



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

# Tämä on alkuperäisen artikkelin rinnakkaistallenne (kustantajan versio).

**Viite:**

Hirvonen, J. 2020. Konenäkö SeAMKin opetuksessa ja tutkimuksessa. Teoksessa: S. Päällysaho, P. Junell, J. Latvanen, S. Saarikoski & S. Uusimäki (toim.) Seinäjoen ammattikorkeakoulu 2020: Osaamista strategian vahvuusaloilla. Seinäjoki: Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja A. Tutkimuksia 33, 47 - 57.



# KONENÄKÖ SEAMKIN OPETUKSESSA JA TUTKIMUKSESSA

*Juha Hirvonen, TkT, yliopettaja  
SeAMK Tekniikka*

## 1 JOHDANTOA

Teollisuus 4.0 on trendikäs nimitys neljännelle teolliselle vallankumoukselle, jonka moni katsoo olevan käynnissä. Teollisuus 4.0:n ytimessä ovat toistensa kanssa viestivät älykkäät laitteet, ja konenäkö on yksi sen avainteknologioista (Coffey 2018). Konenäöllä tarkoitetaan kameran ottamasta kuvasta automaattisesti tehtävää mittausta ja päätöksentekoa, ja sillä on lukuisia käyttötarkoituksia moninaisilla sovellusalueilla tuotannosta laaduntarkkailuun ja viihteestä elektroniseen valvontaan. Tutuimpia kuluttajasovelluksia ovat QR-koodin lukeminen kännykällä, kasvontunnistus sekä rekisterikilven tunnistus automaattisissa parkkihalleissa. On ennustettu, että globaalin teollisen konenäkömarkkinan arvo kasvaa 17 miljardiin dollariin vuoteen 2026 mennessä (Coffey 2018). Tämä tarkoittaisi markkinan liki kaksinkertaistumista vuoden 2017 tilanteesta (Coffey 2018).

Teknologian merkittävyys on havaittu myös paikallisesti. Konenäkö nousi toiselle sijalle, kun eteläpohjalaisilta teollisuusyrityksiltä kysyttiin niiden tärkeimpiä robotiikkaan liittyviä koulutustarpeita parhaillaan käynnissä olevassa jatkuvaa oppimista edistävässä EU-rahoitteisessa hankkeessa (Luomanmäki & Arola 2020). On siis tärkeää, että SeAMK Tekniikka osaltaan edistää konenäkö tietoisuutta ja -osaamista maakunnassa. Tämä paperi esittelee konenäön roolia SeAMKin tekniikan yksikön opetuksessa ja hanketoiminnassa. Artikkelisi esittelee opetuslaboratorion laitekannan sekä luo katsauksen konenäön näkyvyyteen tekniikan yksikön automaatiotekniikan koulutusohjelman AMK- ja YAMK-kurssitarjonnassa. Myös konenäköön liittyvä hanketoiminta esitellään. Artikkelissa käydään läpi vuoden sisällä tehdyt konenäköaiheiset opinnäytetyöt ja näin konkretisoidaan konenäön laajoja käyttötarkoituksia yrityksissä sekä niiden tarvetta konenäköosaajille. Lopussa luodaan lyhyt katsaus konenäön tulevaisuuteen SeAMKissa.

## 2 YLEISTÄ KONENÄÖSTÄ

### 2.1 Konenäkötyypit

Konenäkö voidaan jakaa perinteiseen heuristiseen konenäköön ja koneoppimista hyödyntävään konenäköön. Perinteisessä konenäössä ihminen muodostaa säännöt kuvan tulkinnalle, koneoppimista hyödyntävässä konenäössä tietokoneohjelma puolestaan oppii itse säännöt sille esimerkkinä annettujen suurten kuvamassojen perusteella.

Klassinen konenäkö toimii loistavasti tilanteissa, joissa kuvaolosuhteet pystytään vakioimaan ja erot kuvattavien kohteiden välillä ovat kohtalaisen pieniä. Hyvä esimerkki tästä on kappaletavaravalmistus. Kamera voidaan asemoida esimerkiksi liukuhihnan yläpuolelle kuvaamaan hihnalla kulkevia piirilevyjä, joiden tulisi olla keskenään samanlaisia. Kuvausetäisyys pysyy vakiona ja valaistus saadaan pidettyä samanlaisena kuvanotossa suojaamalla kuvauspiste hajavalolta ja käyttämällä teollista valaisinta. Koska piirilevyjen muoto ja komponenttien paikat ovat tarkasti määriteltäviä, ihminen pystyy muodostamaan säännöt tarkastukselle. Esimerkiksi: 200 pikseliä piirilevyn vasemmasta yläkulmasta oikealle ja 150 pikseliä alas tulisi olla musta ympyrä, jonka halkaisija on 50 pikseliä. Ylipäättään ennustettavien osien paikoituksessa, kohdistamisessa ja mittaamisessa perinteinen konenäkö on edelleen todella tehokas työkalu.

