard, 2024). Valoverhon muodostama optinen turva-alue ja sen toiminta häiriötilanteessa esitetään kuvassa 2.



Kuva 2. Valoverhon toimintaperiaate, jossa valosäteiden katkeaminen aktivoi turvatoiminnon (PetjaTouru, 2012). Lähde: Wikimedia Commons (CC BY-SA 3.0).

Kuvassa 2 havainnollistetaan valoverhon toimintaperiaatetta, jossa useista rinnakkaisista valosäteistä muodostuu näkymätön turva-alue koneen ja käyttäjän väliin. Läpäisy missä tahansa kohdassa aiheuttaa turvatoimenpiteen aktivoitumisen. Tämä tekee valoverhosta erityisen soveltuvan tilanteisiin, joissa tarvitaan nopeaa reagointia ja selkeästi rajattua turva-aluetta. Pientuotannon näkökulmasta valoverho mahdollistaa koneen käytön ilman fyysisiä suojarakenteita, mikä parantaa työskentelyn joustavuutta.

Molemmat laitteet mahdollistavat ihmisen pääsyn koneiden työalueelle turvallisesti ja tukevat joustavan ja tehokkaan tuotannon toteuttamista. Näiden turvalaitteiden käyttö vähentää onnettomuusriskejä ja parantaa työympäristön turvallisuutta merkittävästi (Shepard, 2024).

Standardissa määritellään myös käsin ohjaaminen automaattiajon aikana. Robotin ohjelmointia käsin ohjaamalla ei aina katsota varsinaiseksi käsinohjaukseksi, koska usein käytössä on sallintalaite tai vastaava toiminto robotin käsiohjaimessa. Yhteistyörobottien voimantunnistus mahdollistaa käsinohjauksen ilman erillisiä laitteita, mutta suurilla roboteilla tarvitaan erillinen käsinohjauslaite työkalun läheisyydessä, joka sisältää

hätäpysäytys- ja sallintalaitteen. Käsinohjauksen aikainen turvaluokiteltu valvottu nopeus määritetään riskien arvioinnin perusteella (Latokartano, 2023, s. 114).

Turvaluokitellun valvotun pysäytyksen laajenuksena toimii nopeuden ja vähimmäisetäisyyden valvonta. Ihmisen sijaintia suhteessa robottiin valvotaan, jolloin robotti ylläpitää määritettyä nopeutta ja vähimmäisetäisyyttä käyttäjään. Suuremmalla etäisyydellä sallitaan suurempi nopeus, lähestyttäessä nopeutta hidastetaan ja raja-arvon alittuessa robotti pysähtyy (Latokartano, J., 2023, s.113).

Turvallista vähimmäisetäisyyttä laskettaessa huomioidaan käyttäjän ja robotin välinen suhteellinen nopeus. Vähimmäisetäisyyksiä koskevat vaatimukset on esitetty standardissa SFS-EN ISO 13855, ja valvonta ja rajoitukset toteutetaan määräykset täyttävillä turvalaitteilla. Käytetyt arvot määritellään sovellusjärjestelmän suunnittelun aikana ja dokumentoidaan laitteiston käyttöohjeisiin (Latokartano, J., 2023, s.115).

Yhteistyöroboteiksi kutsuttujen laitteiden tulee täyttää standardin mukaiset vaatimukset tehon ja voiman rajoittamisesta luontaisesti turvallisella suunnittelulla tai ohjauksella siten, että robotin törmäys ihmiseen on kaikissa tilanteissa vaaraton. Pelkkä rakenteellinen suunnittelu, kuten keveys ja pehmeät muodot, ei yleensä riitä teollisissa sovelluksissa, joten turvallisuus perustuu myös ohjausteknisiin ratkaisuihin tehon ja voiman rajoittamiseksi. Tämä tapahtuu rajoittamalla robotin käyttämää voimaa ja nopeutta, joita valvotaan servovirtojen mittauksella tai erillisillä voima-antureilla. (Latokartano, J., 2023, s.115).

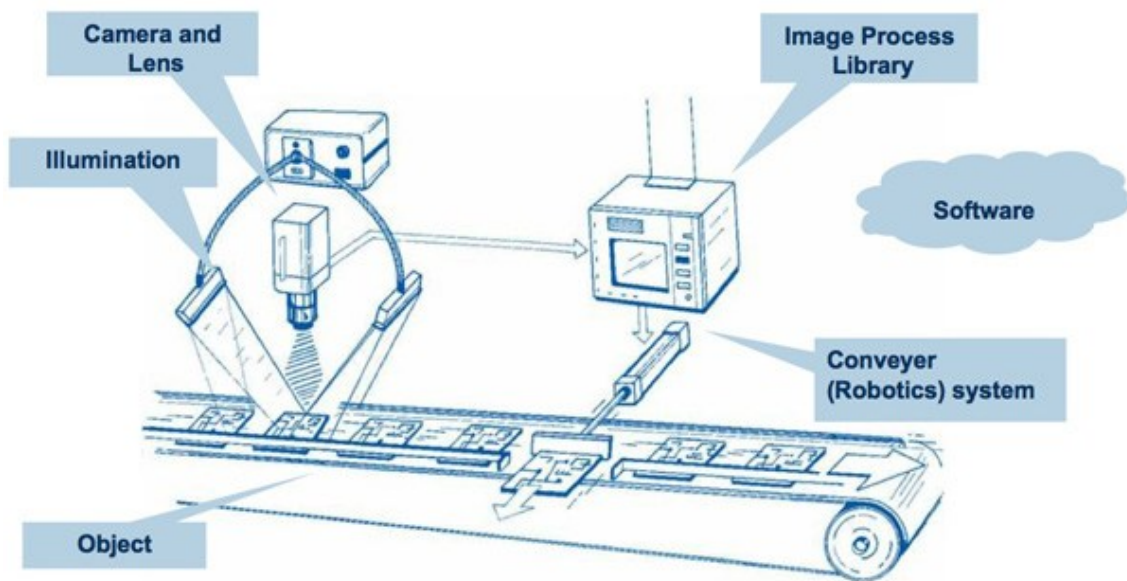
Toimintojen valvonta ja rajoittaminen toteutetaan erillään robotin ohjelman suorittamisesta. Käytetyt arvot dokumentoidaan laitteiston käyttöohjeissa, ja niiden muokkaus estetään käyttäjältä yleensä salasanalla. Turvallistamisen suunnittelussa hyödynnetään standardia SFS-EN ISO 10218-2 yhdessä ISO/TS 15066 -spesifikaation kanssa (Latokartano, J., 2023, s.113).

Voima-anturi on pieni elektroninen laite, joka mittaa siihen kohdistuvaa työntö- tai vetovoimaa muuttamalla fysikaalisen paineen sähköiseksi signaaliksi. Anturin sisällä on esimerkiksi ohut metallin- tai kristallinpala, joka taipuu tai muuttaa muotoaan voiman vaikutuksesta. Tämä muutos muuttaa anturin sisäisiä suureita, kuten vastusta tai jännitettä, ja anturi muuntaa tämän numeeriseksi arvoksi, joka kertoo mitatun voiman suuruuden (Ariat Technology, 2025).

2.2 Konenäköjärjestelmien toimintaperiaatteet

Konenäkö tarkoittaa laite- ja ohjelmistoratkaisuja, joissa kamera tai anturi yhdessä kuvankäsittelyalgoritmien kanssa mahdollistaa koneelle tai robotille visuaalisen ohjauksen. Tyypillinen konenäköjärjestelmä toimii vaiheittain: ensin anturi tai kamera ottaa kuvan tai videon, jonka jälkeen kuvadata esikäsitellään esimerkiksi valaisun, suodatuksen ja segmentoinnin avulla. Tämän jälkeen algoritmit tunnistavat tai paikantavat kohteet ja tekevät päätöksiä, kuten luokittelevat tuotteita tai ohjaavat robottivartta (Biba, 2023).

Konenäköjärjestelmän toiminta voidaan kuvata vaiheittaisena prosessina, jossa kuvadata kerätään, käsitellään ja hyödynnetään päätöksenteossa. Tätä kokonaisuutta havainnollistetaan kuvassa 3.



Kuva 3. Konenäköjärjestelmän toimintaperiaate, jossa kuva muodostetaan kameralla, käsitellään ohjelmistossa ja hyödynnetään automaation ohjauksessa (European Editors, 2011). Lähde: Wikimedia Commons (CC BY-SA 3.0).

Kuvasta 3 nähdään, kuinka konenäköjärjestelmä koostuu useista peräkkäisistä vaiheista, joissa raakadata muunnetaan käyttökelpoiseksi tiedoksi automaation ohjausta varten.

Konenäkö lisää automaation joustavuutta, sillä robotti ei ole enää sidottu kiinteisiin, mekaanisesti asetettuihin kappaleisiin. Kamera voi havaita kappaleita eri asennoissa, kokoisina tai muotoisina ja ohjata robottia niiden mukaan. Samalla järjestelmä voi parantaa laadunvalvontaa ja jäljitettävyyttä mahdollistamalla erilaisten havaintojen, kuten kohteiden tunnistamisen, sijainnin määrittämisen ja laadun tarkastelun (Siltala & Gautam, 2023, s. 172).

Järjestelmän onnistunut toiminta edellyttää huolellista teknistä toteutusta. Valaistus, optiikka ja ympäristöolosuhteet, kuten heijastukset ja taustan vaihtelu, voivat vaikuttaa tunnistuksen tarkkuuteen ja luotettavuuteen. Kun konenäkö yhdistetään cobottiin, syntyy ratkaisu, joka pystyy sopeutumaan vaihtelevaan tuotantoon ja erilaisiin työtehtäviin, mikä tekee siitä erityisen kiinnostavan pientuottajien tarpeisiin (Siltala & Gautam, 2023, s. 172).

Konenäköjärjestelmän perusosat koostuvat kuvausyksiköstä (kamerat, optiikka ja valaistus) sekä kuvankäsittelyohjelmistoista, jotka analysoivat kuvia ja tekevät päätöksiä. Älykamerat yhdistävät kameran ja prosessoinnin kompaktiksi kokonaisuudeksi, kun taas erillisissä järjestelmissä kuvat siirretään ulkoisille laskenta-alustoille (Siltala & Gautam, 2023, s. 174).

Valaistus on keskeinen tekijä: sen avulla saadaan esiin tärkeät kohteen piirteet ja varmistetaan luotettava aineiston laatu. Valaisimet valitaan kohteen, ympäristön ja mittausvaatimusten mukaan; tyypillisiä valaistusmenetelmiä ovat LED-, laser- ja diffuusialo käyttöä käyttävät ratkaisut (Siltala & Gautam, 2023, s. 175–177).

Optiikalla on tärkeä rooli kuvan laadun ja mittaustarkkuuden varmistamisessa. Kamera ja linssi valitaan kohteeseen ja sovellukseen sopiviksi, usein mukaan lukien zoom- tai liquid-linssit sekä erilaiset suodattimet. Kamera voi olla perinteinen väri- tai harmaasävykamera, infrapunakamera tai erikoiskamera, ja sen anturitekniikka vaihtelee CCD- tai CMOS-pohjaisista kennoista (Siltala & Gautam, 2023, s. 180–181).

Ohjelmistopuolella käytetään kuvankäsittelykirjastoja, jotka sisältävät toimintoja kuten reunojen etsintä, binarisaatio, mallintaminen ja ominaisuuksien mittaus. Viime aikoina tekoäly- ja koneoppimismenetelmät ovat tulleet merkittäviksi, erityisesti monimutkaisissa sovelluksissa, joissa perinteiset algoritmit eivät riitä (Siltala & Gautam, 2023, s. 182–183).

3D-konenäkö yleistyy erityisesti robotisaatiossa; 3D-mittausmenetelmiä ovat esimerkiksi stereokamera, Time-of-Flight (ToF) -kamera sekä valon projisointiin perustuvat mittaukset. 3D-data mahdollistaa korkean tarkkuuden ja joustavuuden kappaleiden mittaamiseen ja tunnistamiseen (Siltala & Gautam, 2023, s. 184–187).

Konenäköprojektissa määritellään tarkasti kohteen tarpeet, sovellusympäristö ja mittausvaatimukset. Projektin kulku sisältää lähtötietojen hankinnan, järjestelmän suunnittelun (kamerat, optiikka, valaistus, ohjelmistot), toteutuksen, käyttöönoton, testauksen ja dokumentoinnin. Näin konenäköteknologiat voivat mahdollistaa tuotannon automatisoinnin, laadunvarmistuksen ja robottien ohjauksen entistä tehokkaammin ja tarkemmin (Siltala & Gautam, 2023, s. 173).

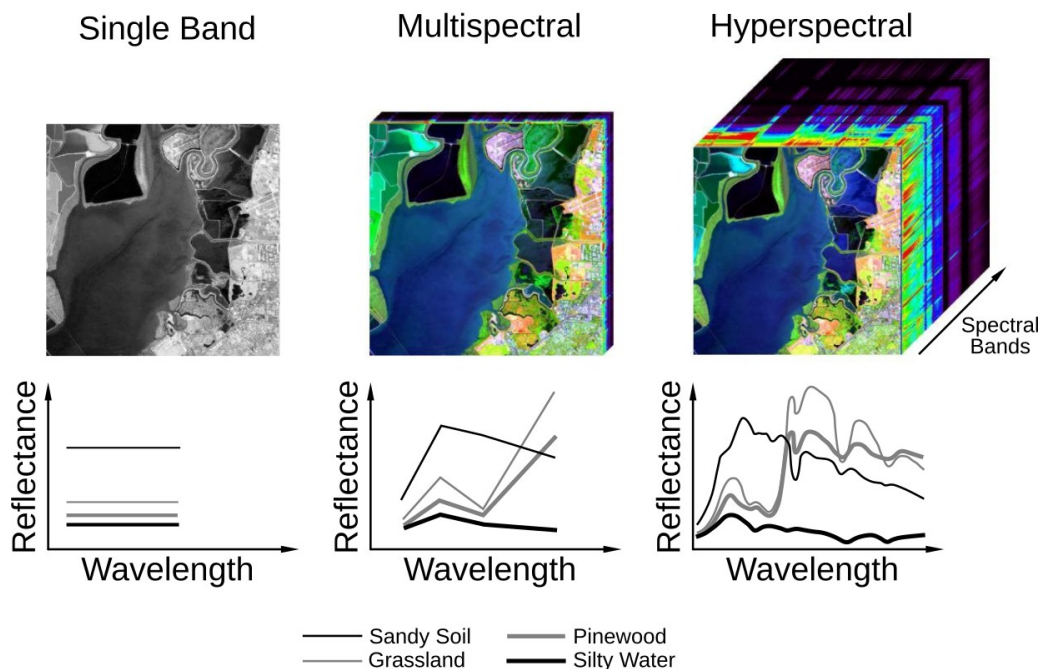
Liikutettavassa konenäkö- ja cobottiratkaisussa on huomioitava eri työtehtävien olosuhteet konenäön käytölle. Valaistuksen on oltava optimaalinen jokaisessa työvaiheessa, jossa konenäköä käytetään. Lisäksi on arvioitava, onko konenäkö tarpeen kaikissa työtehtävissä vai hyödynnetäänkö sitä vain osassa cobotin tehtävistä sekä miten se sijoitetaan järjestelmään.

