Tampereen yliopisto

Teemu Estovirta

TEKOÄLY ELEKTRONIIKAN LUOTETTA-VUUSKOKEISSA

Hyödyt ja haitat

Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Kandidaattitutkielma
Toukokuu 2025

TIIVISTELMÄ

Teemu Estovirta: Tekoäly elektroniikan luotettavuuskokeissa, Hyödyt ja haitat
Kandidaattitutkielma
Tampereen yliopisto
Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Toukokuu 2025

Tekoäly tulee muuttamaan elektroniikan valmistusprosesseja huomattavasti. Sen käyttöönotossa on paljon hyötyjä, mutta haittoja täytyy myös tarkastella. Tämän takia molempien vaikutusta täytyy miettiä ja muodostaa mielipide käyttöönoton järkevyydestä.

Tekoälyn tärkeimmät hyödyt keskittyvät suurimmaksi osaksi tehokkuuteen. Tehokkuus voidaan tässä tapauksessa jakaa kahteen osaan, aikatehokkuuteen ja kustannustehokkuuteen. Tekoäly keskimäärin pystyy laskemaan elektroniikka testaukseen liittyvissä prosesseissa aikaa noin 40 %. Kustannustehokkuutta tekoäly pystyy nostamaan tekemällä työtä tehokkaasti, milloin työntekijöiden määrää voidaan pienentää. Prosesseihin menevän ajan pieneneminen vaikuttaa myös kustannustehokkuuteen niin, että työajat pienenevät, jolloin tiettyyn työtehtävään menevät kustannukset pienenevät. Toinen merkittävä hyöty on tarkkuus. Tarkkuudessa tekoäly pystyy parantamaan vikakattavuutta 12,3 %. Tämä johtuu siitä, että tekoäly pystyy paremmin huomaamaan pieniä eroavaisuuksia erilaisissa piirilevyissä.

Luotettavuuskokeissa merkittäväksi tekoälyn hyödyksi voidaan mainita ennustaminen. Tämä tarkoittaa siis sitä, että tekoälymalli pystyy vanhaan dataan perustuen muodostamaan ennustuksen, kuinka pitkään laite tulee kestämään. Tekoäly hyödyntää tässä vikapuuanalyysia ja Bayesiliasta verkkoa. Todennäköisyydet eri vikaantumisista asetetaan näihin malleihin, jonka perusteella tekoälymalli oppii, miten todennäköistä on, että jotain tapahtuu. Näihin malleihin perustuen tekoäly on pystynyt ennustamaan vikaantumisia huomattavan aikaisin.

Eettisyys ongelmat ja laadukkaan datan vähäinen määrä ovat merkittävimmät ongelmat tekoälyn käyttöönotossa. Eettisyys ongelma on laajasti keskusteltu haitta tekoälyyn liittyen. Suurimmaksi ongelmaksi tulevat sosiaaliset vaikutukset, jotka liittyvät esimerkiksi työttömyyden kasvamiseen. Toisena eettisenä ongelmana on vastuun jakautuminen. Tekoälyn tehdessä virheen, kenen vastuulla virhe on? Tämä voisi vähentää tekoälyn tehokkuutta, koska jouduttaisiin tarkistamaan tekoälyn antamia tuloksia. Toisena ongelmana on laadukkaan datan vähäinen määrä. Tämä ongelma liittyy pienempiin yrityksiin, koska ne eivät saa valmistusprosesseista niin paljon dataa kuin isommat yritykset. Datan määrän vähyys vaikeuttaa tekoälymallin koulutusta, joka aiheuttaa huonompaa tarkkuutta ja tehokkuutta.

Avainsanat: Tekoäly, elektroniikkatestaus, luotettavuuskokeet, elektroniikka
Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

TEKOÄLYN KÄYTTÖ OPINNÄYTTEESSÄ

Opinnäytteessäni on käytetty tekoälysovelluksia:

☒ Ei
☐ Kyllä

Olen tietoinen siitä, että olen täysin vastuussa koko opinnäytteeni sisällöstä, mukaan lukien osat, joissa on hyödynnetty tekoälyä, ja hyväksyn vastuun mahdollisista eettisten ohjeiden rikkomuksista.

SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto 1

2 Tutkimusmenetelmä 3

3 Luotettavuuskokeet elektroniikassa 4

3.1 Luottettavuuskokeiden suunnittelu 4

3.2 Luotettavuuden ennustaminen 5

3.3 Luotettavuuden mallintaminen 5

3.3.1 Kylpyammekäyrä 5

3.3.2 lohkokaavio ja sen analysointi 7

4 Tekoäly luotettavuuskokeissa 9

4.1 Koneoppiminen 9

4.2 Ennakoiva analytiikka 9

4.3 Suunnittelu 11

4.4 Datan määrä 12

5 Tekoälyn hyödyt ja haitat luotettavuuskokeissa 13

5.1 Tehokkuus 13

5.2 Tarkkuus 13

5.3 Ennustaminen 14

5.4 Eettisyys 14

5.5 Laadukkaan datan vähäinen määrä 15

6 Yhteenveto 16

Lähdeluettelo 18

1 Johdanto

Tässä tutkielmassa pyritään vastamaan kysymykseen ”Mitä hyötyjä ja haittoja tekoälystä on elektroniikan luotettavuuskokeissa?” Tutkielmassa vastataan siihen, miten tekoäly vaikuttaa tehokkuuteen ja tarkkuuteen luotettavuuskokeissa. Haittapuolina keskitytään etenkin eettisyyteen ja laadukkaan datan vähäiseen määrään.

Aihe on tärkeä, koska tekoäly tulee vaikuttamaan elämään tulevaisuudessa merkittävästi. Tämän takia on tärkeää tutkia aihetta ja sitä, miten se vaikuttaa tämän alan työmarkkinaan ja -tehtäviin. Tutkielmassa myös käsitellään tekoälyn vaikutusta yrityksiin. Se on tärkeää, jos haluaa tehostaa tuotantoaan, sekä varmistaa laadukkaammat tuotteet. Tekoälyn vaikutus voi näissä olla merkittävä.

Manuaalinen testaus on hidasta ja työlästä [1]. Se vaatii yritykseltä paljon resursseja, jolloin tekoäly voisi helpottaa prosessia. Yritysten työntekijät voisivat keskittyä mahdollisesti muihin tehtäviin, jos tekoäly pystyisi tekemään aikaa vievämmät asiat testaukseen liittyen. Tarkkuuteen liittyen tekoäly pystyisi parantamaan tuloksia. Aikatehokkuuteen vaikutus on merkittävä. Piirilevytestauksessa suoritusaika laski 145 sekunnista 87 sekuntiin [2]. Nämä luvut ja havainnot kertovat siitä, miten tekoälyllä voi olla selkeä vaikutus työelämään ja parantaa yleisesti tuloksia. Tekoäly parantaa myös vikakattavuutta 12,3%, joka on todella merkittävä määrä [2].