Koneoppimiseen perustuva konenäkö soveltuu ennakoimattomiin olosuhteisiin ja vaihteleviin kohteisiin. Hyvä esimerkki on itsestään ajava auto. Auton kamerajärjestelmien pitää tunnistaa muut tienkäyttäjät aamulla, illalla, auringon paistessa vastaan, sateessa sekä sumussa, ja lisäksi sekä autot, moottoripyöräilijät, pyöräilijät että jalankulkijat saattavat erota toisistaan merkittävästi ja olla etäisyyden mukaan hyvin erikokoisia kuvassa. Sääntöjen muodostaminen vaikkapa jalankulkijan tunnistamiseen kuvasta on siis äärimmäisen vaikeaa, joten sen sijaan tietokoneohjelmalle voidaan antaa 10 miljoonaa esimerkkikuvaa jalankulkijasta, joiden pohjalta sen tulee itse muodostaa säännöt tunnistamiselle. Toinen hyvä esimerkki koneoppimiseen perustuvan konenäön käyttökohteesta on käsin kirjoitetun tekstin tunnistaminen. Tässä kuvaolosuhteet onnistutaan kyllä vakioimaan, mutta eri ihmisten kirjoittamat kirjaimet saattavat olla niin erinäköisiä, että sääntöjen muodostaminen vaikkapa k:n tunnistamiseksi on todella vaikeaa. Tyypillinen koneoppimiseen perustuva konenäöllä ratkaistava ongelma onkin juuri objektien luokittelu eri kategorioihin. Käytettyjä menetelmiä ovat esimerkiksi neuroverkot ja tukivektorikoneet.

## 2.2 Konenäköjärjestelmät

Käytettävät järjestelmäarkkitehtuurit voidaan jakaa PC-pohjaisiin järjestelmiin, älykameroihin ja sulautettuihin järjestelmiin (Liu ym. 2015, 3). Kaikilla arkkitehtuureilla on omat etunsa, ja ne käsitellään lyhyesti tässä.

PC-pohjaisissa järjestelmissä tietokoneeseen esim. verkkokaapelin avulla liitetty konenäkökamera ottaa kuvan ja lähettää sen tietokoneelle analysoitavaksi. Tietokoneohjelma hoitaa siis varsinaisen laskennan ja tulosten tallettamisen. Ohjelmoinnissa voidaan käyttää esimerkiksi avoimen lähdekoodin OpenCV-kirjastoa tai kaupallisia ohjelmistoja, ja ohjelmoija kirjoittaa tarkistusrutiinit itse. Tämä antaa ohjelmoijalle suuren vapauden menetelmien suhteen, mutta ohjelman tekeminen voi olla hieman hidasta. Samalle PC:lle voidaan tarvittaessa liittää useampia kameroita. Kuvien siirto kameralta PC:lle aiheuttaa järjestelmiin luonnollisesti hieman viivettä.

Älykamera hoitaa sekä kuvaamisen että laskennan ja tulosten tallettamisen itse. Ohjelmoinnin ajaksi älykamera liitetään tietokoneeseen, jossa käyttäjä rakentaa ohjelman käyttämällä kameravalmistajan toimittamaa graafista käyttöliittymää ikään kuin yhdistelemällä erilaisia palikoita. Ohjelman rakentaminen on helpompaa ja nopeampaa kuin rivi kerrallaan koodaamalla, mutta ohjelmapalikoiden tarkka toteutus ei ole käyttäjän tiedossa, ja ohjelman rakentaminen on rajoituneempaa kuin kirjoittaessa ohjelma itse. Koska kuvia ei tarvitse lähettää muualle analysoitavaksi, siirtoviiveitä ei ole. Älykameran etuna on myös valmiit liitännät ohjelmitaviin logiikoihin, joten se on nopea integroida tuotantolinjaan. Älykameroita on perinteisesti käytetty perinteisen konenäön tarkistuksiin tuotannossa, mutta aivan viime aikoina älykameroihin on tullut myös koneoppimisominaisuuksia (esim. Cognex 2020). Älykameroiden hinnat ovat luonnollisesti korkeampia kuin pelkästään kuvaamiseen käytettyjen kameroiden.