2.3 Monispektrinen ja hyperspektrinen kuvantaminen maataloudessa

Konenäköjärjestelmät maataloudessa hyödyntävät usein kasvien spektriominaisuuksia eri aallonpituusalueilla. Kasvien heijastus- ja absorptio-ominaisuudet vaihtelevat pigmenttikoostumuksen, lehtirakenteen ja vesipitoisuuden mukaan. Klorofylli absorboi voimakkaasti sinistä ja punaista valoa, mutta heijastaa vihreää, ja terve kasvusto heijastaa voimakkaasti lähi-infrapuna (NIR, near-infrared). NIR-alueen heijastusominaisuuksia voidaan hyödyntää kasvien fysiologisen tilan arvioinnissa, sillä terve kasvusto tuottaa selvästi voimakkaamman NIR-heijastuksen kuin stressaantunut tai vaurioitunut kasvusto (Li ja muut, 2014 ; Zhang & Kovacs, 2012).

Monispektri- ja hyperspektrikuvantaminen mahdollistavat lajikohtaisen erottelun ja rikkakasvien tunnistamisen viljelykasveista. Hyperspektrikuvantamisessa jokaisesta kuvapistestä mitataan kapea spektrijakauma useilla peräkkäisillä aallonpituuskaistoilla, jolloin kuvadata muodostaa kolmiulotteisen datakuution (x, y, λ) , jossa λ kuvaa

aallonpituutta (Li ja muut, 2014). Kuvassa 4 esitetään hyperspektridatan rakenne datakuutiona sekä spektristen signatuurien muodostuminen.



Kuva 4. Yksikaistaisen, monispektrisen ja hyperspektrisen kuvantamisen vertailu sekä hyperspektridatan datakuutio ja spektriset signatuurit (Lucasbosch, 2021). Lähde: Wikimedia Commons (CC BY-SA 4.0).

Kuvasta 4 voidaan havaita ero yksikaistaisen, monispektrisen ja hyperspektrisen kuvantamisen välillä. Yksikaistainen kuvantaminen sisältää vain rajallisen määrän informaatiota, kun taas monispektrikuvaus hyödyntää useita erillisiä aallonpituusalueita. Hyperspektrikuvantamisessa informaation määrä kasvaa merkittävästi, sillä jokaiselle pikselille muodostetaan lähes jatkuva spektrinen signatuuri useilla kapeilla aallonpituuskaistoilla. Tämä mahdollistaa tarkemman materiaalien ja kasvilajien erottelun sekä fysiologisten ominaisuuksien analysoinnin.

Näin jokaiselle pikselille voidaan muodostaa yksityiskohtainen spektrinen signatuuri, jota voidaan hyödyntää biologisten, kemiallisten ja fysikaalisten ominaisuuksien tunnistamisessa. Menetelmä tuottaa huomattavasti enemmän informaatiota kuin perinteinen RGB-kuvantaminen, koska se kattaa laajemman osan sähkömagneettisesta

spektristä ja mahdollistaa aineiden ominaispiirteiden tarkemman analyysin (Herrala, 2017).

Kasvien spektriominaisuuksien vaihtelu mahdollistaa lajikohtaisten erojen tunnistamisen eri aallonpituusalueilla (Li ja muut, 2014; Zhang & Kovacs, 2012). Tämän vuoksi tietyillä spektrialueilla esiintyvät heijastuserot voivat paljastaa lajikohtaisia piirteitä, joita visuaalisesti samankaltaisista kasveista ei muuten erottaisi. Erityisesti UV- ja NIR-alueilla esiintyvät spektriset erot voivat helpottaa viljelykasvien ja rikkakasvien erottelua. Monispektrikuvantamiseen perustuva konenäkö voi näin muodostaa kasveille niin sanottu spektrinen sormenjälki, jota koneoppimismallit voivat hyödyntää rikkakasvien automaattisessa tunnistuksessa (Lamb ja muut, 2017).

Cobottien ja autonomisten järjestelmien avulla kuvantamisjärjestelmät voidaan yhdistää mekaaniseen kitkentään tai muuhun tarkkaan maataloustyöhön. Sensoripohjainen robotiikka mahdollistaa esimerkiksi automaattisten kitkentärobottien toteuttamisen, jossa konenäköjärjestelmät ohjaavat mekaanista toimintaa kasvin ja rikkakasvin tunnistuksen perusteella.

Käytännössä järjestelmien tarkkuutta rajoittavat valaistusolosuhteiden vaihtelu, käsittelynopeus ja kustannukset, mikä asettaa haasteita sovellettavuudelle laajassa mittakaavassa. Näiden rajoitteiden hallinta on keskeistä, jotta teknologia voidaan integroida tehokkaasti maatalouden automaatiojärjestelmiin.

2.4 Koneoppimismallit kasviluokittelussa

Kasviluokittelussa koneoppimismallit ovat keskeisessä roolissa, erityisesti monispektri- ja hyperspektrikuvantamisen tulkinnessa. Syväoppimismenetelmistä erityisesti konvoluutiohermoverkot (CNN, convolutional neural networks) ovat osoittautuneet tehokkaiksi kasvien ja rikkakasvien tunnistuksessa, sillä ne kykenevät automaattisesti

oppimaan kuvien keskeiset piirteet ilman käsin määriteltyjä ominaisuuksia (LeCun ja muut, 2015).

Transfer learning eli siirto-opetus on hyödyllinen menetelmä, kun käytettävissä on rajallinen määrä koulutusdataa. Siirto-opetuksessa valmiiksi koulutettu malli (esimerkiksi ImageNetin päällä koulutettu CNN) hienosäätetään kasviluokittelutehtävään, mikä nopeuttaa oppimista ja parantaa tarkkuutta (Pan & Yang, 2010).

Data augmentation -menetelmillä voidaan keinotekoisesti kasvattaa koulutusdatan määrää ja monimuotoisuutta esimerkiksi kiertämällä, peilaamalla tai skaalaamalla kuvia. Tämä auttaa vähentämään ylisovittumisen riskiä, eli tilannetta, jossa malli oppii liiaksi koulutusdatan yksityiskohdat eivätkä yleisty uusiin kuviin (LeCun ja muut, 2015).

Domain shift on keskeinen haaste kasviluokittelussa: koulutus- ja testidatan jakautuminen voi poiketa esimerkiksi valaistusolosuhteiden, kasvuston tiheyden tai eri sensorien vuoksi. Tämä voi johtaa mallin suorituskyvyn heikkenemiseen todellisissa käyttötilanteissa (Wang ja muut, 2020). Domain shiftin hallintaan voidaan käyttää esimerkiksi datan normalisointia, fine-tuningia (hienosäätöä) ja domain adaptation -menetelmiä, joiden avulla malli sopeutetaan uusiin olosuhteisiin erityisesti maatalouden sovelluksissa (Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018).

2.5 Maatalousrobotiikan teknologinen kehitys

Maatalousrobotiikka on kehittynyt nopeasti viime vuosina, ja sen sovellukset kattavat muun muassa automaattisen istutuksen, sadonkorjuun ja rikkakasvien torjunnan (Duckett ja muut, 2018; Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018). Erityisesti tekoälyä hyödyntävät automaattiset järjestelmät rikkakasvien torjunnassa ovat nousseet keskeiseksi sovellusalueeksi. Viime vuosien tutkimuksessa on kehitetty useita prototyyppiratkaisuja, jotka yhdistävät konenäön, GPS-paikannuksen ja autonomisen liikkumisen mekaaniseen kitkentaan tai täsmäruiskutukseen.

Esimerkiksi kevyitä autonomisia kenttärobotteja, jotka tunnistavat rikkakasveja 3D-konenäön avulla ja käyttävät mekaanista työkalua taimenpoistoon, on demonstroitu laboratorio- ja kenttäolosuhteissa (Kotaniemi ja muut, 2025). Samoin laserpohjaisia rikkakasvien torjuntajärjestelmiä on tutkittu algoritmisesti ja suunnittelutasolla prototyyppinä, jotka pystyvät navigoimaan hankalassa maastossa ja kohdistamaan laserenergiaa rikkakasvien poistoon .

Tieteellisessä kirjallisuudessa on tunnistettu, että suurin osa nykyisestä rikkakasvien tunnistus- ja torjuntakonseptien kehityksestä on vielä proof-of-concept-tasolla: niillä saavutetaan lupaavia tuloksia, mutta ne vaativat lisätutkimusta ja kenttätestejä ennen laajamittaista käyttöönottoa. Haasteina ovat esimerkiksi navigoinnin tarkkuus kunnolla haastavissa olosuhteissa, eri kasvuolosuhteiden vaihteluiden hallinta sekä robotin tehokkuus ja kestävyys viljelykäytössä (Zhang ja muut, 2022).

Kaupallisia rikkakasvirobotteja on kuitenkin jo tuotu markkinoille ja otettu käyttöön rajoitetusti. Esimerkiksi tekoälyohjatut precision sprayer -järjestelmät hyödyntävät tekoälyä sekä kamera- ja anturijärjestelmiä tunnistukseen yksittäiset rikkakasvit ja ruiskuttaakseen kasvinsuojeluaineita vain niihin, mikä vähentää kemikaalin käyttöä merkittävästi ja parantaa tarkkuutta (Wang ja muut, 2025). Toisaalta laserpohjaiset kaupalliset robotit, jotka poistavat suuria määriä rikkakasveja nopeasti, on lanseerattu suurten tilojen käyttöön Pohjois-Amerikassa ja Euroopassa, mikä osoittaa, että teknologia on siirtymässä laboratorioista kentälle ja kaupalliseen käyttöön.

Erot tutkimusprototyyppien ja kaupallisten ratkaisujen välillä ovat selkeät: prototyyppit ovat usein vielä kokeilu- tai testivaiheessa, joissa painopiste on teknologiavalmiuden näyttämässä kontrolloiduissa olosuhteissa ja tutkimusartikkeleissa esitellyissä demosovelluksissa. Ne sisältävät usein uusia lähestymistapoja tunnistukseen, navigointiin tai torjuntamekanismeihin (Kotaniemi ja muut, 2025). Kaupalliset ratkaisut

ovat usein valmiita ja integroituneita järjestelmiä, joita voidaan käyttää suoraan viljelyssä ja jotka on testattu todellisissa peltokäytön olosuhteissa.

Yhteenvetona voidaan todeta, että vaikka rikkakasvirobotit ovat teknisesti pitkällä, tutkimus- ja tuotekehitysyhteisöjen prototyyppien ja laajamittaisten kaupallisten järjestelmien välillä on vielä merkittäviä eroja varmistuksessa, skaalautuvuudessa ja käytännön tuotantoympäristöissä toteutettavassa automaatiassa.

2.6 Pientuottajien haasteet ja kausityön luonne

Pientuottajilla tarkoitetaan paikallisia toimijoita, joiden tuotanto on tyypillisesti pienimuotoista ja kausiluonteista. Automaatioon liittyvä investointikynnys on usein korkea: ratkaisut edellyttävät alkuinvestointeja, ylläpitoa ja osaamista, mikä on merkittävä haaste rajallisilla resursseilla toimiville yrityksille (Karttunen, 2019; Luonnonvarakeskus, n.d.). Tämän vuoksi rahoitus- ja tukimekanismit (esim. julkiset tuet, EU-hankkeet ja yhteisrahoitus) sekä yhteiskäyttömallit tuottajaryhmien kesken voivat madaltaa kynnystä ja parantaa laitteiden käyttöastetta – erityisesti tilanteissa, joissa yksittäisen tilan investointi ei muuten olisi kannattava.

Tuotannon kausiluonteisuus aiheuttaa vaihtelua työvoimatarpeessa ja prosesseissa, mikä vaikeuttaa pysyvän automaation kannattavuutta. Tähän haasteeseen vastaavat modulaariset ja nopeasti käyttöönotettavat ratkaisut, jotka on mahdollista siirtää työvaiheesta ja tilasta toiseen ilman laajoja muutostöitä. Vastaavasti vuokraus- ja palveluperusteinen malli (robot-as-a-service, RaaS) sekä jaettu käyttö useiden toimijoiden kesken voivat nostaa käyttöastetta sesonkihuippujen aikana ja alentaa kokonaiskustannuksia.

Monilla pientuottajilla on rajallista osaamista robotien ohjelmoinnista ja käytöstä, minkä vuoksi helppokäyttöisyys, siirrettävyys ja käytännön koulutus ovat keskeisiä edellytyksiä

teknologian omaksumiselle (Hautala ja muut, 2021). Osaamisen lisäksi on huomioitava datan hallinta ja tietoturva, sillä automaation myötä tuotantodataa kertyy ja sen suojaaminen, varmuuskopiointi ja vastuukäytännöt muodostuvat osaksi käyttöönoton vaatimuksia. Lyhyet, käytännönläheiset koulutukset ja selkeät toimintamallit auttavat varmistamaan, että teknologia voidaan ottaa käyttöön tehokkaasti ja turvallisesti.

3 Käytännön sovellukset ja markkinatilanne

3.1 Aiemmat tutkimukset ja sovellukset cobottien käytöstä maataloudessa

Yhteistyörobottien eli cobottien käyttöönotto maataloudessa on yleistymässä, ja tutkimukset korostavat niiden potentiaalia parantaa tuottavuutta, turvallisuutta ja työergonomiaa erityisesti pk-yrityksissä. Cobottien kyky toimia turvallisesti ihmisen rinnalla ilman raskaita turvarakenteita tekee niistä kiinnostavan vaihtoehdon perinteisille automatisointiratkaisuille, joissa tarvitaan usein suuria investointeja ja monimutkaisia järjestelyjä.

Maatalous on perinteisesti ollut työvoimavaltainen ala, jossa toistuvat, raskaat ja tarkkuutta vaativat tehtävät kuormittavat työntekijöitä. Robottiikan soveltaminen maatalouden työvaiheisiin, kuten sadonkorjuuseen ja lajitteluun, on herättänyt kiinnostusta erityisesti teknologian joustavuuden vuoksi. Automaattiset järjestelmät voivat sopeutua erilaisiin viljelykasveihin, sesonkeihin ja vaihteleviin olosuhteisiin, mikä tekee niistä potentiaalisia apuvälineitä pientuotantoon ja erikoistuneeseen viljelyyn (Backman, 2020).