Tekoälyn käyttöönottamisessa on myös ongelmia. Haasteet liittyvät pitkälti datan latuun ja määrään [2]. Datan laatu pitää varmistaa, jotta voidaan tekoälyavusteisten työkalujen tuottamaan dataan luottaa. Tämä datan määrä vaikuttaa selkeästi siihen, miten tekoäly voidaan käyttöönottaa. Pienemmät toimijat voivat kärsiä tästä, koska heillä ei välttämättä ole aikaisempaa dataa riittävästi. Suuremmat yritykset voivat täten kasvattaa lisää eroa pienempiin toimijoihin. Yleisen markkinatilanteen kannalta tämä saattaa olla haitallista. Kuluttajiin vaikutus on mahdollisesti suuri, koska isot toimijat voivat määrittää hinnat itse. Toisena merkittävänä ongelmana on eettiset haasteet. Nämä haasteet liittyvät pääasiassa sosiaalisiin vaikutuksiin kuten työttömyyteen [14]. Eettiset ongelmat täytyy aina ottaa huomioon, kun keskustellaan tekoälystä.

Nykyään elektroniikan merkitys yhteiskunnalle on valtava, jonka takia elektroniikan täytyy olla luotettavaa. Tekoälyn lisääntyessä liikenteessä voi olla itse ajavia autoja ja busseja. Tämän takia on kriittistä, että luotettavuuskokeet toteutetaan oikein ja niin, että niiden tuloksiin voidaan luottaa. [6]

Toisessa kappaleessa kerrotaan, miten tutkielma on tehty. Tähän liittyy esimerkiksi, mistä tietoa on haettu, miten sitä on haettu ja millä sanoilla sitä on haettu. Kolmannessa kappaleessa käsitellään luotettavuuskokeita pintapuolisesti. Tämä tarkoittaa siis yleistä kertomista luotettavuuskokeista ja niiden menetelmistä. Neljännessä kappaleessa käsitellään taas tekoälyn käyttöä luotettavuuskokeissa. Viidennessä kappaleessa vertaillaan hyötyjä ja haittoja tekoälyn käyttöönotossa. Kuudennessa kappaleessa on yhteenveto tutkielmasta.

2 Tutkimusmenetelmä

Tietoa tutkielmaan on haettu Tampereen yliopiston Andor-palvelusta, IEEE-tietokannasta (Institute of Electrical and Electronics Engineers) ja Google Scholarista. Andor- ja IEEE-palveluihin voi luottaa, koska niissä selviää helposti kuinka luotettavaa tietoa kyseisestä lähteestä saa. Google Scholarissa taas näkyy huomattavasti enemmän lähteitä. Näistä on vaikeampi tietää, onko lähde luotettava vai ei.

Olen käyttänyt hakutermeinä ”electronics testing”, ”artificial intelligence”, ”reliability predcting” ja “PCB testing”. Näitä sanoja on yhdistelty toisiinsa Boolen operaattoreilla, kuten AND ja OR. Hakusanalista on hieman päivittynyt ja laajentunut, kun aihettani on rajattu. Muita hakutermejä on ollut ”machine learning” ja ”data”. Nämä liittyivät koneoppimiseen 4. kappaleessa. 3. kappaleessa tietoa etsittiin sanaparilla ”reliability testing” ja elektroniikkakursseilla käytetyistä kurssikirjoista.

Tutkielmassa etsitään hyötyjä ja haittoja tekoälyn käyttöönottamisesta elektroniikan luotettavuuskokeissa. Lähteitä on etsitty laajasti ja eri tavalla, sekä pyritty varmistamaan lähteiden laadukkuus. Lähteet ovat tarkistettu Julkaisufoorumin JUFO-portaalin haun avulla. Suuri osa lähteistä saa ainakin tason 1 Julkaisufoorumilta, joka tarkoittaa tieteellisten tutkimustulosten julkaisemiseen erikoistuneita vertaisarvioituja julkaisukanavia. Osa lähteistä on ollut tarpeellisia tutkielman kannalta, mutta niiden laadukkuutta ei pystytty varmistamaan. Tietoa oli vaikea löytää tietyistä aiheeseen liittyvistä teemoista, joten täytyi nojautua lähteeseen, jonka luotettavuus on vaikeasti todennettavissa.

Tutkielmassa on luettu lähteitä laajasti ja sen jälkeen muodostettu johtopäätöksiä aiheesta. Aiheesta oli vaikea löytää suoraa tutkimustietoa. Tämä tarkoittaa sitä, että lähteet käsittelevät aiheeseen liittyviä asioita, mutta eivät suoraan itse aihetta. Tutkimusta tutkielman aiheesta ei ole vielä tehty paljoa. Täytyy siis löytää lähteitä, joita yhdistelemällä voi tehdä päätelmiä.

3 Luotettavuuskokeet elektroniikassa

Elektroniikassa luotettavuustestauksella on tärkeä osa. Testauksella voidaan varmistaa tuotteiden toimivuus normaaleissa olosuhteissa. Elektroniikkalaitteet altistuvat käytössä erilaisille rasituksille, esimerkiksi lämmölle, tärinälle tai iskuille [8]. Lämpötilaan vaikuttavat esimerkiksi ympäristö ja sähköiset tekijät kuten jännite. Luotettavuuskokeissa on tarkoituksena testata, kestääkö tuote sille ominaiset rasitteet. Toimivien laitteiden olisi hyvä kestää tätä rasitetta, koska ne altistuvat niille miltei päivittäin. Laitteiden vikaantumiset aiheuttavat ongelmia yrityksen ja asiakkaiden välille. Jos tuote vikaantuu asiakkaan käytössä, voi yritys mahdollisesti menettää tämän asiakkaan.

3.1 Luottettavuuskokeiden suunnittelu

Luotettavuustestauksessa on useita eri vaiheita ja erilaisia metodeja. Ensinnäkin testit voidaan jakaa kolmeen päälajiin. Yhdysvaltojen puolustusministeriön teettämässä standardissa MIL-STD-883L [9] testit jaetaan ympäristöllisiin, mekaanisiin ja sähköisiin testauksiin. Jokainen päälaji sisältää erilaisia testausmuotoja, jotka määrittelevät tuotteiden toimivuuden määrätyissä olosuhteissa. Ympäristöllisiin testauksiin liittyy esimerkiksi paineensietokyvyn ja lämpötilan vaikutuksen testaus. Mekaanisiin testauksiin kuuluu taas tärinän ja iskujen testaaminen. Sähköisiin testauksiin liittyy taas sähköisten ominaisuuksien, kuten jännitteen keston, testaaminen. Kyseinen standardi määrittää rajat, jotka elektroniikkakomponenttien täytyy kestää, jotta niitä voidaan käyttää lentokoneissa tai Yhdysvaltojen armeijan laitteissa. [9] Tällaiset standardit ovat tärkeitä, sillä niiden pohjalta voidaan suunnitella luotettavuuskokeet ja luoda pohja kyseisten testien halutuille tuloksille.