Sulautetut järjestelmät ovat tavallaan välimuoto kahdesta edellisestä, ja niitä voisi pitää tee-se-itse-älykameroina. Sulautetut järjestelmät ovat itsenäisiä kokonaisuuksia, jotka hoitavat kuvaamisen, laskennan ja tulosten tallennuksen, ja ne voidaan ohjelmoida kokonaan itse. Niiden kanssa työskentely vaatii paljon ammattitaitoa, mutta antaa toisaalta paljon vapautta kehitystyölle. Sulautetut järjestelmät hyödyntävät yleensä joko FPGA- tai GPU-piirejä (Liu ym. 2015, 12 - 13). Kuva 1 esittelee tässä esiteltyt kameratyypit.

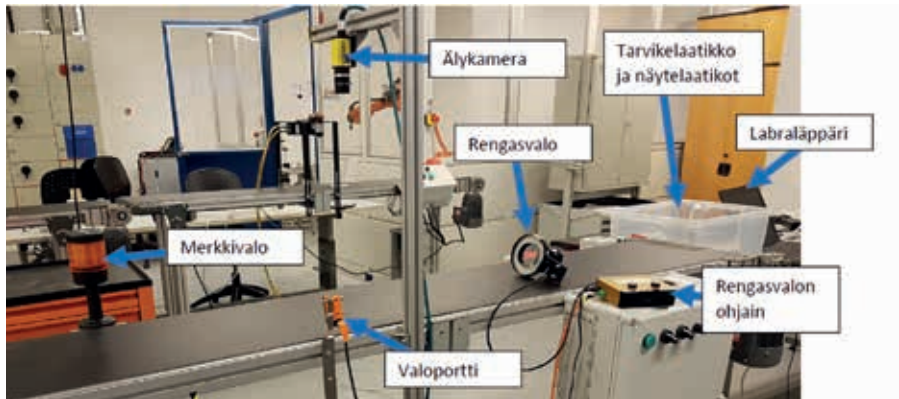


Kuva 1. Konenäkökamera (vas.), älykamera (kesk.) ja FPGA-pohjainen sulautettu kamerajärjestelmä (oik.) (SAMK automaation tutkimusryhmä, [viitattu: 12.8.2020]; Element14 2014).

## 3 TEKNIKAN YKSIKÖN OPETUSTARJONTA

### 3.1 Laboratorio ja laitteisto

Tekniikan yksikön robotiikan laboratoriossa on oma konenäölle omistettu nurkkausensa. Ensimmäiset laitteet hankittiin Future machine vision -hankkeen yhteydessä vuonna 2013 ja laitteistoa päivitetään jatkuvasti. Kuvauslaitteina laboratoriossa on Cognex In-Sight Micro 1403 -älykamera, Basler acA1600-60gm -konenäkökamera ja LMI Technologiesin Gocator 2340A-3R-01 -laserskanneri, jolla voidaan kuvata pinnan 3D-profiili. Älykameran ja laserskannerin kanssa käytetään valmistajien tarjoamia ohjelmistoja, konenäkökameralle annetaan käskyjä sen ohjelmointirajapinnan kautta Python-ohjelmointikielellä. Älykamera ja laserskanneri on asennettu omien liukuhihnakuljettimiensa yläpuolelle, jolloin niillä voidaan simuloida tuotantolinjamaista käyttöä. Laboratoriossa on lisäksi Latabin valmistamia erilaisia valaisimia sekä muutama itse tehty valaisin, ja niillä voidaan havainnollistaa valaistuksen vaikutusta kuvaamiseen. Kuva 2 esittelee älykameralaitteiston.



**Kuva 2.** Älykameralaitteisto. Älykamera on kuljettimen yläpuolella, ja kuljettimen reunaan liitetty valoportti laukaisee rengasvalon (kiinnitetään kameraan) sekä kameran kuvanoton, kun kappale liikkuu liukuhihnalla pitkin älykameran ali. Merkkivalo voidaan asettaa välähtämään konenäkö tarkastuksen lopputuloksen perusteella. Taustalla näkyy myös laserskannerilaitteisto.