Lisäksi robotiikan yhdistäminen konenäköjärjestelmiin voi parantaa laadunvalvontaa ja nopeuttaa prosesseja. Esimerkiksi konenäön avulla robotti voi tunnistaa kypsät hedelmät tai kasvien kunnon, mikä mahdollistaa tarkemman poiminnan (Luonnonvarakeskus, n.d.).

Maatalousteknologian digitalisaatio, kuten satelliittipaikannus ja tekoäly, täydentävät cobottien tuomia hyötyjä. Automaattitruktorit ja paikannusteknologiat mahdollistavat entistä tarkemman ja ympäristöystävällisemmän viljelyn, johon cobotit nivoutuvat osaksi laajempaa modernia älymaataloutta. Tekoälyn ja sensortechnologioiden yhdistäminen

yhteistyöroboteihin lisää tuotannon tehokkuutta ja vähentää ihmistyön tarvetta raskaissa tai vaarallisissa tehtävissä (Backman, 2020).

Maatalousrobotiikan soveltaminen käytännön tuotantoympäristöissä havainnollistaa teknologian potentiaalia erityisesti kasvien käsittelyssä ja analysoinnissa. Tätä esimerkkiä havainnollistetaan kuvassa 5.



Kuva 5. Maatalousrobotti (kenttärobotti) maatalousympäristössä (DLG e.V., 2019). Lähde: Wikimedia Commons (CC BY-SA 4.0).

Kuvassa 5 esitetään esimerkki maatalousympäristössä toimivasta kenttärobotista, joka hyödyntää automaatiota ja konenäköä kasvien käsittelyssä.

Turvallisuuskysymykset ovat olennainen osa cobottien käyttöä maataloudessa. Malmin ja muiden (2019) tutkimuksen mukaan yhteistyörobottien suunnittelussa keskeistä on varmistaa ihmisen ja robotin vuorovaikutuksen turvallisuus, erityisesti vaihtelevissa ja ulkoilmassa tapahtuvissa työympäristöissä. Turvamekanismien, kuten voiman ja kontaktin tunnistuksen, lisäksi toiminnan tulee olla ennustettavaa ja helposti pysäytettävissä, mikä on korostettu myös maatalouskäytössä.

Nykytutkimus painottaa myös palvelumallien ja käyttäjäystävällisten ohjelmointiratkaisujen tärkeyttä. Pienet ja keskisuuret maatalousyrittäjät kaipaavat työkaluja, jotka eivät vaadi laajaa robotiikka- tai ohjelmointiosaamista, ja joiden

käyttöönotto on kustannustehokasta (Innovando, 2024). Tämä korostaa tarvetta kevyemmille cobottiratkaisuille, jotka voidaan mukauttaa joustavasti erilaisiin työtehtäviin ilman suuria investointeja.

Yhteenvedona cobottien käyttö maataloudessa on vahvassa kasvussa, ja tutkimustiedon sekä käytännön kokeilujen valossa ne tarjoavat merkittäviä etuja erityisesti pk-yrityksille. Haasteina ovat edelleen turvallisuuden varmistaminen, käyttöönoton helppous sekä investointien taloudellinen takaisinmaksu. Näiden haasteiden ratkaiseminen varmistaa cobottien laajemman soveltamisen tulevaisuuden maataloudessa.

3.2 Kaupalliset cobotti- ja konenäköjärjestelmät

Cobotti- ja konenäköjärjestelmien kehitys on viime vuosina ollut nopeaa, ja markkinoilla on laaja valikoima kaupallisia ratkaisuja, jotka palvelevat monenlaisia teollisuuden tarpeita. Cobottien valmistajat ovat kiinnittäneet erityistä huomiota helppokäyttöisyyteen, turvallisuuteen sekä joustavaan integrointiin erilaisiin tuotantoympäristöihin. Samalla konenäköjärjestelmät ovat kehittyneet monipuolisiksi näköjärjestelmiksi, jotka hyödyntävät edistynyttä anturitekniologiaa ja tekoälyä esimerkiksi laadunvalvonnassa, kohteiden tunnistuksessa ja robottien ohjauksessa.

Kaupalliset cobottiratkaisut eroavat toisistaan ohjelmointitapojen, kantavuuden, ulottuvuuden ja turvallisuusominaisuuksien osalta. Ohjelmoinnin yksinkertaisuus on yksi yhteistyörobottien kilpailueduista; nykyaikaiset cobotit tukevat usein graafisia käyttöliittymiä, opetusohjelmointia ja jopa luonnollisen kielen komentoja, mikä madaltaa käyttöönoton kynnyksiä.

Konenäköjärjestelmät puolestaan ovat saavuttaneet merkittävää jalansijaa automaatio-sovelluksissa, kiitos kehittyneen kamerateknologian, valonlähteiden sekä kuvankäsittelyalgoritmien. Valmistajat tarjoavat valmiita konenäköalustoja, jotka on

suunniteltu helposti integroitaviksi robotiikkajärjestelmiin. Näillä järjestelmillä voidaan toteuttaa monen tasoisia visuaalisia tarkastuksia aina yksinkertaisista mittauksista vaativaan tekoälypohjaiseen laadunvalvontaan.

Yhdistettynä cobotteihin konenäköjärjestelmät mahdollistavat tuotannon joustavuuden ja automatisoinnin uudelle tasolle. Näköjärjestelmät toimivat cobottien ”silmänä”, antaen reaaliaikaista tietoa ympäristöstä, tuotteiden sijainneista ja muista olosuhteista. Tämä mahdollistaa robottien tarkan kohdistamisen ja reagoinnin vaihteleviin tuotantotilanteisiin ilman jäykkiä mekaanisia ohjausjärjestelmiä. Erityisesti pk-yrityksissä, joissa joustavuus ja investointikustannukset ovat ratkaisevia, kaupalliset cobotti- ja konenäköjärjestelmät tarjoavat mahdollisuuden edulliseen, tehokkaaseen ja turvalliseen automaatioon.

3.2.1 Fairino cobottiratkaisut

Fairino on kiinalainen robotiikkayritys, joka on erikoistunut cobottien kehittämiseen ja valmistukseen vastaten teollisuuden kasvavaan tarpeeseen joustaville ja helposti integroitaville automaatoratkaisuille erityisesti pienille ja keskisuurille yrityksille sekä pientuotantoon. Fairinon cobottimallit on suunniteltu korostamaan helppokäyttöisyyttä, turvallisuutta sekä kustannustehokkuutta.

Kuvassa 6 esitetään Fairino FR3 -yhteistyörobotti, joka edustaa kevyttä ja modulaarista cobottiratkaisua teollisiin sovelluksiin.



Kuva 6. Fairino FR3-cobotti (Fairino Europe, n.d. , yrityksen verkkosivut)

Kuvasta 6 nähdään cobotin rakenteellinen keveys ja pyöristetty muotoilu, jotka ovat tyypillisiä yhteistyöroboteille ja tukevat turvallista käyttöä ihmisen läheisyydessä. Nivelrakenteet mahdollistavat monipuoliset liikeradat, mikä tekee robotista soveltuvan erilaisiin käsittely- ja kokoonpanotehtäviin. Tällainen rakenne tukee erityisesti joustavaa tuotantoa, jossa työtehtävät ja tuotantoympäristö voivat vaihdella.

Fairinon cobottien ohjelmointi perustuu helppokäyttöisiin menetelmiin, jotka madaltavat käyttöönoton teknisiä vaatimuksia. Käyttäjät voivat hyödyntää graafista käyttöliittymää WebAppin kautta tai opetusohjelmointia, jossa robotin liikkeet tallennetaan käsin ohjaamalla (Fairino, 2026-a). Lisäksi järjestelmä tukee Lua-skriptausta, mikä mahdollistaa joustavien ja kevyiden ohjausprosessien toteuttamisen robottisovelluksissa (Fairino, 2026-b). Secondary Development Kit (SDK) tarjoaa rajapinnat ROS-, Python- ja C++ -ohjelmointiin, mikä tekee järjestelmästä integroitavan monipuolisesti erilaisiin tuotantoympäristöihin (Fairino, 2026-c).

Turvallisuus on keskeisessä roolissa Fairinon ratkaisujen suunnittelussa. Cobotit on varustettu useilla antureilla ja turvamekanismeilla, kuten voiman ja kontaktin

tunnistuksella, hätäpysäytysjärjestelmillä sekä nopeusrajoituksilla, jotka mahdollistavat turvallisen yhteistyön ihmisten kanssa ilman perinteisiä turva-aitoja. Käyttöliittymässä voidaan määrittää pysäytystiloja ja niin sanottuja safe speed -asetuksia, jotka rajoittavat työkalupään nopeuden turvalliselle tasolle. I/O-suojaus puolestaan tukee digitaalisten tulojen ja lähtöjen turvallisuustilaa, parantaen koneturvallisuutta entisestään (Fairino, 2026-d). Näiden ominaisuuksien ansiosta Fairinon cobotit soveltuvat hyvin ergonomisesti haastaviin, toistuviin ja turvallisuusvaatimuksia korostaviin työtehtäviin.

Fairinon cobotteja käytetään monipuolisesti eri sovelluksissa, kuten pick-and-place-tehtävissä, paletoinnissa, koneenkäsittelyssä ja maalauksessa. Ne tukevat yleisiä teollisuusprotokollia, kuten Ethernet/IP, ROS ja Modbus, mikä helpottaa niiden integraatiota olemassa oleviin tuotantojärjestelmiin. Lisäksi cobotit voidaan yhdistää 2D- ja 3D-näköjärjestelmiin tarkkuuden parantamiseksi sekä autonomisiin liikkuviin alustoihin (AMR), mikä mahdollistaa joustavat ja liikkuvat tuotantoratkaisut (Fairino, 2026-e). Näin Fairino pyrkii tarjoamaan kilpailukykyisen ja käyttäjäystävällisen vaihtoehdon kansainvälisille cobottivalmistajille, erityisesti pienille ja keskisuurille teollisuusyrityksille.

3.2.2 Fairino konenäköratkaisut

Fairino tarjoaa cobottiratkaisujen lisäksi integroitavia konenäköratkaisuja, jotka parantavat automaation tarkkuutta ja joustavuutta. Konenäköjärjestelmät mahdollistavat robottien ohjaamisen visuaalisen tiedon perusteella, esimerkiksi kohteiden tunnistuksen, sijainnin määrittämisen ja laadunvalvonnan. Fairinon järjestelmät hyödyntävät kamera- ja anturitekniologiaa yhdistettynä kehittyneisiin kuvankäsittelyalgoritmeihin, mikä tukee erityisesti vaihtelevissa tuotantoympäristöissä toimivia pk-yrityksiä

Fairinon konenäköratkaisut rakentuvat valmistajan 3D Vision -ekosysteemiin, joka yhdistää teollisuusluokan kamerat ja anturit reaaliaikaisiin kuvankäsittely- ja paikannusalgoritmeihin. Esimerkiksi NANO-Pro-kamera on suunniteltu tuottamaan tarkkaa paikkatietoa robottijärjestelmille, mikä mahdollistaa ympäristön jatkuvan seurannan ja välittömät säätötoimet sekä tukee plug and play -tyyppistä käyttöönottoa erilaisissa tuotantoympäristöissä. Käytännön sovelluksissa Fairinon cobotit hyödyntävät sekä 2D- että 3D-näköä tehtävissä, joissa edellytetään kohteiden tunnistusta, sijainnin määrittämistä, orientaation arviointia sekä dynaamista laadunvarmistusta. Tämä näky erityisesti visio-ohjatussa pick-and-place-käsittelyssä, linjakohtaisessa mittauksessa ja pintavirheiden tarkastuksessa, joissa näköpalaute lyhentää jaksoaikoja, parantaa toistotarkkuutta ja vähentää inhimillisiä virheitä (Fairino, 2026-f).

Konenäkö integroidaan Fairinon ohjausympäristöön kehittäjäystävällisten rajapintojen kautta. Valmistajan SDK ja ROS-tuki (ROS/ROS 2) mahdollistavat kameroiden, syvyysensensorien ja näkökirjastojen (esim. omat algoritmit tai kolmannen osapuolen API:t) liittämisen robottisoluun ilman raskasta räätälöintiä; käytännössä visio-ohjaus kytketään robottiohjelmaan WebAppin ja/tai ROS-solmujen kautta, ja liike- sekä havaintodatan synkronointi tehdään standardoitujen viestien ja ohjainliittymien avulla. Tämä arkkitehtuuri tukee tyypillisiä käyttöliittymä- ja ohjelmistovirtoja, kuten näköohjatun poiminnan (pick-and-place), asennon hienosäädön, inline-inspektion sekä integroitumisen liikkuviin alustoihin (AMR), jolloin manipulaation ja konenäön yhdistelmä voidaan ottaa käyttöön modulaarisesti eri teollisuudenaloilla (Fairino, 2026-g).

3.2.3 Omron konenäköratkaisut

Omron on kansainvälisesti tunnettu teollisuusautomaatioratkaisujen toimittaja, joka tarjoaa laajan valikoiman kehittyneitä konenäköratkaisuja. Yksi keskeisimmistä tuotteista

on FHV7 Smart Camera -älykamera, joka on suunniteltu suorittamaan visuaalisia tarkastuksia nopeasti ja tarkasti moninaisissa teollisissa ympäristöissä.

Kuvassa 7 esitetään Omron FHV7 -älykameran modulaarinen rakenne, jossa eri optiikka-, valaistus- ja kamerayksiköt voidaan yhdistää sovelluksen vaatimusten mukaan.



Kuva 7. Omron FHV7-älykameran modulaarinen rakenne (Omron Suomi, 2026, tuotokuva)

Kuvasta 7 nähdään FHV7-älykameran modulaarinen rakenne, jossa kamera, optiikka ja valaistus muodostavat integroidun kokonaisuuden. Eri valaistusratkaisut, kuten rengas- ja kohdevalaistus, mahdollistavat kohteen piirteiden korostamisen erilaisissa sovelluksissa. Modulaarisuus tekee järjestelmästä joustavan, sillä komponentteja voidaan vaihtaa ja mukauttaa eri käyttötarkoituksiin ilman koko järjestelmän uudelleensuunnittelua.