Luotettavuuskokeiden suunnittelussa määritetään ensin testattavat suureet. Tämän jälkeen suunnitellaan testauksen tekotapa, jonka jälkeen voidaan suorittaa varsinaiset testaukset. Tämän jälkeen saatu data analysoidaan ja sitä vertaillaan standardien antamiin raameihin. Erilaisissa standardeissa, kuten MIL-STD-883L:ssä [9], on myös mallinnettu, miten testaus kannattaa suorittaa. Luotettavuuskokeiden suunnittelu on todella tärkeää, koska testit täytyy suorittaa kiihdytetysti. Usein elektroniikkalaitteen käyttöikä on pitkä, joten kyseisiä testejä ei voida suorittaa yksi yhteen käyttöiän kanssa. Tämän takia testejä tarvitsee kiihdyttää, eli laitteet altistetaan raskaammalle rasitukselle lyhyemmässä ajassa. Suunnitellessa täytyy huomioida tämä seikka, jotta testauksesta saadaan mahdollisimman realistinen. [6]

3.2 Luotettavuuden ennustaminen

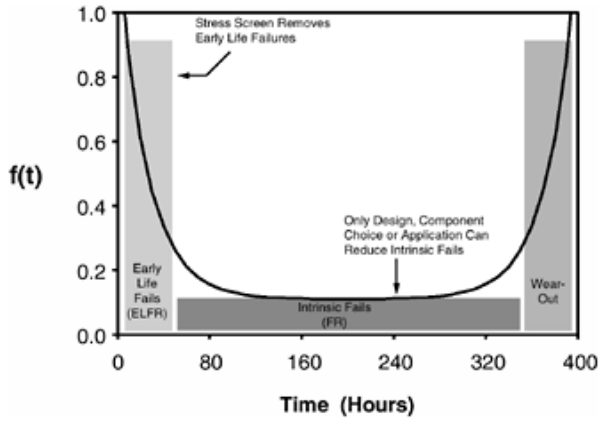
Täysin uuden laitteen luotettavuuden ennustaminen on miltei mahdotonta. Kuitenkin laitteiden, joista on valmistettu jo aikaisempia versioita, voidaan luotettavuus ennustaa paremmin pohjautuen edellisen tuotteen kestävyyteen. Ennustus olisi hyvä aloittaa korkeimmasta tasosta eli koko järjestelmästä. Tämän jälkeen voidaan siirtyä pienempiin osiin. Tätä jatketaan niin pitkään, että päädytään yksittäisiin pieniin elektroniikkakomponentteihin. Ennustettaessa luotettavuutta täytyy kuitenkin muistaa, että laiteviat eivät välttämättä johdu komponenttien vikaantumisesta, eivätkä kaikki osien vikaantumiset aiheuta järjestelmän vikaantumista. [8]

3.3 Luotettavuuden mallintaminen

Luotettavuutta mallinnetaan erilaisilla kaavioilla ja käyrillä. Tässä on tärkeää muistaa, miten luotettavuus yleensä mallinnetaan. Luotettavuus tarkoittaa siis sitä, että laite toimii niin kuin sen on tarkoitus toimia. Vikaantuminen taas tarkoittaa sitä, että laite ei toimi halutulla tavalla. Usein luotettavuus mallinnetaan nimenomaan vikaantumisen kautta. [6] Kaaviot perustuvat suurimmaksi osaksi todennäköisyyksiin, kuinka todennäköisesti laite vikaantuu [8]. Nämä ennustukset perustuvat kappaleen 3.2. tietoihin ja niissä tehtyihin perusteluihin. Luotettavuutta voidaan mallintaa myös erilaisilla lohkokaavioilla. Lohkokaavioita voidaan sitten analysoida erilaisilla menetelmillä, esimerkiksi vikapuuanalyysillä.

3.3.1 Kylpyammekäyrä

Kylpyammekäyrällä kuvataan vikaantumistodennäköisyyttä ajan funktiona. Kylpyammekäyrässä on kolme selkeää vaihetta. Ensin on alkupään vikaantumiset. Nämä johtuvat siitä, että tuotanto vaiheessa tapahtuu erilaisia vikaantumisia [6]. Vikaantumiset johtuvat tuotantovaiheessa tapahtuneista vioista, joita ei ole voitu vielä ennakoida tuotteen uutuuden takia [6]. Kun näistä ongelmista on selvitty, siirrytään niin sanottuihin sisäisiin vikoihin. Nämä viat johtuvat usein pakkausmateriaalien ongelmista, juotevioista tai muista materiaaleihin liittyvistä ongelmista [6]. Nämä ongelmat ovat usein satunnaisia, eivätkä tapahdu jokaiselle tuotteelle [6]. Tämä vaihe on usein käyttöiän pituinen. Viimeisessä vaiheessa ikääntyminen alkaa näkymään laitteissa. Kulumisvikojen vaiheessa vikaantumistiheys kasvaa eksponentiaalisesti. Tämän vaiheen ongelmat johtuvat materiaalien ikääntymisestä, yleisestä kulumisesta ja rasituksesta [6]. Rasitus voi siis olla lämpö tai mekaanista rasitusta.

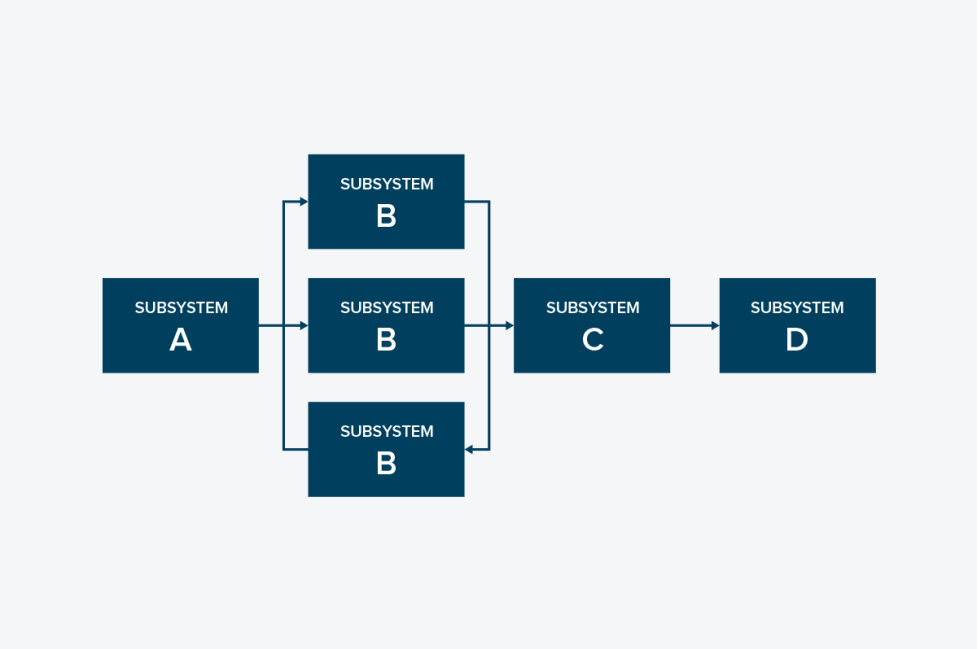


Kuva 1. Kylpyammekäyrä kuvattuna ja eri vaiheet merkittyinä [6].