### 3.2 Automaatiotekniikan perusopiskelijoille suunnatut kurssit

Vuodesta 2013 alkaen järjestetyllä kurssilla Konenäkö opiskelija tutustuu Cognexin älykameran käyttöön ja perustarkastusten tekemiseen sillä. Opiskelija harjoittelee kappaleen tunnistusta, virheiden etsimistä, värin tunnistusta sekä tekstin ja viivakoodien lukemista. Lisäksi tutustutaan laserskannerin käyttöön. Kurssilla käydään läpi myös optiikan ja valaistuksen määrittely sekä kuvanmuodostuksen perusteet.

Syksyllä 2019 alkaneella kurssilla Konenäkömenetelmät ja -sovellukset opetellaan luomaan konenäkömenetelmiä itse Python-ohjelmointikieltä ja OpenCV-kirjastoa käyttämällä. Kurssilla tutustutaan tarkemmin kuvanmuodostukseen ja kuvan esittämiseen tietokoneen muistissa sekä opetellaan digitaalista kuvankäsittelyä kuten suodattamista, segmentaatiota ja morfologisia operaatioita. Segmentoitu kuva voidaan jakaa yhtenäisiin alueisiin, joita päästään analysoida tarkemmin alueiden koon ja muodon perusteella. Näin voidaan tunnistaa kuvasta tietty objekti ja tarkistaa sen mitat. Kurssilla käydään läpi myös geometriset sovitukset (kuten viivan ja ympyrän sovittaminen kuvaan), piirteiden tunnistus ja kuvamuunnokset (esimerkiksi perspektiivimuunnos).

Vuonna 2018 aloitetulla kurssilla tekoälyn matematiikka on myös konenäköön liittyviä osa-alueita. Kurssilla mm. harjoitellaan käsin kirjoitettujen numeroiden tunnistamista sekä kuvan pakkaamista. Mikkonen (2019) esittelee julkaisussaan tarkemmin kurssin sisältöä.

Lisäksi projektityökurssilla on tehty useita konenäköön liittyviä projekteja web-kameran sekä mikrokontrolleripiirien kuten Raspberry Pi, Arduino ja ESP avulla. Yhtenä esimerkkinä on vuoden 2019 Tekniikan messujen robottikilpailuun tehty nelipyöräinen robotti, joka seurasi laserosoitinta. Tämä on yksinkertainen esimerkki sulautetusta kamerajärjestelmästä.

### 3.3 Automaatiotekniikan ylempään ammattikorkeakoulututkintoon kuuluvat kurssit

Lukuvuonna 2019 - 2020 ensimmäistä kertaa toteutetulla kurssilla tuotantoautomaatio paneudutaan konenäön ja robotin yhteistoimintaan. Kurssilla käytetään kaikkia konenäkölaboratorion kuvauslaitteita ja suoritetaan niillä itsenäiset harjoitustyöt. Sen lisäksi opiskelijat suorittavat itsenäiset harjoitustyöt Universal Robotin yhteistyörobotilla, jossa on kamera, sekä Fanucin 6-akseliteollisuusrobotilla Fanucin omaa IrVision-konenäkösovellusta hyödyntäen.

Niin ikään lukuvuonna 2019 - 2020 lanseeratulla kurssilla tekoälyn sovellukset teollisuudessa käydään läpi koneoppimisen ja neuroverkkolaskennan pääperiaatteita. Lisäksi mukana on esimerkkejä sovelluksista.