FHV7-älykamera yhdistää kehittyneen kuvankäsittelytekniikan ja tehokkaan ohjelmiston, jonka avulla se pystyy suorittamaan muun muassa kohteiden tunnistusta, mittauksia, virheiden havaitsemista ja luokittelua. Kameran käyttöliittymä on suunniteltu

intuitiiviseksi, mikä helpottaa järjestelmän käyttöönottoa ja konfigurointia erilaisissa teollisissa sovelluksissa (Omron, 2025-a)

Omronin FHV7-älykamera on suunniteltu suorittamaan visuaalisia tarkastuksia nopeasti ja tarkasti moninaisissa teollisissa ympäristöissä. Se yhdistää teollisuustason 12 MP CMOS-sensorin, automaattitarkennuksen sekä alan ensimmäisen monivärivalon kompaktissa älykamerayksikössä. Moduulirakenne antaa käyttäjälle mahdollisuuden yhdistää haluttu objektiivi, valaistus ja anturi helposti, mikä tekee järjestelmästä joustavan ja mukautettavissa erilaisiin tuotantotarpeisiin. Kamera kantaa IP65/67-luokituksen ja sisältää kestäviä rakenteellisia ominaisuuksia, kuten lukittavat ruuviliitännät ja huoltovapaita suojakupuja, mikä tekee siitä luotettavan ratkaisu myös vaativissa käyttöympäristöissä (Omron, 2025-b; Omron, 2025-c).

FHV7-integraatio on suunniteltu palvelemaan yhteistyöautomaatioon. Kamera tukee esimerkiksi Ethernet TCP/IP-, Ethernet/IP- ja PROFINET-protokollia, mikä mahdollistaa sen liittämisen erilaisiin automaatio- ja robottiohjausjärjestelmiin sekä Omronin Sysmac Studio -ohjelmointiympäristöön. Moduulirakenne mahdollistaa valon ja objektiivin nopean vaihdon ilman ylimääräisiä säätöjä, mikä helpottaa järjestelmän käyttöönottoa ja mahdollistaa nopeammat muutokset tuotantolinjalla (Omron, 2025-b).

FHV7 soveltuu erityisen hyvin tehtäviin, joissa vaaditaan nopeaa ja korkearesoluutioista laadunvalvontaa, kuten autojen komponenttitarkastuksiin, elektroniikkakomponenttien ja PCB:en tarkastukseen sekä elintarvike- ja lääkepakkausten valvontaan. Monivärivalo ja automaattitarkennus yhdessä mahdollistavat skaalautuvan vision erimerkkisten ja -väristen tuotteiden laadunvalvontaan ilman lisävaloja tai manuaalisia uudelleensäädöksiä.

3.3 Vertaileva analyysi aiemmista ratkaisuista

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin kahta merkittävää kaupallista toimijaa, Fairinoa ja Omronia, jotka tarjoavat pk-yrityksille soveltuvia automaattioratkaisuja ja edustavat modernin teollisuusautomaation eturintamaa. Yritykset on valittu, koska ne tuovat markkinoille erilaisia, mutta toisiaan täydentäviä teknologioita, joiden avulla pk-yritykset voivat vastata kasvaviin tuotannon vaatimuksiin kustannustehokkaasti ja joustavasti.

Fairino keskittyy erityisesti yhteistyörobottien (cobottien) kehittämiseen. Sen ratkaisuissa korostuvat helppokäyttöisyys, turvallisuus ja monipuoliset ohjelmointivaihtoehdot, kuten graafinen käyttöliittymä ja opetusohjelmointi, jotka madaltavat merkittävästi teknistä kynnystä ja vähentävät koulutustarvetta. Tämä on erityisen tärkeää pk-yrityksissä, joilla ei välttämättä ole laajaa robotiikkaosaamista. Fairinon cobotit soveltuvat hyvin toistuviin ja ergonomisesti haastaviin tehtäviin, kuten pakkaamiseen, lajitteluun ja tuotteen käsittelyyn. Lisäksi niiden joustava integrointi pienissä tuotantoympäristöissä mahdollistaa turvallisen yhteistyön ihmisten kanssa ilman erillisiä turva-aitoja, mikä parantaa sekä ergonomiaa että tuotannon joustavuutta vähentäen tilantarvetta ja investointikustannuksia.

Omron puolestaan on profiloitunut vahvasti konenäköjärjestelmien ja älykkäiden kamera-alustojen kehittäjäksi. Sen tuotevalikoimaan kuuluu esimerkiksi FHV7 Smart Camera, joka tarjoaa edistyksellisiä kuvankäsittelyominaisuuksia ja joustavat sovellusmahdollisuudet. Omronin konenäköjärjestelmät on suunniteltu erityisesti laadunvalvontaan, kohteiden tunnistukseen sekä robottien ohjaukseen, mikä mahdollistaa dynaamisen tuotannon ja nopean reagoinnin vaihteleviin tuotantotilanteisiin. Järjestelmät ovat skaalautuvia ja helposti integroitavissa eri automaattioratkaisuihin, myös muiden valmistajien laitteiden kanssa, mikä lisää niiden joustavuutta ja käyttömahdollisuuksia eri teollisuusalojen tarpeisiin.

Molempien yritysten ratkaisut tarjoavat pk-yrityksille keskeisiä etuja: Fairinon cobotit ovat kustannustehokkaita ja käyttäjäystävällisiä ratkaisuja ergonomisesti haastaviin ja toistuviin tehtäviin, kun taas Omronin konenäköjärjestelmät täydentävät automaatiota tarjoamalla visuaalisen ohjauksen, laadunvalvonnan sekä älykkään tuotannon ohjauksen. Yhdessä nämä teknologiat voivat tuoda merkittävää lisäarvoa automatisoituihin tuotantoprosesseihin parantaen tuotannon joustavuutta ja tehokkuutta.

Fairinon ratkaisuissa on panostettu käyttöönoton helppouteen, tukipalveluihin ja dokumentaatioon, mikä on tärkeää pk-yrityksille, jotka saattavat kohdata haasteita robotiikan omaksumisessa. Kuitenkin julkisesti saatavien referenssien ja käyttökohteiden rajallinen määrä voi osaltaan vaikuttaa potentiaalisten asiakkaiden päätöksentekoon.

Omron puolestaan tarjoaa laajan tukiverkoston ja runsaasti asiakasreferenssejä eri teollisuudenaloilta, mikä lisää luottamusta tuotteen soveltuvuuteen ja pitkäaikaiseen hyötyyn investoinneissa.

Muut merkittävät toimijat, kuten Universal Robots, Cognex ja ABB Robotics, tuovat omat vahvuutensa pk-yritysten automaatoratkaisuihin ja täydentävät Fairinon ja Omronin tarjoamaa kokonaiskuvaa. Vertailussa käytetyt ominaisuudet on valittu kuvaamaan keskeisiä tekijöitä, jotka vaikuttavat pk-yritysten valintaan cobotti- ja konenäköjärjestelmien toimittajiksi.

Yrityksen tausta antaa yleiskuvan valmistajan historiasta ja markkina-asemasta, mikä voi vaikuttaa palvelujen saatavuuteen ja luotettavuuteen. Tuotekeskittymä puolestaan kertoo, mihin teknologioihin yritys panostaa ja millaisia ratkaisuja se ensisijaisesti tarjoaa, auttaa arvioimaan, vastaako valmistajan strategia pientuotannon tarpeita.

Käyttökohteiden vertailu valaisee, millaisissa tehtävissä valmistajan ratkaisut ovat parhaimmillaan, mikä on tärkeää pk-yrityksille tuotannon haasteiden ratkaisemisessa.

Ohjelmoinnin ja käytettävyyden arviointi korostaa käyttöönottoprosessin helppoutta, mikä on keskeistä resurssirajoitteisille yrityksille.

Turvallisuusominaisuudet kuvaavat laitteiden kykyä varmistaa ihmisen ja koneen välinen turvallinen yhteistyö. Integraation monipuolisuus on olennaista, koska pk-yrityksissä tarvitaan usein ratkaisujen yhteensopivuutta olemassa olevien järjestelmien kanssa.

Kustannustehokkuus sekä investointi- että ylläpitokustannuksissa on luonnollisesti yksi tärkeimmistä valintakriteereistä pk-sektorilla. Lopuksi referenssit ja asiakastuki kertovat yrityksen asiakaspalvelun laadusta ja luotettavuudesta, jotka ovat keskeisiä onnistuneelle käyttöönotolle ja jatkuvalle toiminnalle.

Taulukko 1. Keskeisten automaatiotoimijoiden vertailu pk-yritysten näkökulmasta

Toimija	Pääfokus	Vahvuudet	Heikkoudet	Soveltuvuus pk-yrityksille
Fairino	Cobotit + konenäkö	Edullinen, helppokäyttöinen, matala käyttöönoton kynnys	Vähemmän referenssejä, rajallisempi ekosysteemi	Erinomainen pienimuotoiseen tuotantoon
Omron	Konenäkö + automaatio	Laadukas konenäkö, hyvä integraatio, skaalautuvuus	Korkeampi hinta, ei cobotteja ydintuotteena	Hyvä laadunvalvontaan ja ohjaukseen
Universal Robots	Cobotit	Erittäin helppo ohjelmointi, laaja ekosysteemi	Vähemmän omaa konenäköä	Erinomainen joustavaan tuotantoon
Cognex	Konenäkö	Huipputarkka, tekoäly ja syväoppiminen	Kallis, vaatii osaamista	Sopii vaativaan laadunvalvontaan
ABB Robotics	Cobotit + automaatio	Kokonaisratkaisut, skaalautuvuus, vahva tuki	Korkea investointi	Sopii kasvaville ja suuremmille pk-yrityksille

Taulukossa 1 esitettyjen ominaisuuksien perusteella pk-yritykset voivat tehdä perusteltuja ja strategisia valintoja automatisointiratkaisuissaan. Vertailu osoittaa, että eri valmistajat painottavat erilaisia vahvuuksia, kuten kustannustehokkuutta, käytettävyyttä, teknistä suorituskykyä ja integraatiomahdollisuuksia. Näin ollen toimijat eivät ole keskenään suoraan kilpailevia, vaan niiden ratkaisut täydentävät toisiaan ja mahdollistavat joustavien, käyttötarpeen mukaan räätälöitävien automaattioratkaisujen rakentamisen.

Universal Robots on ollut yhteistyörobottien pioneeri ja markkinajohtaja globaalisti, ja sen cobotit tunnetaan erityisesti niiden yksinkertaisesta ohjelmoinnista, laajasta tuoteportfoliosta ja vahvasta käyttäjäyhteisöstä. Tämä tekee Universal Robotsista suosittuun valinnan pk-yritysten keskuudessa, jotka arvostavat nopeaa käyttöönottoa ja joustavuutta eri tuotantotilanteissa.

Samaan aikaan Cognex tarjoaa edistyneitä konenäköjärjestelmiä erityisesti tarkkuutta ja syväoppimista vaativiin sovelluksiin. Yrityksen ratkaisuja käytetään laajasti teollisuuden laadunvalvonnassa ja viallisten tuotteiden havaitsemisessa tuotantolinjoilla. Vaikka järjestelmät voivat olla kustannuksiltaan korkeampia ja teknisesti vaativampia, ne mahdollistavat pk-sektorille kehittyneen visuaalisen automaation hyödyntämisen, mikä voi parantaa tuotelaatua ja vähentää hävikkiä (Cognex, 2026).

ABB Robotics puolestaan edustaa laaja-alaista teollisuusautomaation toimittajaa, joka kattaa niin cobotit, konenäön kuin kokonaiset automaattioratkaisut. ABB:n vahvuutena on sen kyky tarjota integroidut, skaalautuvat ratkaisut, jotka soveltuvat niin pk-yrityksille kuin suurille teollisuuslaitoksillekin. Yrityksen laajat turvallisuusominaisuudet ja globaalit tukipalvelut tekevät siitä luotettavan kumppanin pitkän aikavälin automaatioinvestoinneille.

Näin ollen pk-yritykset voivat hyödyntää näiden eri toimijoiden vahvuuksia valitsemalla ratkaisunsa sen mukaan, mikä parhaiten vastaa heidän liiketoimintansa tarpeita,

investointikykyä ja teknistä osaamista. Fairino ja Universal Robots tarjoavat usein kustannustehokkaita ja helppokäyttöisiä cobottiratkaisuja, kun taas Omron ja Cognex tuovat konenäön keinoin lisää automaation älykkyyttä ja tarkkuutta. ABB Robotics puolestaan tarjoaa kokonaisvaltaisia ja integroitavia ratkaisuja, jotka yhdistävät robotiikan ja konenäön monipuolisesti eri teollisuuden osa-alueille. Näiden toimijoiden ratkaisut voidaan myös usein kytkeä yhteen, mikä mahdollistaa joustavat ja räätälöitävät automaattioratkaisut pientuotannon eri tarpeisiin.

4 Tutkimus ja tulokset

4.1 Menetelmät

Tutkimus on luonteeltaan esitutkimus (esiselvitys), jonka tarkoituksena on kartoittaa teknologian käyttömahdollisuuksia pientuottajien kausitöissä ja tunnistaa erityisesti cobottien ja konenäön potentiaalisia sovellusalueita. Menetelmänä käytettiin pääosin kvalitatiivista lähestymistapaa, johon sisältyy teemahaastatteluja sekä havainnointia ja dokumenttianalyysiä jatkoa tukemaan. Lisäksi työssä hyödynnettiin tekoälyä (OpenAI) havainnekuvien tuottamisessa konenäkö- ja robotiikkaratkaisujen esittämiseksi.

Tutkimuksen aineisto kerättiin pääasiassa verkkokyselyn (Liite 1.) ja toimintaympäristöön tutustumisen avulla. Kyselyllä pyrittiin saamaan laajempi kuva pientuottajien nykytilasta, tarpeista ja asenteista robotiikkaan sekä konenäköön kausitöissä. Syvällisemmät haastattelut ja toimintaympäristöön tutustuminen suunniteltiin tukemaan kyselyn tulosten syventämistä ja antamaan tarkempaa tietoa muun muassa työprosesseista, haasteista ja investointimahdollisuuksista.

Haastattelut toteutettiin pääosin puolistrukturoituina ja osittain vapaamuotoisina, jolloin niiden kulkua ohjasivat esiin nousseet teemat. Tämä mahdollisti ilmiön joustavan ja syvällisemmän tarkastelun sekä käytännönläheisten näkökulmien esiin tuomisen, mutta vaikutti samalla aineiston yhtenäisyyteen. Näin ollen aineistonkeruun toteutustapa on linjassa tutkimuksen rajoituksissa esitetyn havainnon kanssa, jonka mukaan haastattelujen vaihteleva rakenne heikentää aineiston vertailtavuutta ja toistettavuutta.

4.2 Esikysely

Esikysely lähetettiin 20 alueen pientuottajalle, joista viisi vastasi kyselyyn ($n = 5$). Vastausmäärä jäi suhteellisen pieneksi, minkä vuoksi tuloksia tulee tulkita suuntaa antavina. Tästä huolimatta aineisto tarjoaa alustavaa tietoa pientuottajien työprosesseista, koetuista haasteista sekä suhtautumisesta robotiikan ja konenäön mahdolliseen hyödyntämiseen.