Kuvassa 1 nähdään kylpyammekäyrä. Kuvassa nähdään tuotteen vikaantumisvaiheita. Vasemmalla nähdään alkupään vikaantumiset, keskellä nähdään sisäiset vikaantumiset ja oikealla taas kulumisesta johtuvat vikaantumiset. Kyseisessä kaaviossa y-akselilla on vikaantumisaste tietyllä ajanhetkellä ja x-akselilla nähdään aika tunteina. Tässä mallissa nähdään miten vikaantumiset muuttuvat eri vaiheissa. Alkupäässä aloitetaan aika korkealla vikaantumisasteella, mutta se laskee sitten keskivaiheelle, jossa vikaantuminen on pientä. Viimeisessä vaiheessa vikaantuminen alkaa eksponentiaalisesti nousta.

3.3.2 lohkokaavio ja sen analysointi

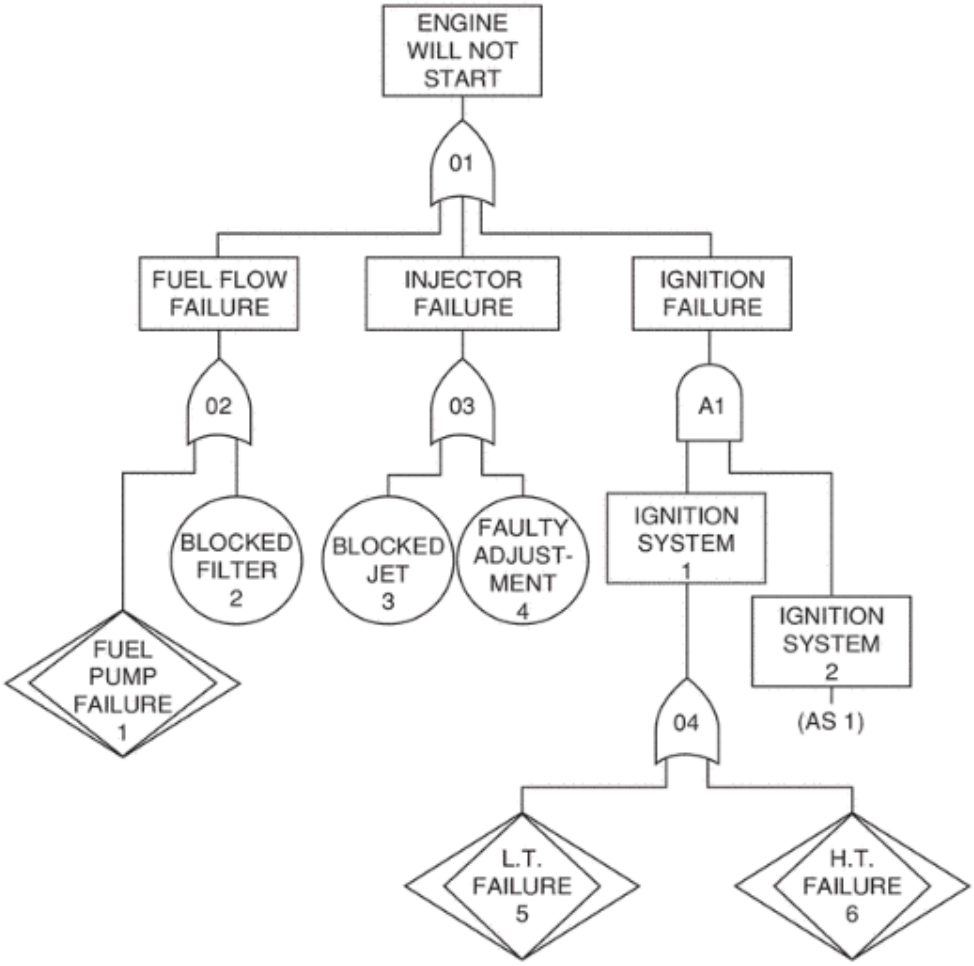
Lohkokaavioissa pyritään näyttämään suhteita eri komponenttien välillä. Tämä tarkoittaa sitä, että havainnollistetaan selkeästi, miten komponentit vaikuttavat toisiinsa. Tämä helpottaa vikojen paikantamista. [8]



Kuva 2. Yksinkertainen lohkokaavio eri komponenttien suhteista [10]

Kuvassa 2 olevassa lohkokaaviossa on selkeä kaavio, jossa nuolilla näytetään eri komponenttien välisiä suhteita. Tästä kaaviosta on helppo päätellä miten kyseiset komponentit ovat yhteydessä toisiinsa, jolloin vika on helpompi löytää ja paikantaa.

Tällaista kaaviota voidaan analysoida vikapuuanalyysilla [8]. Kyseisessä analyysissä aloitetaan vikatilavaikutusten analysoinnista. Nämä ovat niin sanottuja korkean tason tapahtumia. Seuraavaksi analyysissä selvitetään, kuinka nämä korkean tason tapahtumat aiheutuvat matalamman tason vioista ja tapahtumista [8]. Analyysissä näytetään eri tapahtumien väliset loogiset yhteydet sekä todennäköisyydet, kuinka todennäköisesti kyseinen tapahtuma tulee tapahtumaan [8]. Nämä todennäköisyydet perustuvat ennustuksiin, jotka ovat tehty aikaisemmin. Täytyy kuitenkin muistaa, että jokaiselle korkeimman tason tapahtumalle täytyy tehdä oma vikapuu, koska ne johtuvat eri vioista ja loogisista yhteyksistä [8].



Kuva 3. Vikapuukaavio lentokoneen moottorin toiminnasta [8].

Kuten kuvasta 3 nähdään, vikatilat näytetään erilaisina lohkoina. Suhteita näiden lohkojen välillä esitetään loogisilla porteilla kuten ”AND” ja ”OR” porteilla. ”AND” portin jälkeen oleva korkeampi tapahtuma tapahtuu, jos kaikki sisäänmenona olevat viat tapahtuvat. ”OR” portin jälkeen oleva korkeampi tapahtuma tapahtuu, jos jokin sisäänmenona oleva vika tapahtuu. [8] Tämä selkeyttää kyseisen kaavion lukemista. Kyseisiin yhteyksiin voidaan vielä yhdistää todennäköisyydet, jolloin voidaan laskea kokonaistodennäköisyydet.

4 Tekoäly luotettavuuskokeissa

Tekoäly tulee muokkaamaan koko maailman työmarkkinaa ja -tapoja. Tekoäly pystyy nopeasti ja tehokkaasti tekemään tehtäviä, joita ihmisellä kestäisi huomattavasti kauemmin tehdä. Tekoälyllä voidaan tehdä erilaisia ennustuksia perustuen esimerkiksi koneoppimiseen. Syväoppimisen ansiosta tekoäly pystyy myös ennakoimaan tulevia vikoja havaitsemalla vääränlaisia signaaleja. Tekoäly pystyy myös ennustamaan ja laskemaan komponenttien elinikää perustuen koneoppimiseen.

4.1 Koneoppiminen

Koneoppiminen tarkoittaa koneen tekemää oppimista aineistosta eli datasta. Ensimmäisessä vaiheessa syötetään dataa laitteeseen tai järjestelmään. Tämän jälkeen tapahtuu abstraktiovaihe, jossa syötetyt tiedot laajennetaan algoritmin avulla esitettävään muotoon. Lopulta yleistetään syötetty data, jotta sitä voidaan käyttää päätöksenteossa. [11] Yleistyksen jälkeen tekoälymalli on oppinut sille syötetyn datan, ja pystyy tekemään johtopäätöksiä opitun perusteella. Tämä tarkoittaa siis sitä, että hyödyntäessä tekoälyä on hyvä olla paljon laadukasta dataa, jotta tekoälymalli pystyy paremmin tekemään päätöksiä.