## 4 TKI-TOIMINTA

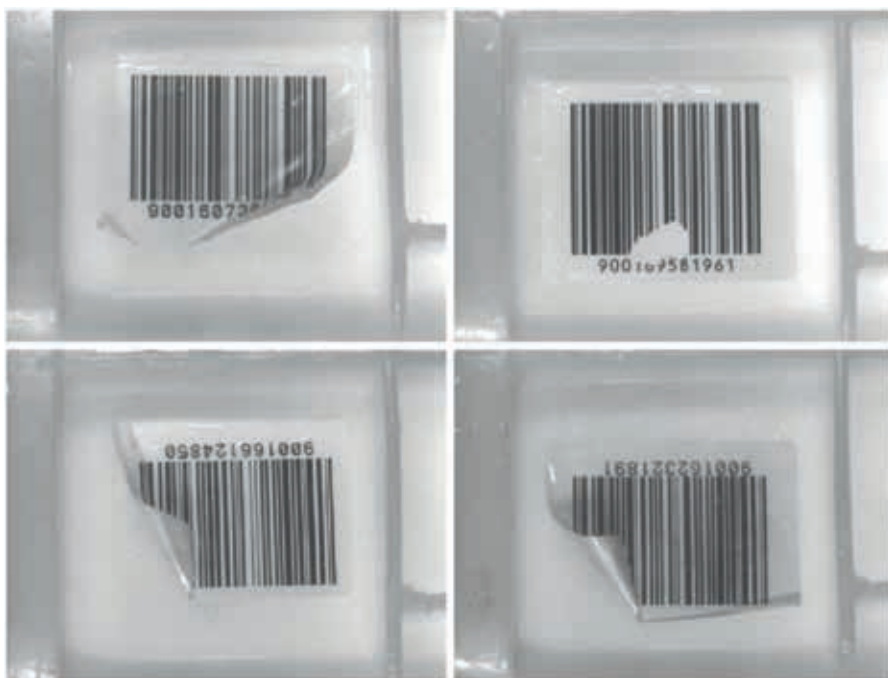
Vuosina 2013 - 2015 toteutetusta Future machine vision -hankkeesta lähtien konenäöllä on ollut keskeinen sija myös tekniikan yksikön TKI-toiminnassa. Vuosina 2016 - 2019 käynnissä olleessa 5VTA tekniikka -hankkeessa hyödynnettiin älykameraa elintarvikepakkausten tunnistamisessa kuljettimelta. Vuoden 2018 alussa alkaneessa ja keväällä 2020 päättyneessä Mixed reality and collaborative robotics -hankkeessa hyödynnettiin yhteistyörobotin käsivarteen kiinnitettyä kameraa kappaleiden orientaation tunnistamisessa poimintaa varten. Keväällä 2019 alkaneessa ja edelleen käynnissä olevassa Training 4.0: robotiikka -hankkeessa on järjestetty laaja webinaari konenäön peruskäytöstä robotiikassa. Uusimpana tulokkaana on syksyllä 2020 alkava Laadusta kilpailukykyä konenäöllä -hanke, joka keskittyy erityisesti koneoppimisen soveltamiseen teollisuusyritysten laadunvalvonnassa. Training 4.0: robotiikka on Euroopan sosiaalirahaston rahoittama, muut hankkeet on rahoittanut Euroopan aluekehitysrahasto.

## 5 OPINNÄYTETYÖT

Tämä kappale esittelee lyhyesti viimeaikaisia konenäköön liittyviä opinnäytetöitä. Kirjoittaja on toiminut ohjaajana kaikissa esitellyissä töissä.

### 5.1 Viivakooditarrojen tarkastus

Taipale (2020) käsitteli opinnäytetyössään viivakooditarrojen automaattista kuvaan perustuvaa laadunvarmistusta. Työn toimeksiantaja Atria käyttää järjestelmissään muovisia pakkauslaatikoita, joihin tuotteet pakataan ja joissa ne toimitetaan asiakkaalle asti. Pakkauslaatikoiden tunnistamiseen ja seuraamiseen käytetään niihin kiinnitettyjä viivakooditarroja. Ongelmana on tarrojen likaantuminen, repeäminen ja osittainen irtoaminen, joka aiheuttaa lukuvirheitä. Kuva 3 esittelee neljä esimerkkiä vikaantuneesta viivakooditarrasta. Jokainen laatikoiden kierto alkaa niiden pesusta, joka on tarroille hyvin kuluttava toimenpide. Pesupisteen jälkeen on valvontapiste, joka kuvaa viivakooditarrat. Taipale kehitti työssään menetelmän, jonka avulla vikaantuneilla viivakooditarroilla merkityt laatikot tunnistetaan automaattisesti ja saadaan poistettua järjestelmästä uusien tarrojen kiinnitystä varten. Suomen automaatioseura myönsi Taipaleelle opinnäytetyöstään stipendin.

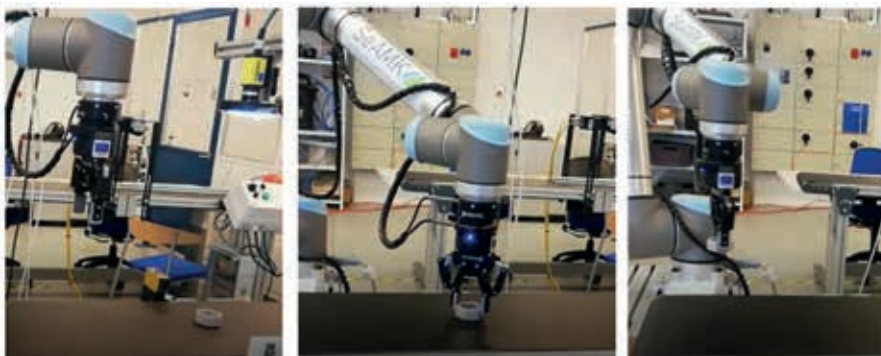


Kuva 3. Huonokuntoisia viivakooditarroja (Taipale 2020).