Kaikki kyselyyn vastanneet yritykset ovat kooltaan mikroyrityksiä, joissa työskentelee 1–3 henkilöä. Tämä viittaa siihen, että toiminta on vahvasti yrittäjävetoista ja henkilöstöresurssit ovat rajalliset. Pieni työntekijämäärä lisää toiminnan haavoittuvuutta erityisesti kausivaihteluiden ja työkuormituksen huippujen aikana. Samalla rajalliset resurssit voivat rajoittaa investointimahdollisuuksia sekä lisätä varovaisuutta uusien teknologisten ratkaisujen käyttöönotossa.

Kausitöiden osalta keskeisimmäksi työvaiheeksi nousi poiminta, jonka mainitsi 80 % vastaajista ($n = 4$). Lisäksi pakkaus mainittiin 40 % vastauksista ($n = 2$) ja lajittelu 20 % vastauksista ($n = 1$). Avoimissa vastauksissa tuotiin esiin myös muita kausityövaiheita, kuten kitkentä sekä vadelmaversojen sidonta ja leikkaus. Tulosten perusteella pientuotannon työprosessit ovat pääosin käsityövaltaisia ja sisältävät useita fyysisesti kuormittavia sekä toistuvia työvaiheita. Sadonkorjuun lisäksi kasvuston hoitotyöt muodostavat merkittävän osan kausityöstä, mikä lisää työn ergonomista kuormittavuutta.

Teknologian nykyinen käyttö näyttäytyy kyselyn perusteella hyvin vähäisenä. Kukaan vastaajista ei ollut käyttänyt robotiikkaa tai konenäköä työssään (100 %, $n = 5$). Tämä viittaa siihen, että mahdollinen teknologian käyttöönotto edellyttäisi kokonaan uuden toimintatavan omaksumista eikä nykyisten järjestelmien laajentamista. Kokemuksen puute saattaa lisätä epävarmuutta ja nostaa kynnyksen teknologiaan liittyville investointipäätöksille.

Suhtautuminen robotiikan ja konenäön käyttöönottoon oli kuitenkin varovaisen myönteistä. Suurin osa vastaajista (60 %, n = 3) ilmoitti olevansa jonkin verran kiinnostunut teknologian hyödyntämisestä kausitöissä, kun taas 40 % (n = 2) suhtautui asiaan melko varauksellisesti. Kukaan vastaajista ei kuitenkaan ilmoittanut olevansa täysin kiinnostumaton teknologian käyttöönotosta. Tämä viittaa siihen, että teknologia nähdään mahdollisena ratkaisuna joihinkin tuotannon haasteisiin, vaikka kiinnostus ei vielä ilmene vahvana investointivalmiutena.

Kyselyssä kartoitettiin myös kausitöihin liittyviä keskeisiä haasteita. Fyysinen rasitus ja työn toistuvuus nousivat merkittävimiksi haasteiksi, sillä molemmat mainittiin 60 % vastauksista (n = 3). Lisäksi työn tehokkuus mainittiin 40 % vastauksista (n = 2) ja laadunvalvonta 20 % vastauksista (n = 1). Yksi vastaaja toi avoimessa vastauksessa esiin myös muita yksittäisiä haasteita. Tulokset viittaavat siihen, että pientuotannossa keskeiset haasteet liittyvät sekä työn fyysiseen kuormittavuuteen että työprosessien tehokkuuteen erityisesti sesonkiaikoina. Koska sadonkorjuu on ajallisesti kriittinen työvaihe, työvoiman riittävyys ja työn sujuvuus voivat vaikuttaa suoraan sadon laatuun sekä yrityksen taloudelliseen tulokseen.

Robotiikan ja konenäön toivotuista ominaisuuksista korostui erityisesti kustannustehokkuus, jonka mainitsi 80 % vastaajista (n = 4). Lisäksi helppokäyttöisyys nähtiin tärkeänä ominaisuutena 60 % vastauksista (n = 3). Luotettavuus mainittiin 40 % vastauksista (n = 2), kun taas siirrettävyys nousi esiin vain yksittäisessä vastauksessa (20 %, n = 1). Avoimissa vastauksissa tuotiin lisäksi esiin yksittäisiä muita näkökulmia. Tulosten perusteella investointikustannukset sekä järjestelmien käytön yksinkertaisuus näyttävät keskeisinä tekijöinä teknologian hyväksyttävyydessä mikroyrityksissä.

Kokonaisuutena tarkasteltuna kyselyn tulokset viittaavat siihen, että pientuottajien toiminta on työvoimavaltaista ja sisältää useita fyysisesti kuormittavia työvaiheita. Keskeisimmät kehittämistarpeet liittyvät työn kuormittavuuden vähentämiseen sekä

tuotannon tehokkuuden parantamiseen erityisesti sesonkiaikoina. Vaikka robotiikkaa ja konenäköä ei tällä hetkellä hyödynnetä, suhtautuminen teknologian mahdollisuuksiin on varovaisen myönteistä. Jotta teknologiaratkaisut olisivat realistisesti sovellettavissa mikroyrityksiin, niiden tulisi olla kustannustehokkaita, helppokäyttöisiä ja luotettavia sekä tarjota selkeitä hyötyjä päivittäisten työprosessien sujuvoittamisessa.

Taulukko 2. Esikyselyn keskeiset tulokset (n = 5)

Teema	Keskeiset tulokset
Yrityskoko	Mikroyrityksiä (1–3 työntekijää)
Keskeiset työvaiheet	Poiminta (80 %), pakkaus (40 %), lajittelu (20 %)
Muut työvaiheet	Kitkentä, vadelmaversojen sidonta ja leikkuu
Teknologian käyttö	Ei käytössä (100 %)
Kiinnostus teknologiaan	Varovaisen myönteinen (60 % kiinnostunut)
Keskeiset haasteet	Fyysinen rasitus, työn toistuvuus, tehokkuus
Toivotut ominaisuudet	Kustannustehokkuus, helppokäyttöisyys, luotettavuus

Taulukossa 2 on koottu esikyselyn keskeiset havainnot selkeyden parantamiseksi. Pienen otoskoon vuoksi tuloksia tulee tulkita suuntaa antavina, eikä niitä voida yleistää laajasti pientuottajakenttään.

4.3 Pientuottajien tarpeiden analyysi

Pientuottajien tarpeet vaihtelevat tilakohtaisesti, mutta analyysi osoittaa, että keskeiset haasteet liittyvät työvaiheiden fyysiseen kuormittavuuteen ja toistuviin, ajallisesti kriittisiin prosesseihin. Kausitöissä manuaalisesti tehtävät työvaiheet vievät merkittävästi aikaa ja henkilöstöresursseja, mikä tekee niistä potentiaalisia kohteita

automatisoinnille. Analyysin perusteella kolme työvaihetta erottuu erityisen selkeästi: pakkaus, kasvihuoneen istutus ja riviviljelyn rikkakasvien torjunta.

Pakkaus työllistää usein 1–3 henkilöä ja sen automatisointi voisi lisätä tehokkuutta, parantaa laatua ja vapauttaa henkilöstöä muihin tehtäviin. Cobottien liittäminen pakkauslinjastoon nähtiin teknisesti toteuttamiskelpoisena ja taloudellisesti potentiaalisena.

Kasvihuoneen istutus on toistuva ja ajallisesti kriittinen työvaihe, mikä tekee siitä houkuttelevan kohteen automatisoinnille. Kasvihuone istutuksessa myös olosuhteiden tasalaatuisuus helpottaa sovelluksen toteutusta, valaistuksen optimointi tietyssä pisteessä esimerkiksi konenäköä varten on helpompaa. Konenäön käyttöä voidaan työvaiheessa käyttää taimen asennon ja laadun tarkkailuun sekä mahdollisten istutustoimenpiteessä tapahtuvien vaurioiden tunnistamiseen.

Riviviljelyn rikkakasvien torjunta on työläs ja aikaa vievä prosessi. Konenäköön perustuvat tarkat kitkentäjärjestelmät voisivat merkittävästi vähentää työkuormaa ja parantaa tarkkuutta, mutta vaativat järjestelmältä riittävää joustavuutta ja olosuhteiden vaihteluun sopeutumista.

Kyselyssä nousi esiin myös yksittäisenä työvaiheena vadelmanvarsien sidonta ja leikkuu. Kyseinen havainto jäi kuitenkin yksittäiseksi eikä sitä tarkasteltu syvällisemmin tutkimuksen jatkovaiheissa. Tästä huolimatta se osoittaa, että pientuotannossa esiintyy myös muita kausiluonteisia ja manuaalisesti kuormittavia työvaiheita, joiden automatisointipotentiaalia ei tässä työssä tarkasteltu laajemmin.

Analyysin mukaan investointien korkea hinta ja takaisinmaksuajan epävarmuus muodostavat merkittävän esteen automatisoinnin käyttöönotolle. Vaikka cobottien ja konenäköjärjestelmien fyysiset tilavaatimukset sopivat pientuottajille, taloudellinen kannattavuus on epävarma. Lisäksi teknologiaosaamisen ja koulutuksen puute korostui:

vastaajat nostivat esiin tarpeen selkeälle ohjaukselle, käytännönläheiselle koulutukselle ja luotettavalle tekniselle tuelle.

Pientuottajien suhtautuminen robotiikkaan ja konenäköön on pääosin varovaisen kiinnostunut. Teknologiat nähdään mahdollisuutena vastata työvoimapulaan ja fyysiseen kuormitukseen, mutta investointiriski ja epävarmuus käytännön toimivuudesta hidastavat päätöksentekoa. Valmius investoida riippuu tilan koosta, tuotantosuunnasta ja taloudellisesta tilanteesta.

4.4 Sovellusarvio

Tämän tutkimuksen perusteella pakkaus näyttyy selkeimpänä ja teknisesti suoraviivaisimpana cobottisovelluksena pientuotannossa. Pakkausprosessi on tyypillisesti työvaiheiltaan toistuva, ympäristöltään hallittava ja kohteiden käsittelyn kannalta riittävän vakioitu. Tällaisessa ympäristössä yhteistyörobotti soveltuu esimerkiksi tuotteiden siirtoon, pakkausten täyttöön, laatikointiin, lavaukseen tai muihin toistuviin käsittelytehtäviin. Pakkausrobotiikka on myös yleistä ja edistynyttä ja siitä on paljon valmiita sovelluksia, joita voidaan soveltaa maatalouteen (Villani ja muut, 2018).

Kuvassa 8 esitetään esimerkki cobotin käytöstä pakkauslinjalla, jossa robotti siirtää tuotteita kuljettimelta pakkaukseen.



Kuva 8. Cobotti pakkauslinjalla. Huom. Kuva on luotu tekoälyä hyödyntäen kehoitteella: ”Luo kuva cobotista maatalouden pakkaustehtävässä.” (OpenAI, 2026).

Kuvasta 8 nähdään, kuinka cobotti suorittaa toistuvaa pakkaustehtävää kuljetinlinjalla, mikä on tyypillinen sovellus yhteistyöroboteille. Kuvassa korostuu erityisesti ympäristön hallittavuus ja tuotteiden yhtenäisyys, jotka mahdollistavat luotettavan automaation ilman monimutkaisia tunnistusratkaisuja. Tällaiset sovellukset ovat erityisen soveltuvia pientuotantoon, jossa halutaan parantaa tehokkuutta ilman suuria investointeja.

Pakkaussovelluksen vahvuus on siinä, että perustoiminnallisuus voidaan usein toteuttaa ilman raskasta koneoppimista, jolloin järjestelmän tekninen kompleksisuus pysyy kohtuullisena. Konenäköä voidaan silti hyödyntää esimerkiksi tuoteidentifikaatiossa, orientaation tunnistuksessa tai laadunvarmistuksessa. Robotiikkaa ja automaatiota käsittelevä kirjallisuus tunnistaa pakkaamisen, käsittelyn ja tarkastuksen keskeisiksi käyttökohteiksi erityisesti joustavassa tuotannossa ja elintarvikeympäristöissä.

Istutus muodostaa toisen perustellun cobottisovelluksena, erityisesti kasvihuoneissa ja taimituotannossa. Istutustyö on mekaanisesti toistuva prosessi, jossa robotin tehtävä voi olla taimen poiminta, siirto ja sijoittaminen kasvualustaan vakioidulla syvyydellä ja

etäisyydellä. Kasvihuoneolosuhteissa ympäristön hallittavuus, valaistuksen vakaus ja taimien suhteellisen yhdenmukainen geometria tukevat automaation toteutettavuutta.

Kuvassa 9 esitetään esimerkki cobotin käytöstä taimilinjastolla, jossa robotti siirtää taimia kasvualustaan istutusvaiheessa.



Kuva 9. Cobotti taimilinjaston alussa, istutusvaiheessa. Huom. Kuva on luotu tekoälyä hyödyntäen kehoitteella: "Luo kuva cobotista taimilinjaston alussa, istutusvaiheessa." (OpenAI, 2026).

Kuvasta 9 nähdään, kuinka cobotti käsittelee yksittäisiä taimia tarttumalla multapaakkuun ja siirtämällä sen hallitusti uuteen paikkaan. Kuvassa korostuu erityisesti tarttujan rooli, joka on suunniteltava siten, että kasviin kohdistuva mekaaninen rasitus minimoidaan. Taimien yhtenäinen sijoittelu ja kasvihuoneympäristön hallittavuus mahdollistavat automaation toteuttamisen ilman jatkuvaa ihmisen ohjausta.

Taimien käsittelyssä tartuntakohdan valinta on kriittinen tekijä järjestelmän toimivuuden kannalta. Taimiin kohdistuva mekaaninen rasitus voi vaurioittaa kasvia tai hidastaa sen kasvua, minkä vuoksi tartunnan tulee kohdistua multapaakkuun eikä itse kasviin. Tämä asettaa vaatimuksia sekä tarttujamekaniikalle että liikkeen hallinnalle, jotta siirto voidaan toteuttaa hallitusti ja toistettavasti ilman vaurioita. Istutussovelluksen

haasteena onkin tarttujan mekaaninen suunnittelu niin että herkät taimet eivät vaurioidu. On myös tarpeen arvioida, millaisia voimantunnistusmenetelmiä järjestelmässä tulisi hyödyntää turvallisen ja luotettavan käsittelyn varmistamiseksi.

Konenäkö voi parantaa järjestelmän toimintaa esimerkiksi taimien asennon, laadun tai sijainnin tunnistamisessa, mutta perusmekaniikka voidaan joissakin tapauksissa toteuttaa myös ilman laajaa kuvantamista. Konenäön hyödyntäminen voi kuitenkin lisätä järjestelmän joustavuutta erityisesti tilanteissa, joissa taimien sijainti tai orientaatio vaihtelee tuotantolinjalla. Kuvantamisen avulla voidaan esimerkiksi varmistaa, että tartunta kohdistuu oikein multapaakkuun sekä havaita poikkeavat tai vaurioituneet taimet ennen siirtoa. Tämä voi parantaa istutusprosessin laatua ja vähentää virheiden määrää, vaikka täysin vakioituissa olosuhteissa mekaaninen ratkaisu voi olla riittävä.