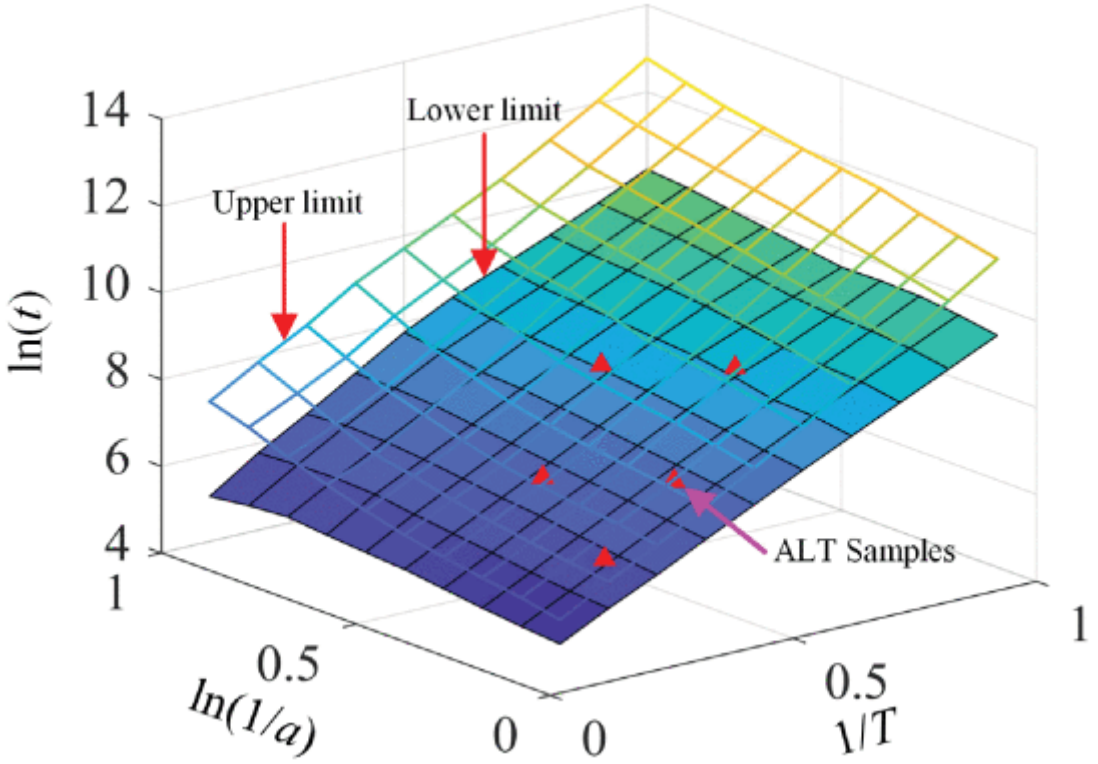
Koneoppimista voi tapahtua kolmella eri tavalla. Ensimmäinen tapa on ohjattu oppiminen. Se tarkoittaa oppimista, jossa kone ennustaa tuntemattomia olioita perustaen arvauksensa aiempaan dataan samankaltaisista objekteista. Toisena on ohjaamaton oppiminen, jossa kone löytää itse malleja ja kuvioita (”pattern”) datasta ja yhdistää näin olioita toisiinsa. Viimeisenä on vahvistusoppiminen, jossa kone oppii itse sille annetun palautteen ansiosta. Ohjaamattomassa ja vahvistusoppimisessa ei anneta koneelle oikeita vastauksia vaan se päättelee ne itse. Ohjatussa oppimisessa taas koneelle annetaan oikeat vastaukset. [11] Luotettavuuskokeissa tämä ohjattu oppiminen on tärkeässä roolissa. Yrityksillä on dataa edellisistä projekteista. Näiden projektien ennustukset ja niiden paikkansa pitävyys voidaan todentaa. Tämä data voidaan sitten ohjatulla oppimisella syöttää tekoälymallille, joka pystyy hyödyntämään tätä dataa.

4.2 Ennakoiva analytiikka

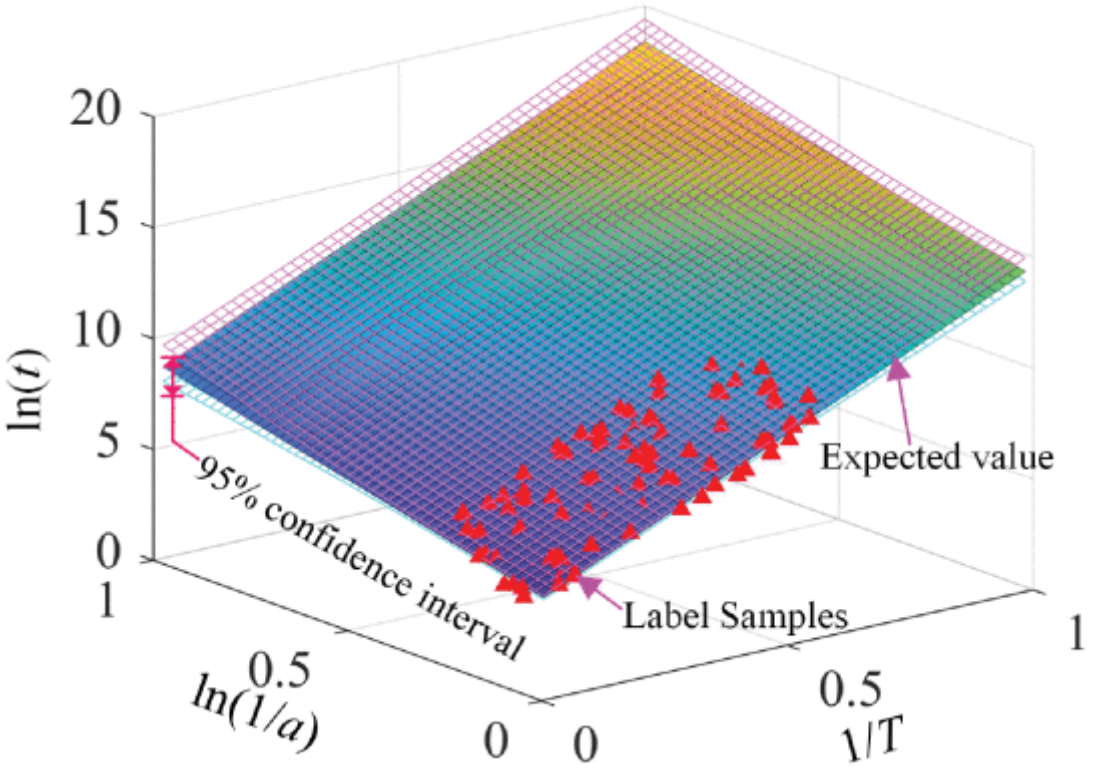
Ennakoiva analytiikka tarkoittaa analytiikka, jossa ennustetaan tulevaa perustuen jo kerättyyn dataan. Tässä onnistutaan tilastollisen mallintamisen, data louhimisen ja koneoppimisen avulla. Koneoppimisella pyritään muodostamaan yhteyksiä asioiden välillä niin, että voidaan korkealla todennäköisyydellä kertoa, mitä tulevaisuudessa tulee tapahtumaan. [12] Saatuja tilastoja käsitellään esimerkiksi erilaisilla regressiomalleilla, neuroverkoilla tai päätöspuulla [12]. Näiden avulla voidaan mallintaa tietoa niin, että sitä voidaan käyttää päätöksenteossa.