## 5.2 Kappaleen automaattinen poiminta liukuhihnalta

Kivinummi (2020) tarkasteli opinnäytetyössään satunnaisenmuotoisen kappaleen automaattista poimintaa liikkeestä liukuhihnalta älykameraa ja yhteistyörobotia käyttämällä. Työn tarkoituksena oli selvittää toimeksiantajan tulevia projekteja varten tällaisen yhdistelmän vaatimukset ja saada kokemusta sen käytöstä. Työssään Kivinummi selvitti laitteistovaatimukset, kokosi testipenkin, ratkaisi robotin kommunikoinnin älykameran ja liukuhihnan kanssa ja teki poimintakokeita järjestelmällä. Poimintakokeissa erilaisia 3D-tulostettuja kappaleita poimittiin liikkeestä liukuhihnalta luotettavasti. Kappaleen kulkiessa ensin älykameran ali se kuvattiin ja sen sijainti hihnalla sekä oikea tarttumiskohta selvitettiin automaattisesti kuvasta ja lähetettiin robotille. Robotti sai myös liukuhihnalta tiedon kappaleen etenemisnopeudesta. Kun kameran ja robotin välinen etäisyys tunnettiin, näiden tietojen perusteella kappaleet voitiin poimia automaattisesti liikkeestä. Kuvassa 4 on kuvasarja poimintakokeesta. Työssä suunniteltu järjestelmä toimii mallina toimeksiantajalle mahdollisia tulevia projekteja varten (Kivinummi 2020).



**Kuva 4. Kuvasarja mutterimaisen kappaleen poiminnasta liukuhihnalta (Kivinummi 2020).**

## 5.3 Vikailmoitusten luokittelu koneoppimisen avulla

Rannan (2020) opinnäytetyön toimeksiantajan asiakkaalla on käytössä palvelu, johon käyttäjät voivat lähettää sähköverkon vikailmoituksia. Vikailmoituksiin voidaan lisätä tekstimuotoisen kuvauksen lisäksi havainnollistava kuva. Vikailmoitukset käsitellään manuaalisesti, ja ongelmana on käsittelyn viemän ajan lisäksi tärkeiden vikailmoitusten löytäminen ajoissa. Työssään Ranta selvitti koneoppimisen mahdollisuuksia vikailmoitusten automaattiseen luokitteluun sekä tekstikuvauksien että kuvien perusteella. Haasteena oli opetusdatan kohtalaisen pieni määrä (pari tuhatta kuvaa). Työssä käytettiin TensorFlow-rajapintaa, jonka avulla opetettiin neuroverkko luokittelemaan automaattisesti vikailmoituksia. Kuvilla oli kaksi pää-