Pakkaus- ja istutussovellukset eroavat toisistaan erityisesti käsiteltävien kohteiden luonteen ja käsittelyn vaatimusten osalta. Pakkausympäristössä kohteet ovat tyypillisesti yhtenäisiä, mekaanisesti kestäviä ja helposti tartuttavia, mikä mahdollistaa yksinkertaisemmat tartunta- ja ohjaustratkaisut. Istutuksessa sen sijaan käsitellään eläviä ja herkkiä kohteita, joiden muoto, koko ja sijainti voivat vaihdella, mikä asettaa suuremmat vaatimukset tarttujamekaniikalle, liikkeen hallinnalle sekä mahdollisesti konenäön hyödyntämiselle. Tästä syystä istutussovellukset edustavat teknisesti vaativampaa mutta samalla joustavuutta korostavaa cobottien käyttökohdetta.

Rivikasvien kitkentä on puolestaan tarkastelluista sovelluksista teknisesti vaativin. Sen keskeinen haaste ei ole vain kitkentätoimenpiteen mekaaninen toteutus, vaan ennen kaikkea viljelykasvin ja rikkakasvin luotettava erottaminen vaihtelevissa valaistus-, kasvusto- ja maasto-olosuhteissa. Tämän vuoksi kitkentä on tarkoituksenmukaisinta jäsentää tässä työssä ensisijaisesti konenäkö- ja tunnistusongelmana, jossa cobotti toimii mahdollisena toimilaitteena eikä välttämättä parhaana kenttäkäyttöön soveltuvana kokonaisratkaisuna.

Uudemmissa rikkakasvirobotiikan katsauksissa korostuvat liikkuvat alustat, navigointi, sensori-integraatio, reaaliaikainen päätöksenteko sekä kohdennettu torjunta, mikä osoittaa, että toimiva kenttäjärjestelmä on laajempi kokonaisuus kuin yksittäinen robottivarsi (Duckett ja muut, 2018; Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018).

Cobottien yleiset vahvuudet liittyvät joustavuuteen, kompaktiin kokoon, ohjelmoitavuuteen ja mahdollisuuteen toteuttaa automatisointia ilman raskasta perinteistä robottisolua. Tämä tekee niistä kiinnostavia juuri pientuotannon kaltaisissa ympäristöissä, joissa käytettävissä oleva tila, työvaiheiden vaihtelu ja investointikyky ovat rajallisia.

Turvallinen yhteistyökäyttö ei kuitenkaan ole automaattinen ominaisuus, vaan jokainen sovellus edellyttää erillistä riskinarviointia ja turvallisuussuunnittelua. ISO/TS 15066 täydentää yhteistyöroboteihin liittyviä turvallisuusvaatimuksia ja työympäristön periaatteita ISO 10218 -sarjan rinnalla, mikä korostaa sovelluskohtaisen turvallisuustarkastelun merkitystä myös silloin, kun käytössä on yhteistyörobotti (ks. tarkemmin luku 2.1).

Kokonaisuutena arvioiden pakkaus on tarkastelluista kohteista realistisin ensivaiheen cobottisovellus, istutus muodostaa teknisesti perustellun seuraavan käyttökohteen erityisesti kasvihuoneympäristössä ja rikkakasvien torjunta on näistä kunnianhimoisin ratkaisu, jossa järjestelmän onnistuminen riippuu ratkaisevasti konenäön ja päätöksenteon luotettavuudesta.

Taulukko 3. Sovellusarvio.

Sovellus	Tekninen vaativuus	Ympäristön hallittavuus	Konenäön tarve	Soveltuvuus pientuotantoon	Huomiot
Pakkaus	Matala	Hyvä	Matala-kohtalainen	Erittäin hyvä	Selkein aloituskohde
Istutus	Kohtalainen	Hyvä (kasvihuone)	Kohtalainen	Hyvä	Toistuva ja ennustettava
Kitkentä	Korkea	Heikko (avomaa)	Korkea	Rajallinen	Tunnistus kriittinen

Taulukko 3 havainnollistaa sovellusten välisiä eroja teknisen vaativuuden, ympäristöolosuhteiden ja konenäön roolin suhteen, ja sen perusteella pakkaus erottuu selkeimpänä ja matalan kynnyksen sovelluksena, kun taas kitkentä edustaa teknisesti vaativinta käyttökohdetta.

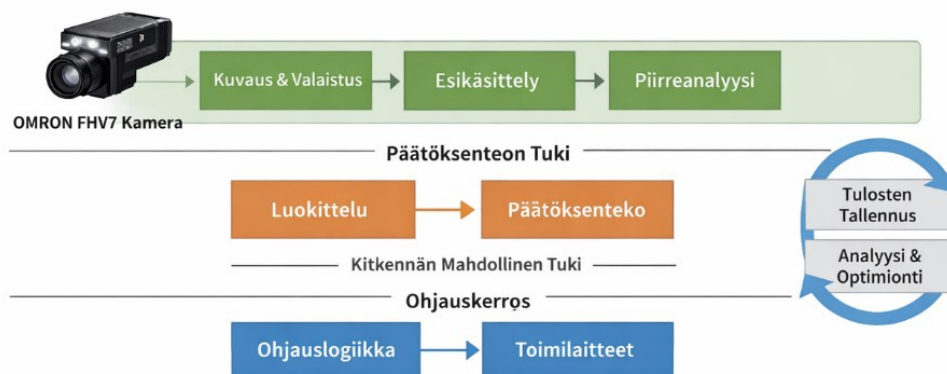
4.5 OMRON FHV7 -kameraan perustuvan konenäköratkaisun viitearkkitehtuuri

Tässä alaluvussa esitetään työn oma kontribuutio: viitearkkitehtuuri OMRON FHV7 -kameraan perustuvalla konenäköratkaisulle, jonka tavoitteena on kasvien tunnistaminen pientuotannon käyttöympäristössä. Tarkastelun kohteena ei ole valmis kaupallinen kitkentäjärjestelmä eikä mekaaninen torjuntaratkaisu, vaan tunnistusketju, jonka avulla voidaan arvioida, miten kasvikohteiden erottelu voisi tukea myöhempiä, mahdollisesti kitkentään soveltuvia sovelluksia. Rajaus on perusteltu, koska rikkakasvien torjuntaa koskevassa tutkimuksessa järjestelmän toimivuus perustuu ensivaiheessa havaintoon, kohteiden erotteluun ja luotettavaan luokitteluun ennen varsinaista toimenpidettä.

Viitearkkitehtuuri jäsentyy kuuteen loogiseen vaiheeseen: kuvaus ja valaistus, esikäsittely, piirreanalyysi, luokittelu, päätöksenteon tuki sekä tulosten tallennus ja palautesilmukka. Tässä työssä painopiste on nimenomaan tunnistusosuudessa. OMRON FHV7 toimii arkkitehtuurin sensorikerroksena ja muodostaa järjestelmän

havaintopohjan. Kameran käyttö on perusteltua, koska kyseessä on teollinen älykamera, jossa kuvantaminen, valaistusratkaisujen hallinta ja tarkastustehtävät voidaan yhdistää samaan järjestelmään. OMRON korostaa FHV7-sarjassa erityisesti korkearesoluutioista kuvantamista, integroitujen valomoduurien käyttöä sekä moniväri-valaistuksen hyötyä tilanteissa, joissa kohteiden väri- ja pintavaihtelu vaikeuttavat tunnistusta.

Kuvassa 10 esitetään tässä työssä muodostettu OMRON FHV7 -kameraan perustuva konenäköjärjestelmän viitearkkitehtuuri.



Kuva 10. Omron FHV7 konenäköjärjestelmän viite arkkitehtuuri. Huom. Kuva on luotu tekoälyä hyödyntäen kehotteella ”Luo kuva Omron FHV7 kameraan perustuvasta konenäköjärjestelmän viitearkkitehtuurista.” (OpenAI, 2026).

Kuvassa 10 esitetty viitearkkitehtuuri havainnollistaa konenäköratkaisun keskeiset vaiheet sekä niiden väliset yhteydet. Arkkitehtuuri rakentuu sensorikerroksen, päätöksenteon tukikerroksen ja ohjauskerroksen ympärille, joissa jokaisella on selkeä rooli järjestelmän toiminnassa. Sensorikerroksessa OMRON FHV7 vastaa kuvantamisesta ja esikäsittelystä, kun taas ylemmät kerrokset käsittelevät tunnistustietoa ja mahdollistavat sen hyödyntämisen järjestelmätasolla.

Vaiheiden välinen tietovirta on pääosin lineaarinen, mutta palautesilmukka mahdollistaa järjestelmän jatkuvan kehittämisen ja optimoinnin. Tämä on erityisen tärkeää konenäköön perustuvissa sovelluksissa, joissa tunnistuksen luotettavuus riippuu sekä

datan laadusta että käytetyistä menetelmistä. Arkkitehtuuri korostaa myös tunnistuksen ja laiteohjauksen erottamista toisistaan, mikä tukee järjestelmän modulaarisuutta ja laajennettavuutta.

Kuvaus- ja valaistusvaihe on tunnistusratkaisun kannalta keskeinen, koska kasvien erottelu perustuu siihen, että kuvasta saadaan riittävän vakaa ja informatiivinen lähtöaineisto. Hyperspektrijärjestelmissä kuvantaminen voidaan toteuttaa useilla eri teknologioilla, joista yksi yleisesti käytetty menetelmä on niin sanottu push-broom-kuvantaminen. Tässä lähestymistavassa kamera mittaa samanaikaisesti spektrijakauman kapealta kuvaviivalta, jolloin yksi kuvantimen akseli vastaa kohteen spatiaalista sijaintia ja toinen akseli mitattua aallonpituusaluetta. Kokonainen kuva muodostetaan kohteen tai kameran liikkeen avulla viiva kerrallaan.

Push-broom-menetelmän etuna on hyvä spektrinen rekisteröinti, koska kaikki spektrikaistat mitataan samasta kohdepisteestä samanaikaisesti. Tämä parantaa spektridatan luotettavuutta ja vähentää virheitä, joita voi syntyä eri aallonpituuskaistojen mittaamisesta eri ajanhetkillä tai eri kohdista. Tämän vuoksi push-broom-kuvantaminen soveltuu erityisen hyvin sovelluksiin, joissa tarvitaan tarkkaa spektristä analyysiä ja luotettavaa luokittelua, kuten kasvien tunnistuksessa ja muissa konenäön analyysitehtävissä (Herrala, 2017).

Esikäsittelyvaiheessa kameran tuottama raakadata muunnetaan tunnistukselle paremmin soveltuvaan muotoon. Tähän voi sisältyä kohinan vähentäminen, kontrastin tasaaminen, valaistusvaihtelun kompensointi, geometrian korjaus sekä kiinnostavien alueiden rajaaminen. Erityisesti kasvikuvauksessa esikäsittelyn merkitys korostuu, koska luonnonmukaisissa tai puolikontrolloiduissa ympäristöissä valaistus, varjot, taustakasvillisuus ja kasvien päällekkäisyys voivat heikentää tunnistuksen luotettavuutta. Tämän vuoksi tunnistusketjun onnistuminen ei riipu yksin luokittelualgoritmista vaan jo siitä, kuinka tasalaatuista syötedataa kamerajärjestelmä kykenee tuottamaan.

Piirreanalyysivaiheessa kuvasta muodostetaan tunnistuksen kannalta merkityksellisiä kuvauksia. Nämä voivat olla esimerkiksi muotoon, kokoon, tekstuuriin, väriin tai intensiteettijakaumaan liittyviä piirteitä. Kasvien kohdalla kiinnostavia ominaisuuksia voivat olla esimerkiksi lehden reunamuoto, pintarakenteen vaihtelu, värisävyt tai tietyillä aallonpituuksilla korostuvat erot. Tunnistuksen näkökulmasta olennaista ei ole vielä tehdä lopullista mekaanista päätöstä, vaan erottaa kuvasta sellaiset piirteet, joiden perusteella kohde voidaan luokitella esimerkiksi viljelykasviksi, rikkakasviksi tai muuksi taustaksi.

Luokitteluvaiheessa piirredata voidaan syöttää luokittelumenetelmälle, jonka tehtävänä on erottaa toisistaan halutut kasviluokat. Tässä työssä luokittelua tarkastellaan konseptitasolla osana viitearkkitehtuuria, eikä varsinaista koneoppimismallia toteuteta. Luokittelun tuloksena järjestelmä tuottaa tiedon siitä, mihin luokkaan kohde todennäköisimmin kuuluu. Tämän jälkeen päätöksenteon tukikerros voi muodostaa tunnistukseen perustuvan tiedon jatkokäsittelyä varten, esimerkiksi merkinnän siitä, että kohde olisi mahdollinen jatkotoimenpiteen kohde. Näin ollen järjestelmä ei tässä työssä vielä suorita kitkettä, vaan tuottaa tunnistustietoa, jota voitaisiin myöhemmin hyödyntää esimerkiksi kohdennetun käsittelyn suunnittelussa.

Palautesilmukka täydentää arkkitehtuuria mahdollistamalla tulosten tallennuksen, tarkastelun ja myöhemmän kehityksen. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kuvia, luokittelutuloksia ja mahdollisia virhetapauksia voidaan kerätä myöhempää analyysiä varten. Tällainen rakenne tukee järjestelmän kehittämistä, koska tunnistuksen virhelähteitä voidaan arvioida jälkikäteen ja käyttää hyväksi menetelmien parantamisessa. Koska työn rajaus kohdistuu tunnistukseen, palautesilmukan merkitys liittyy ennen kaikkea luokittelun kehittämiseen eikä vielä suljetun ohjaussilmukan toteuttamiseen robottitoimilaitteen kanssa.

Viitearkkitehtuurissa visionjärjestelmän rinnalle tarvitaan myös ohjauslogiikka, joka vastaa tunnistustulosten hyödyntämisestä järjestelmätasolla. Tässä ratkaisussa OMRON

FHV7 muodostaa havainto- ja analyysikerroksen, kun taas NX-sarjan logiikka toimii ohjaus- ja integraatiokerroksena. Logiikan tehtävänä on vastaanottaa visionjärjestelmän tulokset, hallita sekvenssejä, aikavalvontoja, käyttötiloja ja I/O-signaaleja sekä välittää päätöstieto mahdollisille jatkotoiminnoille. Näin tunnistus ja laiteohjaus erotetaan arkkitehtuurissa toisistaan, mikä selkeyttää järjestelmän rakennetta ja tukee myöhempiä laajennettavuutta. Päätöstieto mahdollisille jatkotoiminnoille.