Ennakoivassa analytiikassa on ehdottoman tärkeää se, että data on oikeaa ja tarpeeksi laadukasta. Ilman tätä ennustukset voivat olla epätarkkoja. [13] Tämä vaatii sen, että datan oikeellisuutta ja laatua tarkistetaan. Ongelmaksi tässä muodostuu se, että onko datan laatua arvioitu jo aikaisemmin, jolloin työ helpottuu huomattavasti. Jos näin ei ole toimittu, joudutaan ongelmiin, koska jälkikäteen datan oikeellisuutta on vaikeampi arvioida.

Elektroniikkatestauksen ennustamiseen voitaisiin käyttää Bayes-neuroverkkoja [5]. Bayes-neuroverkot ovat painotettuja neuroverkkoja, joissa jokaisella alkiolla on todennäköisyysjakauma normaalin kiinteän arvon sijasta. Nämä neuroverkot kuuluvat stokastisiin neuroverkkoihin. [7] Se tarkoittaa sitä, että jokainen alkio neuroverkossa sisältää satunnaisuutta. Tämä johtuu siitä, että jokainen alkio on jakauma. [7] Cain ja muiden tekemässä tutkimuksessa "Artificial Intelligence Enhanced Reliability Assessment Methodology With Small Samples," [5] tutkitaan ennustamista tekoälyllä käyttäen Bayes-neuroverkkoja. Tulokset muodostavat kaltevan tason. Tuloksissa testinäytteiden rajoittaman alueen luottamusväli oli pieni, mikä tarkoittaa, että tulosten vaihtelu on pientä. Taas kaukana testinäytteistä luottamusväli kasvaa, joka lisää epävarmuutta. Kyseinen testi on suoritettu 95% luottamusvälillä [5]. Tutkimukseen lisättiin virtuaalisia näytteitä, jotka parantavat tarkkuutta huomattavasti. Tämän jälkeen luottamusvälistä tulee huomattavasti pienempi kauempana testipisteistä, mikä tarkoittaa korkeampaa tarkkuutta [5].



Kuva 4 Kalteva taso ennen virtuaalisia näytteitä [5]



Kuva 5 Kalteva taso virtuaalisten näytteiden jälkeen

Kuvissa 4 ja 5 nähdään selkeä ero näiden kahden kaltevan tason välillä. Kuvassa 4 on kalteva taso, ennen kuin virtuaalisia näytteitä on lisätty. Kuvassa 5 taas virtuaaliset tekoälyn tuottamat näytteet ovat lisätty. Tekoälyn tekemien keinotekoisten testinäytteiden avulla voidaan parantaa ennustamista, koska luottamusväli pienenee alueilla, joista ei ole testidataa.

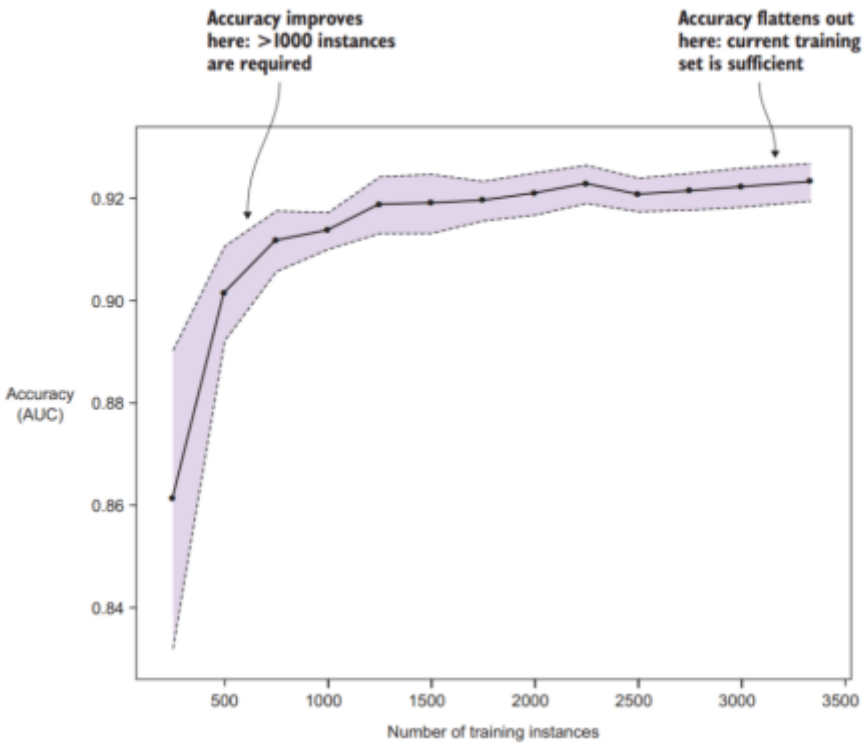
Bayes-neuroverkkoja voitaisiin hyödyntää esimerkiksi vikapuuanalyysillä. Tällöin annetaan tekoälymallille vikapuu, joka on painotettu. Näiden vikapuiden avulla voidaan tekoälymalli kouluttaa ymmärtämään syy-seuraussuhteita ja todennäköisyyksiä. Opetettu malli voi tämän jälkeen luoda omia virtuaalisia testipisteitä, ja ennustaa tapahtumia.

4.3 Suunnittelu

Elektroniikkatestauksessa pystytään tekoälyllä luomaan testimalleja, joilla voidaan elektronisia laitteita arvioida. Tekoäly pystyy parantamaan malleja perustaen muutoksen sekä kehityksen edellisiin malleihin, ja niistä löydettyihin ongelmiin. Tämä lisäisi tehokkuutta ja tarkkuutta. [4] Testimallien parantaminen ei välttämättä kuitenkaan tarkoita, että kaikki toiminta muutetaan tekoäly pohjaiseksi. Tällöin manuaalinen testaus saattaisi silti olla käytössä, vaikka testimallit olisivatkin tekoälyn tuottamia. Testimallit tarkoittavat siis testejä, joita suoritetaan, jotta varmistetaan elektroniikkakomponentin toiminta. Tekoälymallit, jotka luovat näitä voivat myös optimoida testejä, jolloin tarvittavien testien määrät vähenevät huomattavasti [4].