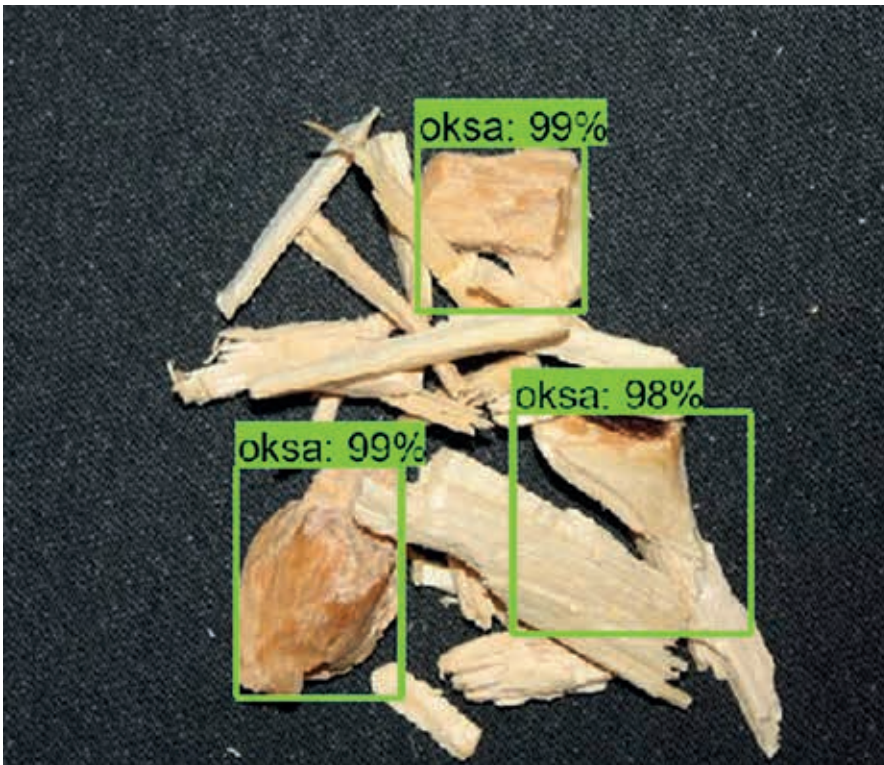
luokkaa, keskijännitevika ja pienjännitevika, ja molemmilla alaluokkia. Taulukko 1 esittelee keskijännitevikaluokat. Kuvien perusteella luokittelun tarkkuudeksi saatiin 84 % ja tekstikuvausten perusteella luokittelun miltei 100 %. Asiakas otti käyttöön opinnäytetyössä kehitetyn työkalun, vaikka kuvien tapauksessa parantamisen varaa vielä jäikin. Käytön aikana neuroverkkoa voidaan opettaa edelleen ja sen tarkkuutta parantaa.

**Taulukko 1. Kuvadatan keskijännitevikaluokat ja niihin liittyvien kuvien määrät (Ranta 2020).**

Luokka	Kuvien määrä
Iso puu ilmajohdolla	133
Johtimet maassa	54
Pylväs poikki	16
Jokin muu	22
Tiealue	14
Vähäinen vaurio	159

## 5.4 Mäntyhakkeen luokittelu koneoppimisen avulla

Salmi (2020) tutki opinnäytetyössään sisäokсахakkeen löytämistä mäntyhakkeen joukosta. Sellun valmistuksessa mänty ensin haketetaan (murskataan) ja hake edelleen erotellaan hienojakoisemmaksi käyttämällä kuumaa höyryä ja kemikaaleja. Hakettamisessa syntyy aina jonkin verran ns. ylisuurta haketta eli puunkappaleita, jotka ovat liian isoja jatkoprosessille. Tavallisesti ylisuuri hake kerätään ja murskataan uudelleen, kunnes se on tarpeeksi hienojakoista (Korpinen 2015). Ylisuuren hakkeen oksapitoisuus on suuri, mikä selittyy oksien kovuudella. Oksista saa arvokkaita uuteaineita, joilla voidaan korvata öljyteollisuuden tuotteita ja joita voidaan mahdollisesti käyttää lääkkeiden raaka-aineina (Korpinen 2015). Siksi oksahakkeen erottelu ylisuuren hakkeen joukosta on kiinnostava ongelma. Salmi (2020) rakensi työssään TensorFlow-rajapintaa käyttäen neuroverkon tunnistamaan oksahakkeen ylisuuresta hakkeesta otetusta kuvasta. Luokittelun tarkkuudeksi saatiin runsaat 70 %, mikä osoittaa neuroverkon pystyvän oikeanlaiseen toimintaan, mutta parannettavaa on vielä runsaasti luotettavan järjestelmän rakentamiseksi. Visuaaliset erot oksahakkeen ja muun hakkeen välillä ovat hyvin pieniä, joten ongelma on haastava. Kuva 5 esittelee yhden neuroverkolla saadun erottelutuloksen.



Kuva 5. Neuroverkon löytämää oksahaketta ylisuuren hakkeen joukosta (Salmi 2020).

## 6 LOPUKSI

Konenäkö on keskeinen teknologia, jota käytetään hyvin laajasti sekä hyvin monimutkaisissa teollisuusratkaisuissa että täysin arkipäiväisissä sovelluksissa. Kuten tämä artikkeli osoittaa, SeAMKin tekniikan yksikön opetuksessa ja tutkimuksessa konenäköä käsitellään laajasti. Esillä ovat sekä perinteinen heuristinen konenäkö että koneoppimiseen perustuva konenäkö. Myös kaikki kolme konenäköjärjestelmää, PC-pohjaiset järjestelmät, älykamera sekä sulautetut järjestelmät, ovat esillä niin opetuksessa kuin tutkimuksessa. Konenäköön liittyviä aiheita on ollut myös laajasti viimeaikaisissa opinnäytetöissä. Uudet hankkeet tulevat edelleen vahvistamaan SeAMKin konenäköosaamista sekä laboratorion laitekantaa. Tulevaisuudessa erilaisia konenäköön liittyviä opiskelijaprojekteja ja kurssien harjoitustöitä tullaan tekemään vielä enemmän yhteistyössä paikallisten yritysten kanssa ja näin varmistamaan opiskelun käytännölläisyys.