4.6 Käyttöönotto, osaamisvaatimukset ja turvallisuus

Pientuotannon näkökulmasta käyttöönoton onnistuminen riippuu suuresti siitä, kuinka paljon järjestelmä vaatii teknistä erityisosaamista. Pakkaussovelluksissa osaamisvaatimus voi jäädä suhteellisen matalaksi, jos järjestelmä toteutetaan rajattuun, ennalta määriteltyyn tehtävään ilman monimutkaista koneoppimista. Sen sijaan konenäköpohjaisessa kitkennässä käyttöönotto edellyttää kameroiden ja robotin koordinaattisten kalibrointia, valaistusratkaisujen hallintaa, datankäsittelyn ymmärtämistä sekä mallin suorituskyvyn arviointia käytännön tilanteissa. Tämä kasvattaa riippuvuutta laitetoimittajasta, integraatioista tai ulkopuolisesta teknisestä tuesta.

Turvallisuuden osalta yhteistyörobotti ei poista sovelluskohtaisten turvatoimien tarvetta. ISO/TS 15066 määrittelee turvallisuusvaatimuksia yhteistyöroboteihin liittyville järjestelmille ja työympäristöille sekä täydentää ISO 10218 -standardien periaatteita. Käytännössä turvallinen toteutus riippuu muun muassa työkalusta, nopeuksista, voimista, työtilasta, ihmisen läheisyydestä ja siitä, millainen vuorovaikutus ihmisen ja robotin välille syntyy. Maatalousympäristössä turvallisuusvaatimuksia lisäävät lisäksi pöly, kosteus, epätasaiset alustat ja vaihtelevat käyttöolosuhteet. Siksi yhteistyörobotin etu pientuotannossa on nähtävä mahdollisuutena joustavaan turvallisuussuunnitteluun, ei oletuksena siitä, että järjestelmä olisi automaattisesti turvallinen ilman lisätoimenpiteitä.

4.7 Taloudellinen toteutettavuus

Taloudellinen toteutettavuus on pientuotannossa ratkaiseva näkökulma, koska investointikyky on rajallinen ja takaisinmaksuajan on oltava perusteltavissa käytännön tuotannon näkökulmasta. Tässä työssä FAIRINO-cobotin käyttö tutkimusalustana on perusteltua, koska valmistaja painottaa kustannusten alentamista, helppokäyttöisyyttä ja matalaa käyttöönoton kynnyksiä. Tämä tekee Fairinosta kiinnostavan vaihtoehdon verrattuna sellaisiin ratkaisuihin, joissa jo pelkän robottialustan hankintahinta muodostaa merkittävän esteen. Silti myös Fairinon cobottipohjaisessa ratkaisussa kokonaisinvestointi muodostuu robotin lisäksi työkalusta, konenäöstä, turvatoiminnoista, ohjelmoinnista, asennuksesta ja käyttöönotosta. Siksi takaisinmaksuajan arvioinnissa on tarkasteltava koko järjestelmäkokonaisuutta, ei pelkkää robottivartta.

Taloudellinen kannattavuus on myös selvästi sovellusriippuvaista. Pakkaus tarjoaa yleensä korkeimman ennustettavuuden, koska käyttöaste voi olla hyvä ja prosessi helposti rajattavissa. Istutus voi olla kannattava erityisesti silloin, kun se toistuu riittävän suurina työvolyymeina hallitussa ympäristössä. Kitkentä sen sijaan vaatii enemmän sensoriikkaa, kalibrointia, ohjelmistoa ja ympäristökohtaista optimointia, minkä vuoksi investoinnin taloudellinen epävarmuus on suurempi. Näin ollen pientuotannon kannalta taloudellisesti järkevin etenemistapa on aloittaa matalamman teknologisen kompleksisuuden sovelluksista ja siirtyä kohti konenäköpainotteisia kenttäsovelluksia vasta silloin, kun järjestelmien hyödyistä, käytettävyydestä ja ylläpidettävyydestä on saatu käytännön kokemusta.

Haastatteluaineiston perusteella taloudelliseen toteutettavuuteen liittyy kuitenkin keskeinen haaste, joka ei suoraan näy perinteisissä investointilaskelmissa. Useat pientuottajat korostivat, että investointien takaisinmaksu on epävarmaa erityisesti siksi, ettei automaation tuomia kustannussäästöjä voida siirtää suoraan tuotteiden hintoihin. Maataloustuotteiden hinnoittelu määräytyy pitkälti markkinoiden ehdoilla, jolloin investoinnin kannattavuus on saavutettava sisäisen tehokkuuden parantamisen kautta.

Lisäksi pientuotannossa työvoimakustannukset eivät aina muodostu ulkopuolisesta palkkatyöstä, vaan merkittävä osa työstä tehdään yrittäjän omalla ajalla. Tällöin automaation tuoma ajansäästö ei välttämättä realisoidu suorana taloudellisena säästönä, vaikka se vähentäisikin työkuormaa. Tämä muuttaa investoinnin arviointiperusteita: taloudellisen hyödyn lisäksi on huomioitava työn kuormittavuuden vähentyminen, toiminnan jatkuvuus ja mahdollisuus vapauttaa aikaa muihin tehtäviin.

Näin ollen cobottien taloudellinen perusteltavuus pientuotannossa ei perustu pelkästään työvoimakustannusten vähentämiseen, vaan laajempaan kokonaisuuteen, jossa korostuvat työn sujuvuus, tuotannon tasalaatuisuus sekä yrittäjän ajankäytön optimointi. Tämä näkökulma tukee myös sitä havaintoa, että matalamman kompleksisuuden sovellukset, kuten pakkaus, ovat usein ensimmäinen askel automaation käyttöönotossa.

5 Johtopäätökset ja kehitysehdotukset

5.1 Pientuottajien näkemykset suhteessa kirjallisuuteen

Tutkimuksen tulokset osoittavat, että pientuottajien työprosesseissa esiintyy useita työvaiheita, joissa automaatiolla voisi olla merkittävää potentiaalia. Kyselytutkimuksen perusteella erityisesti poiminta, lajittelu ja pakkaus tunnistettiin työvaiheiksi, jotka ovat toistuvia ja usein fyysisesti kuormittavia. Samankaltaisia havaintoja on esitetty myös aiemmassa tutkimuksessa, jossa robotiikan ja konenäön on todettu soveltuvan erityisesti toistuviin ja ergonomisesti haastaviin työtehtäviin maataloudessa.

Kirjallisuudessa korostetaan, että cobotit voivat tarjota pk-yrityksille ja pientuotannolle mahdollisuuden automatisoida työvaiheita ilman suuria infrastruktuurimuutoksia. Tässä tutkimuksessa saadut tulokset tukevat tätä näkemystä. Vaikka yksikään kyselyyn vastanneista tuottajista ei ollut vielä käyttänyt robotiikkaa tai konenäköä työssään, suhtautuminen teknologian mahdolliseen hyödyntämiseen oli pääosin varovaisen myönteistä.

Tulokset osoittavat kuitenkin, että pientuottajien näkökulmasta keskeisiä käyttöönoton esteitä ovat investointikustannukset, teknisen osaamisen puute sekä epävarmuus teknologian käytännön hyödyistä. Nämä tekijät nousevat esiin myös kansainvälisessä tutkimuksessa, jossa automaation käyttöönoton on todettu olevan hitaampaa pienimuotoisessa tuotannossa juuri taloudellisten ja osaamiseen liittyvien rajoitteiden vuoksi.

Näin ollen voidaan todeta, että vaikka teknologinen potentiaali on selkeästi tunnistettavissa, käyttöönoton haasteet liittyvät ensisijaisesti ei-teknisiin tekijöihin, kuten taloudellisiin resursseihin ja osaamiseen. Tämä korostaa tarvetta kehittää

ratkaisuja, jotka ovat paitsi teknisesti toimivia myös helposti käyttöönotettavia ja taloudellisesti saavutettavia pientuottajille.

Tulokset voidaan tiivistää kolmeen keskeiseen havaintoon:

- pientuotannossa esiintyy useita työvaiheita, joissa automaatiolla on merkittävää potentiaalia
- suhtautuminen robotiikkaan ja konenäköön on varovaisen myönteistä
- käyttöönottoa rajoittavat erityisesti kustannukset, osaaminen ja epävarmuus hyödyistä

5.2 Tekninen toteutettavuus: kriittinen arvio

Tutkimuksen tekninen tarkastelu osoittaa, että cobottien ja konenäön yhdistäminen muodostaa periaatteessa toimivan ja joustavan automaatiotratkaisun pientuotannon tarpeisiin. Yhteistyörobotit soveltuvat erityisesti ympäristöihin, joissa robotin on toimittava ihmisen läheisyydessä ja työtehtävät vaihtelevat tuotannon aikana.

Konenäköjärjestelmät mahdollistavat robottien ohjauksen visuaalisen tiedon perusteella, mikä lisää automaation joustavuutta verrattuna täysin mekaanisesti ohjattuihin järjestelmiin. Tämä on tärkeää erityisesti pientuotannossa, jossa tuotteiden koko, muoto ja sijainti voivat vaihdella.

Työssä esitetty monispektriseen konenäköön perustuva kitkentäratkaisu toimii esimerkkinä siitä, miten konenäköä voidaan hyödyntää kasvien tunnistamisessa ja robottiohjauksessa. Teknologian soveltamiseen liittyy kuitenkin useita käytännön haasteita. Näitä ovat esimerkiksi valaistusolosuhteiden vaihtelu, järjestelmien kalibrointi sekä kuvankäsittelyn vaatima laskentateho.

Lisäksi konenäköjärjestelmien onnistunut käyttö edellyttää riittävää opetusdataa ja mallien ylläpitoa, mikä voi lisätä teknisiä osaamisvaatimuksia. Pientuotannon näkökulmasta onkin tärkeää, että järjestelmät suunnitellaan mahdollisimman helppokäyttöisiksi ja että niiden käyttöönottoa tuetaan koulutuksella sekä teknisellä tuella.

Teknisen toteutettavuuden kannalta keskeiset haasteet voidaan tiivistää seuraavasti:

- vaihtelevat valaistusolosuhteet heikentävät konenäön luotettavuutta erityisesti ulko-olosuhteissa
- järjestelmien kalibrointi ja parametrien säätö vaativat asiantuntemusta
- kuvankäsittelyn ja koneoppimismallien vaatima laskentateho voi rajoittaa reaaliaikaista käyttöä
- riittävän ja laadukkaan opetusdatan saatavuus voi olla rajoittava tekijä

Näin ollen teknologian periaatteellinen toimivuus on osoitettavissa, mutta käytännön toteutettavuus riippuu merkittävästi käyttöympäristön hallinnasta sekä järjestelmien käytettävyyden tasosta. Erityisesti pientuotannossa korostuu tarve ratkaisuille, jotka toimivat luotettavasti vaihtelevissa olosuhteissa ilman jatkuvaa asiantuntijatason säätöä.

5.3 Taloudellinen toteutettavuus

Taloudellinen tarkastelu osoittaa, että cobottien ja konenäön käyttöönotto pientuotannossa voi olla haastavaa, mikäli investointi kohdistuu yksittäiseen tilaan tai rajalliseen käyttökohteeseen. Automaattoratkaisujen hankintahinta sekä mahdolliset käyttöönotto- ja ylläpitokustannukset voivat muodostaa merkittävän investointikynnyksen pienille toimijoille.

Kannattavuus paranee kuitenkin tilanteissa, joissa samaa järjestelmää voidaan käyttää useissa eri työvaiheissa tai useiden toimijoiden kesken. Esimerkiksi siirrettävät

robottiratkaisut tai yhteiskäyttömallit voivat lisätä laitteiden käyttöastetta ja jakaa investointikustannuksia useamman käyttäjän kesken.

Myös palvelupohjaiset liiketoimintamallit, kuten robotiikan vuokraus tai Robot-as-a-Service-ratkaisut, voivat madaltaa investointikynnystä pientuottajille. Tällöin käyttäjä maksaa järjestelmästä käytön mukaan eikä koko investointia tarvitse tehdä kerralla.

Näin ollen automaation taloudellinen toteutettavuus riippuu merkittävästi siitä, millaisella liiketoimintamallilla teknologiaa tarjotaan sekä kuinka laajasti järjestelmää voidaan hyödyntää tuotannossa.

Taloudellisen kannattavuuden kannalta keskeisiä tekijöitä ovat:

- järjestelmän käyttöaste ja käyttöpäivien määrä
- mahdollisuus hyödyntää samaa ratkaisua useissa työvaiheissa
- investointimalli (omistus, leasing tai palvelupohjainen ratkaisu)
- saavutettavat työvoima- ja tehokkuushyödyt

Eryteisesti pientuotannossa investoinnin kannattavuus ei välttämättä perustu yksittäisen työvaiheen automatisointiin, vaan siihen, kuinka laajasti ja joustavasti järjestelmää voidaan hyödyntää eri käyttökohteissa. Tämä korostaa monikäyttöisten ja siirrettävien ratkaisujen merkitystä.

Lisäksi on huomioitava, että taloudelliseen arvioon liittyy epävarmuutta, koska teknologian hyödyt, kuten työvoiman säästö, tuotannon tehostuminen ja laadun paraneminen, voivat vaihdella merkittävästi käyttöympäristön mukaan. Tämän vuoksi käytännön pilotointihankkeet ovat keskeisiä investointien kannattavuuden arvioimisessa.

5.4 Keskeiset löydökset

Tutkimuksen perusteella voidaan tunnistaa kolme keskeistä löydöstä, jotka kuvaavat cobottien ja konenäön mahdollisuuksia pientuotannossa.

Ensinnäkin pientuottajien työprosessit sisältävät useita työvaiheita, joissa automaatiolla on selkeä potentiaali. Erityisesti poiminta, lajittelu ja pakkaus ovat toistuvia ja fyysisesti kuormittavia tehtäviä, joissa cobottien hyödyntäminen voisi vähentää työkuormaa ja parantaa tuotannon tehokkuutta.

Toiseksi pientuottajien suhtautuminen robotiikkaan ja konenäköön on varovaisen myönteistä, mutta käyttöönottoa rajoittavat taloudelliset ja osaamiseen liittyvät tekijät. Investointikustannukset, teknisen osaamisen puute sekä epävarmuus teknologian käytännön hyödyistä hidastavat päätöksentekoa ja korostavat tarvetta helposti käyttöönotettaville ratkaisuille.

Kolmanneksi cobottien ja konenäön yhdistelmä muodostaa potentiaalisesti joustavan ja pientuotantoon soveltuvan automaattioratkaisun. Teknologian hyödyntäminen edellyttää kuitenkin sovellusten huolellista valintaa, riittävää käyttöastetta sekä järjestelmien käytettävyyttä tukevia ratkaisuja. Näin ollen käytännön soveltamisessa korostuu vaiheittainen eteneminen yksinkertaisemmista sovelluksista kohti vaativampia konenäköpohjaisia ratkaisuja.