4.4 Laadukkaan datan määrä

Koneoppimisessa on todella tärkeää datan oikea laatu ja määrä. Aiheesta on hankala löytää tietoa varsinkin elektroniikkatestaukseen keskittyen. Kuitenkin tietoa löytyi siitä, miten datan määrä voidaan määrittää riippuen tehtävästä. Näitä merkittäviä vaikuttavia tekijöitä on kolme. Ensimmäisenä on tehtävän kompleksisuus. Tämä tarkoittaa siis sitä, kuinka hankala on tehdä johtopäätöksiä datan ja lopputuleman välillä. Luotettavuuskokeet ovat todella monimutkaisia ja kompleksisia tehtäviä. Toisena datan määrään vaikuttaa vaaditun tarkkuuden määrä. Vaadittu tarkkuus luotettavuuskokeissa on todella korkea, koska tarkkuuden täytyy usein olla 95 % tai parempi. Kolmantena vaikuttavana tekijänä on muuttujien määrä. Luotettavuuskokeissa muuttujia on paljon ja ne vaikuttavat eri tavoilla lopputulemaan. Tästä voidaan siis päätellä, että luotettavuuskokeissa käytettävän datan määrä täytyy olla suuri, jotta saadaan opetettua järjestelmä oikein ja laadukkaasti. [15]



Kuva 6. Kuvaaja tarkkuudesta koulutusesimerkkien funktiona [15]

Kuvan 6 kuvaajasta voidaan päätellä, että koulutusesimerkkien määrän ollessa 1000 alkaa kuvaaja suoristumaan ja tasoittumaan. Tämä on kohta, jossa saavutetaan tarpeellinen tarkkuus. Toki koulutusesimerkkien määrän kasvaessa tämä tarkkuus paranee vielä ja lisää luotettavuutta lopputulokseen.

5 Tekoälyn hyödyt ja haitat luotettavuuskokeissa

Tekoälyn käytön hyödyt ovat merkittävät, mutta tämä ei tarkoita sitä, että haittoja ei olisi. Hyötyjen ja haittojen vertaaminen on tärkeää, koska halutaan saada selville tekoälyteknologian käyttöönoton kannattavuus.

5.1 Tehokkuus

Tekoäly mahdollistaa optimoinnin, sekä vähentää huomattavasti manuaalista testausta. Manuaalisessa testauksessa ongelmaksi tulee usein se, kuinka helposti siinä tapahtuu erilaisia virheitä. Se on myös todella aikavievää ja työlästä. [1] Tekoäly voi helpottaa näitä ongelmia huomattavasti esimerkiksi automatisoimalla prosesseja ja tekemällä täten testauksia nopeammin. Tekoälymalleille täytyy syöttää paljon erilaista dataa, jota se pystyy hyödyntämään koneoppimisen kautta. Tekoäly pystyy oppimaan silloin historiallisista sekä nykyisistä raporteista tietoa. Datasta tekoäly pystyy huomaamaan trendejä, erikoisuuksia ja ongelmia. [1] Kuten ICSTEM:ssä julkaistussa raportissa [1] todetaan, tekoälyllä on mahdollisuus vähentää rahallisia sekä ajallisia kustannuksia. Raportissa myös todetaan, että tekoälymallit pystyvät toimimaan yhtä hyvin kuin ihmistutkijat. [1] Tekoäly lisää tehokkuutta myös vähentämällä inhimillisten virheiden määrää.

Tekoäly pystyy tehokkaasti korjaamaan itseään ja mukautumaan uusiin olosuhteisiin nopeasti [3]. Tekoälyn ottaminen käyttöön yleisessä laadunvalvonnassa laskee kustannuksia noin 10-30 % [3]. Tämä kustannustehokkuus johtuu tehokkuuden parantamisesta ja manuaalisen työmäärän vähentämisestä. Ihmiset ovat työntekijöinä hitaita ja epätehokkaita verrattuna tekoälyyn. Tekoäly pystyy esimerkiksi oppimaan tietoa todella nopeasti verrattuna ihmiseen. Tämä korostaa taas laadukkaan datan määrää, jota tarvitaan huomattavan paljon. Jos laadukasta dataa on riittävästi, voidaan todeta, että tekoäly pystyy suoriutumaan elektroniikkatestauksista vaadittavalla tasolla. Elektroniikkatestauksissa tehdyt arviot perustuvat pitkälti vanhaan dataan, joten tekoäly voidaan hyvin opettaa näihin tehtäviin.

5.2 Tarkkuus

IJCET:n Artikkelissa [2] mainitaan, että tekoäly pystyy parantamaan tuloksia, joita halutaan saavuttaa testauksella. Nykyisillä testausmenetelmillä pystytään jo pääsemään 98,5 %:n virheiden tunnistamiseen. Tähän vaikuttaa etenkin tekoälyn käyttämä koneoppiminen. [2] Tekoäly parantaa aikatehokkuutta huomattavasti. Tekoälyä käyttäessä aika laski testatessa piirilevyä 145 sekunnista 87 sekuntiin. Vaikka käytetty aika pienenee, sen tarkkuus oli silti yli 99,2 %. [2] Tekoäly siis laskee keskimäärin testaukseen käytettyä aikaa 38,5 %:lla sekä kasvattaa vikakattavuutta 12,3 %:lla [2].

Tekoälyyn pohjautuvat testausmenetelmät vähentävät väärin perustein läpipäässeitä laitteita noin 43,5 %:lla [2]. Tämä tarkoittaa siis sitä, että tekoäly pystyy paremmin selvittämään ongelmat ja virheet laitteissa. Tekoäly pystyy suuremmalla tarkkuudella huomaamaan eroavaisuudet. Sen avulla voidaan huomata 15 µm:n kokoiset eroavaisuuden, kun taas normaaleilla menetelmillä voidaan huomata vain noin 30-40 µm:n kokoiset eroavaisuudet [2].

Eroavaisuuksien huomaaminen mahdollisimman aikaisin on kriittistä, koska se lisää luotettavuutta laitteissa. Tekoäly mahdollistaa pientenkin ongelmien havaitsemisen, jolloin ajan kuluessa ne eivät vähennä laitteen luotettavuutta ja kestävyyttä.

5.3 Ennustaminen

Tekoäly tunnistaa vikoja ja virheitä järjestelmän käyttäytymiseen perustuen [4]. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että tekoäly voi esimerkiksi tunnistaa ongelmia jo ennen kuin ne tapahtuvat [4]. Elektronisten järjestelmien huoltamisessa voidaan hyödyntää tätä ennakkoon tunnistamista. Tekoäly voi antaa arvion siitä, milloin kyseinen laite täytyisi huoltaa. Ennakoivalla huollolla voidaan mahdollisesti vähentää kustannuksia ja parantaa tuottavuutta, koska käyttökatkokset ovat minimaalisia ja luotettavuus on korkea. Tekoäly pystyy myös tekemään ennustuksia perustuen testauksissa tulleisiin tuloksiin [4]. Tällöin tekoäly tunnistaa datasta trendejä, johon se perustaa omat ennustuksensa [4]. Se voi tässäkin hyödyntää edellisiä tuloksia, jolloin tuloksista tulee tarkempia [4]. Yleisesti voidaan todeta, että tekoälyn tekemät ennustukset nostavat luotettavuutta ja laskevat kustannuksia.