## LÄHTEET

Coffey, V. C. 2018. Machine vision: The eyes of Industry 4.0. Optics and photonics news 29 (7), 42 - 49. doi: 10.1364/OPN.29.7.000042

Cognex. 2020. In-Sight D900 vision system. [Verkkosivu]. [Viitattu 12.8.2020]. Saatavana: <https://www.cognex.com/products/deep-learning/in-sight-d900>

Element14. 17.12.2014. Gradient Filter implementation on an FPGA - Part 1 Interfacing an FPGA with a camera. [Verkkosivu]. [Viitattu 12.8.2020]. Saatavana: <https://www.element14.com/community/groups/fpga-group/blog/2014/12/17/gradient-filter-implementation-on-an-fpga-part-1-interfacing-an-fpga-with-a-camera>

Kivinummi, K. 2020. Konenäköjärjestelmän käyttäminen robotin ohjauksessa kappaleen poiminnassa. [Verkkajulkaisu]. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Tekniikan yksikkö, automaatiotekniikan koulutusohjelma. AMK-opinnäytetyö. [Viitattu 11.8.2020]. Saatavana: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202005108179>

Korpinen, R. 27.10.2015. Uusiutuvien ja kestävien raaka-aineiden kokonaisvaltainen hyötykäyttö. [Verkkajulkaisu]. Luke Luonnonvarakeskus. [Viitattu 12.8.2020]. Saatavana: <http://www.metla.fi/tapahtumat/2015/biokokkola/Korpinen.pdf>

Liu, Z., Ukida, H., Ramuhalli, P. & Niel, K. 2015. Integrated imaging and vision techniques for industrial inspection: Advances and applications. London: Springer.

Luomanmäki, T. & Arola, J.-M. 2020. Jatkuvan oppimisen koulutusta toteuttamassa Etelä-Pohjanmaalla: case: robotiikkakoulutus teollisille pk-yrityksille. Teoksessa: P. Junell, J. Hirvonen, A. Sivula, H. Rasku & S. Saarikoski (toim.) SeAMK Tekniikan tutkimus, kehittäminen ja opetus kehittämässä alueellista innovaatioekosysteemiä. [Verkkajulkaisu]. Seinäjoki: Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja B Raportteja ja selvityksiä 155, 137 - 150. [Viitattu 22.9.2020]. Saatavana: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2020091769971>

Mikkonen, P. 2019. Tekoälyn matematiikan opetuksesta Seinäjoen ammattikorkeakoulun tekniikan yksikössä. Teoksessa: S. Päällysaho, A. Haasio, S. Saarikoski & S. Uusimäki (toim.) Seinäjoen ammattikorkeakoulu 2019: moninaista osaamista [Verkkajulkaisu]. Seinäjoki: Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja A Tutkimuksia 32, 305 - 312. [Viitattu: 12.8.2020]. Saatavana: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2019121348144>

Ranta, J. 2020. Sähköverkon vikailmoitusten luokittelu koneoppimisen avulla. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Tekniikan yksikkö, tietotekniikan koulutusohjelma. AMK-opinnäytetyö.

Salmi, J. 2020. Sisäöksien erottelu ylisuuresta hakkeesta konenäön avulla hyödyntäen koneoppimista. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Tekniikan yksikkö, tietotekniikan koulutusohjelma. AMK-opinnäytetyö. Tarkastuksessa.

SAMK automaation tutkimusryhmä. Ei päiväystä. Perinteiset konenäköjärjestelmät. [Verkkosivu]. [Viitattu 12.8.2020]. Saatavana: <https://automaatio.samk.fi/testi-sivu/perinteiset-konenakojarjestelmat/>

Taipale, T. 2020. Viivakooditarrojen automatisoitu laadunvarmistus: Optisten tunnisteiden koneellisen laadunvalvonnan kehitystyö. [Verkkajulkaisu]. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Tekniikan yksikkö, automaatiotekniikan koulutusohjelma. AMK-opinnäytetyö. [Viitattu 11.8.2020]. Saatavana: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202005016753>