5.5 Tutkimuksen rajoitukset

Tutkimukseen liittyy useita rajoituksia, jotka tulee huomioida tuloksia tulkittaessa. Rajoitukset liittyvät erityisesti aineiston laajuuteen, tutkimusmenetelmiin sekä tarkastelun luonteeseen esiselvityksenä.

Ensimmäinen keskeinen rajoitus liittyy kyselytutkimuksen pieneen otoskokoon. Kyselyyn vastasi viisi pientuottajaa ($n = 5$), minkä vuoksi tuloksia voidaan pitää lähinnä suuntaa antavina. Aineisto ei mahdollista tilastollisesti yleistettäviä johtopäätöksiä, ja laajempi vastaajajoukko voisi tuottaa tarkemman ja edustavamman kuvan pientuottajien tarpeista, haasteista ja suhtautumisesta automaatioon.

Toinen rajoitus liittyy aineistonkeruun luonteeseen. Tutkimuksessa hyödynnetyt haastattelut olivat pääosin puolistrukturoituja ja osittain vapaamuotoisia, eivätkä ne noudattaneet täysin yhtenäistä lomakerakennetta. Haastattelujen kulkua ohjasivat esiin nousseet teemat, ja niiden aikana tehtyjä muistiinpanoja hyödynnettiin tulosten tulkinnassa. Tämä lähestymistapa mahdollisti ilmiön joustavan ja syvällisemmän tarkastelun, mutta heikentää aineiston vertailtavuutta ja toistettavuutta.

Kolmas rajoitus liittyy tutkimuksen luonteeseen esiselvityksenä. Työssä tarkasteltiin cobottien ja konenäön sovellettavuutta pääasiassa kirjallisuuden, markkina-analyysin sekä konseptitason ratkaisujen kautta. Tutkimus ei sisältänyt varsinaisia laitteistokokeita tai kenttätestejä, mikä rajoittaa esitettyjen ratkaisujen käytännön toimivuuden arviointia.

Lisäksi konenäköön ja koneoppimiseen perustuvien ratkaisujen suorituskykyä ei validoitu todellisessa tuotantoympäristössä. Käytännön sovelluksissa järjestelmien toimintaan vaikuttavat esimerkiksi valaistusolosuhteiden vaihtelu, kohteiden luonnollinen variaatio sekä käyttöympäristön muut tekijät, minkä vuoksi todellinen suorituskyky ja käyttöönoton haasteet voivat poiketa tässä tutkimuksessa esitetystä teoreettisesta arviosta.

Edellä esitetyt rajoitukset huomioiden tutkimuksen tuloksia voidaan pitää suuntaa antavina, mutta ne tarjoavat perustellun lähtökohdan jatkotutkimukselle ja käytännön sovellusten kehittämiseksi.

5.6 Suositukset jatkotutkimukselle

Jatkotutkimuksessa olisi tärkeää siirtyä konseptitasolta kohti käytännön pilotointia. Käytännön kokeilut pientuotannon todellisissa työympäristöissä voisivat tuottaa arvokasta tietoa teknologian toimivuudesta sekä käyttöönottoon liittyvistä haasteista.

Lisäksi jatkotutkimuksessa olisi hyödyllistä tarkastella tarkemmin robotiikan taloudellisia toteutusmalleja pientuotannossa. Erityisesti yhteiskäyttöön perustuvat ratkaisut, leasing-mallit sekä palvelupohjaiset robotiikkaratkaisut voivat tarjota realistisen tavan madaltaa investointikynnystä.

Kolmantena tutkimussuuntana voidaan pitää koulutuksen ja osaamisen kehittämistä. Mikäli robotiikka ja konenäkö yleistyvät pientuotannossa, tarvitaan uusia koulutusratkaisuja, jotka tukevat tuottajien teknologista osaamista sekä helpottavat järjestelmien käyttöönottoa.

Kokonaisuutena tutkimus osoittaa, että cobottien ja konenäön yhdistelmä tarjoaa merkittävää potentiaalia pientuotannon automatisointiin, mutta käyttöönotto edellyttää sekä teknisten että taloudellisten haasteiden ratkaisemista. Teknologian laajempi hyödyntäminen edellyttää erityisesti pilotointihankkeita, kustannustehokkaita liiketoimintamalleja sekä käyttäjälähtöistä suunnittelua.

Lähteet

- Ariat Technology. (2025). *Voima-anturit: rakenne, tyypit ja vinkit*. Noudettu 12.1.2026 osoitteesta <https://www.ariat-tech.fi/blog/guide-to-force-sensors-how-they-work,types,and-ways-to-improve-accuracy.html>
- Backman, J. (2020). *Peltorobotit ja robottitraktorit*. Digimaatalous. Noudettu 10.9.2025 osoitteesta <https://www.digimaatalous.fi/peltorobotit-ja-robottitraktorit/>
- Biba, J. (2023). *Machine vision: Definition, examples and applications*. Built in. Noudettu 1.11.2025 osoitteesta <https://builtin.com/machine-learning/machine-vision>
- Cognex. (2026). *Machine vision solutions*. Noudettu 1.11.2025 osoitteesta <https://www.cognex.com/products/machine-vision>
- DLG e.V. (2019). AgriRobot [Kuva]. Noudettu 22.3.2026 osoitteesta <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:AgriRobot.jpg>
- Duckett, T., Pearson, S., Blackmore, S., & Grieve, B. (2018). *Agricultural robotics: The future of robotic agriculture. UK-RAS White Paper*. <https://arxiv.org/abs/1806.06762>
- European Editors (2011). *Machine Vision System* [kuva]. Noudettu 22.3.2026 osoitteesta https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Machine_Vision_System.jpg
- Fairino. (2026-a). *Collaborative robot — introduction and WebApp teaching*. Noudettu 12.1.2026 osoitteesta <https://manual.fairino.support/latest/CobotsManual/access.html>
- Fairino. (2026-b). *Version V3.9.1 — PTP/LIN commands & Lua scripting*. Noudettu 12.1.2026 osoitteesta https://manual.fairino.support/latest/CobotsManual/version_intro.html
- Fairino. (2026-c). *frcobot_ros – ROS, Python and C++ SDK integration*. Noudettu 12.1.2026 osoitteesta <https://manual.fairino.support/latest/ROSGuide/index.html>
- Fairino. (2026-d). *7. Safety — collaborative robot safety features*. Noudettu 12.1.2026 osoitteesta <https://manual.fairino.support/latest/CobotsManual/safety.html>

- Fairino. (2026-e). 14. *Applications — cobot use cases and integration*. Noudettu 12.1.2026 osoitteesta <https://manual.fairino.support/latest/CobotsManual/application.html>
- Fairino. (2026-f). *3D Vision — FAIR Ecological Products (NANO-Pro camera, Orbbec Gemini 2)*. Noudettu 12.1.2026 osoitteesta <https://www.fairino.com/3DVision>
- Fairino. (2026-g). *frcobot_ros — FAIRINO Collaborative Robot User Manual (ROS/ROS2/MoveIt-integraatiot, SDK)*. Noudettu 12.1.2026 osoitteesta <https://manual.fairino.support/latest/ROSGuide/index.html>
- Fairino Europe. (n.d.). *Fairino collaborative robots*. Noudettu 22.3.2026 osoitteesta <https://fairino.info/>
- Hautala, M., Heikkilä, M., Kippola, T., Koskela, M., & Saukko, O. (2021). *Uudet älymaatalouden teknologiat testikentällä*. Centria Bulletin. Noudettu 10.9.2025 osoitteesta <https://centriabulletin.fi/alymaatalouden-teknologiat/>
- Herrala, E. (2017). *Guide to Selecting Hyperspectral Instruments*. Specim, Spectral Imaging Oy Ltd. Noudettu 1.3.2026 osoitteesta <https://www.specim.com/guide-to-selecting-hyperspectral-instruments-thx/>
- Innovando. (2024). *Industria 5.0: Robot collaborativi entrano in fabbrica*. Noudettu 10.9.2025 osoitteesta <https://fi.innovando.news/industria-5-0-robot-collaborativi-entrano-fabbrica/>
- Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 70–90. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.016>
- Kotaniemi, J., Käsäkoski, N., Halbach, E., & Heikkilä, T. (2025). *A weeding robot for seedling removal*. VTT Technical Research Centre of Finland. <https://cris.vtt.fi/en/publications/a-weeding-robot-for-seedling-removal/>
- Lamb, D. W., Whelan, B., & Lehnert, C. (2017). *Weed detection in precision agriculture: A review of sensor-based approaches*. *Computers and Electronics in Agriculture*, 141, 10–26. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.07.001>
- Latokartano, J. (2023). *Yhteistoiminnallisen robottisolun turvallistaminen*. Teoksessa K. Välimäki & M. Niemelä (toim.), *Teollisuuden Robotiikka* (s. 112–113). Suomen robotiikkayhdistys Ry.

- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). *Deep learning*. *Nature*, 521(7553), 436–444.
<https://doi.org/10.1038/nature14539>
- Li, L., Zhang, Q., & Huang, D. (2014). A review of imaging techniques for plant phenotyping. *Sensors*, 14(11), 20078–20111. <https://doi.org/10.3390/s141120078>
- Lucasbosch (2021). Mono, Multi and Hyperspectral Cube and corresponding Spectral Signatures [kuva]. Noudettu 22.3.2026 osoitteesta <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mono, Multi and Hyperspectral Cube and corresponding Spectral Signatures.svg>
- Luonnonvarakeskus. (n.d.). *Robottiikka ja tekoöly mullistavat tulevaisuuden viljelyn*. Noudettu 10.9.2025 osoitteesta <https://www.luke.fi/fi/robotiikka-ja-tekoaly-mullistavat-tulevaisuuden-viljelyn>
- Malm, T., Salmi, T., Marstio, I., & Aaltonen, I. (2019). Are collaborative robots safe? Teoksessa *Automaatiopäivät 23* (s. 110–117). Suomen Automaatioseura. https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/2398/procap23110_malmsma.pdf
- Omron. (2025-a). *FHV7 Smart Camera – The Single Camera FH Vision System*. Noudettu 12.1.2026 osoitteesta <https://automation.omron.com/en/us/products/family/FHV7>
- Omron. (2025-b). *FHV7 Series Smart Camera/Lineup*. Noudettu 12.1.2026 osoitteesta <https://www.ia.omron.com/products/family/3740/lineup.html>
- Omron. (2025-c). *Smart Camera FHV7 Series flexibility meets ever-changing needs (datasheet)*. Noudettu 12.1.2026 osoitteesta https://files.omron.eu/downloads/latest/datasheet/en/q264_fhv7_smart_camera_datasheet_en.pdf
- Omron Suomi. (2026). *FHV7 Smart Camera*. Noudettu 22.3.2026 osoitteesta <https://industrial.omron.fi/fi/products/fhv7>
- OpenAI. (2026). ChatGPT (versio 2026) [laaja kielimalli]. Noudettu 20.3.2026 osoitteesta <https://chat.openai.com/>

- Pan, S. J., & Yang, Q. (2010). *A survey on transfer learning*. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 22(10), 1345–1359. <https://doi.org/10.1109/TKDE.2009.191>
- PetjaTouuru. (2012). Lightcurtain fi [kuva]. Noudettu 22.3.2026 osoitteesta https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lightcurtain_fi.svg
- PTE MIK (2021). FANUC robot programozása és használata a PTE MIK-en [kuva]. Noudettu 22.3.2026 osoitteesta https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FANUC_robot_programoz%C3%A1sa_%C3%A9s_haszn%C3%A1lata_a_PTE_MIK-en.jpg
- Shepard, J. (2024). *Kuinka turvalaserskannerit voivat suojata ihmisiä ja koneita*. DigiKey. Noudettu 12.1.2026 osoitteesta <https://www.digikey.fi/fi/articles/how-safety-laser-scanners-can-protect-people-and-machines?>
- Siltala, N. & Gautam, M. (2023). *Konenäkö*. Teoksessa K. Välimäki & M. Niemelä (toim.), *Teollisuuden Robotiikka* (s. 171–186). Suomen robotiikkayhdistys Ry.
- Villani, V., Pini, F., Leali, F., & Secchi, C. (2018). *Survey on human–robot collaboration in industrial settings: Safety, intuitive interfaces and applications*. Mechatronics, 55, 248–266. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2018.02.009>
- Wang, C., Song, C., Xu, T., & Jiang, R. (2025). Precision weeding in agriculture: A comprehensive review of intelligent laser robots leveraging deep learning techniques. Agriculture, 15(11), 1213. <https://doi.org/10.3390/agriculture15111213>
- Wang, M., Deng, W., & Hu, J. (2020). *Deep learning for plant disease recognition: Challenges and solutions*. Computers and Electronics in Agriculture, 173, 105393. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105393>
- Zhang, C., & Kovacs, J. M. (2012). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review. *Precision Agriculture*, 13(6), 693–712. <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9274-5>
- Zhang, W., Lottes, P., & Stachniss, C. (2022). Review of current robotic approaches for precision weed management. Computers and Electronics in Agriculture, 202, 107325. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107325>

Liitteet

Liite 1. Kysely robotiikasta ja konenäöstä kausitöissä

1. Kuinka monta henkilöä yrityksessäsi työskentelee?

1–3

4–10

Yli 10

2. Mitkä ovat yleisimmät kausityöt yrityksessäsi? Valitse kaikki, jotka soveltuvat.

Poiminta

Lajittelu

Pakkaus

Muu, mikä?

3. Oletko käyttänyt tai tutustunut robotiikkaan (kuten cobotteihin) tai konenäköön työssäsi?

Kyllä

En

4. Kuinka kiinnostunut olet ottamaan käyttöön cobotteja tai konenäköä kausitöissäsi?

Erittäin kiinnostunut

Jonkin verran kiinnostunut

En kovin kiinnostunut

En lainkaan kiinnostunut

5. Mitkä haasteet tällä hetkellä vaikeuttavat kausitöiden suorittamista? Valitse kaikki, jotka soveltuvat.

Fyysinen rasitus

Työn toistuvuus

Työn tehokkuus

Laadunvalvonta

Muu, mikä?

Ei mikään edellisistä

6. Mitkä ominaisuudet robotiikassa tai konenäössä ovat sinulle tärkeimpiä? Valitse kaikki, jotka soveltuvat.

Helppokäyttöisyys

Kustannustehokkuus

Siirrettävyys

Luotettavuus

Muu, mikä?

Ei mikään edellisistä

7.Haluaisitko osallistua syvällisempään haastatteluun, jossa keskustellaan tarkemmin tarpeistasi ja mahdollisuuksista?

Ei

Kyllä (jätä yhteystietosi alle)