5.4 Eettisyys

Eettiset ongelmat täytyy ottaa huomioon keskusteltaessa tekoälystä. Tekoäly lisää tehokkuutta, sekä laskee kustannuksia. Kuitenkin ongelmaksi tulee usein sosiaaliset vaikutukset. Harvardin lehden The Harvard Gazetin artikkelissa käsitellään tätä ongelmaa [14]. Artikkelissa väitetään, että sosiaaliset haitat voivat olla suuremmat kuin taloudelliset hyödyt. Ongelmiin liittyy esimerkiksi se, että tekoälyn annetaan tehdä päätöksiä monista eri asioista, vaikka ei oltaisi täysin varmoja mihin päätökset edes perustuvat. [14] Tämä tuo ongelman eettisyydessä. Jos tapahtuu jokin ongelma tai häiriö laitteessa, jonka luotettavuus on tutkittu tekoälyn avulla. Kenen syynä tätä mahdollista onnettomuutta voidaan tutkia? Miten vastuu jakautuu tekoälyn ja ihmisten kesken? Nämä eettiset ongelmat voitaisiin esimerkiksi ratkaista sääntelyllä ja yleisellä lainsäädännöllä. Tekoälyn kasvu on todella suurta, joka taas tarkoittaa sitä, että lainsäädäntö ei ole mukana kehityksessä tarpeeksi nopeasti.

Tekoäly myös vähentäisi tarvittavien työntekijöiden määrä. Tämä taas kasvattaisi työttömien määrää. Aluksi tekoälyn täytyi vaan helpottaa normaaleja yleisiä työtehtäviä [14]. Tämä kuitenkaan ei pidä enää paikkaansa, sillä tekoälyä pystytään käyttämään nykyään huomattavasti haastavammissa tehtävissä, kuten luotettavuuskokeiden tekemisessä. Elektroniikan testaamisessa työtehtävät ovat kuitenkin todella objektiivisia, eivätkä tarvitse empatiakykyä tai muutakaan inhimillisiä taitoja. Tällöin tekoäly voi korvata suurimman osan työvoimasta näissä työtehtävissä. [14]

5.5 Laadukkaan datan vähäinen määrä

Datan määrälle on vaikea antaa tiettyä oikeaa hyvää määrää. Tämä aiheuttaa ongelmia tekoälymalleille. Yksi merkittävistä ongelmista, mitä tällaisesta voi tulla on niin kutsuttu ylisovittaminen (”*overfitting*”). Tämä tarkoittaa ongelmaa, jossa tekoälymalli toimii hyvin koulutusdatassa, muttei uudessa testidatassa. [16] Ylisovittaminen tekee todella vaikeaksi tekoälymallin pitämisen luotettavana. Pienemmissä datamäärissä ihmiset voivat paremmin yhdistellä dataa toisiinsa ja päätellä lopputulemia kuin tekoälymalli [16]. Pienellä datalla koulutetut tekoälymallit saattavat muistaa tietyt tapauskohtaiset tapaukset, mutta eivät pysty yleistämään [16]. Tämä tuottaa ongelmia esimerkiksi luotettavuuskokeissa, jossa useat tapauksista ovat erilaisia, joten yleistäminen on todella tärkeää. Ilman yleistämistä ei pystyttäisi tekemään tarkkaa analyysia, mikä aiheuttaisi virheellisiä päätelmiä.

Datan määrän vähyys saattaa aiheuttaa ongelmia enemmän pienemmille yrityksille, jotka eivät pysty välttämättä omista historiatiedoistaan löytämään tarpeeksi dataa. Tämä voitaisiin ratkaista monella eri tavalla kuten esimerkiksi avoimella tietokannalla, jossa säilytettäisiin anonyymisti useiden eri yritysten historiatietoja testauksista. Tietokanta saattaisi aiheuttaa myös ongelmia, koska elektroniikkalaitteet ja -komponentit ovat erilaisia, jolloin yleistetty data tietokannasta ei välttämättä olisi hyödyllistä.

Yritysten täytyy pohtia tekoälyn käyttöönoton kannattavuutta, etenkin pienten toimijoiden. Pienemmät toimijat eivät välttämättä voi ottaa riskejä tekoälyllä toimiviin testausmenetelmiin siirtymisessä. Rahalliset ja ajalliset riskit voivat olla huomattavia, jolloin isommat toimijat voivat syrjäyttää pienemmät markkinoilta.

6 Yhteenveto

Tekoäly tulee tulevaisuudessa tulee olemaan merkittävä tekijä teknologiamarkkinassa. Tähän liittyy myös luotettavuuskokeet ja elektroniikkatestaus ylipäätään. Tekoäly tulee mullistamaan työmarkkinaa ja viemään myös työpaikkoja. Tämä tulee tulevaisuudessa vaikuttamaan selkeästi siihen, miten pitää kouluttautua.

Tekoäly pystyy tehokkaampaan työhön sekä tarkempiin lopputuloksiin. Tehokkuutta pystytään lisäämään tekoälyn mahdollistamalla automatisoinnilla ja nopeammilla prosesseilla. Tässä ihmisillä tulee vastaan inhimilliset tekijät, koska ihmiset eivät pysty yhtä nopeasti työskentelemään ja löytämään haluttuja asioita datasta. Tekoäly voi myös korjata itseään ja omia puutteitaan, joka parantaa laatua ja tarkkuutta huomattavasti. Se myös laskee yleisiä kustannuksia. Kustannustehokkuus johtuu manuaalisen työn vähentämisestä ja yleisestä tehokkuudesta. Tekoäly avusteinen testaus pystyy parempaan tarkkuuteen. Tarkkuutena voidaan pitää siis vikakattavuutta ja erilaisten ongelmien huomaamista. Tässä tekoäly on ihmistä parempi sen takia, koska se voi tarkemmin tarkastella dataa ja löytämään yhteyksiä erilaisten vikojen välillä.

Tekoälyn yksi selkeistä hyödyistä on ennustamisen mahdollistaminen. Tekoäly mahdollistaa luotettavuuskokeiden ennustamisen ja ongelmien löytämisen jo ennen kuin ne tapahtuvat. Ennustaminen on todella tärkeää etenkin luotettavuudessa, koska voidaan ajoissa päätellä, milloin vikaantuminen saattaa tapahtua. Tämä helpottaa huoltoaikataulun tekemistä. Myöskään luotettavuuskokeiden ei tarvitse kestää niin kauan, koska tapahtumat voidaan ennustaa.

Tekoälyn käyttöönottaminen aiheuttaa myös ongelmia. Sosiaaliset haitat voivat olla huomattavasti suuremmat, kuin taloudelliset hyödyt, joita yrityksille mahdollisesti aiheutuu. Tähän ongelmaan täytyy keksiä keinoja, joilla voidaan pitää haitat mahdollisimman pieninä. Tätä pystyttäisiin valvomaan esimerkiksi lainsäädännöillä, joilla rajoitettaisiin tekoälyn käytön määrää ja sitä mihin sitä pystytään käyttämään. Tekoäly voisi viedä työpaikkoja ihmisiltä, ja täten laskea ihmisten hyvinvointia. Etenkin luotettavuuskokeissa työntekijöiden määrä voi huomattavasti pienentyä johtuen työn luonteesta.

Datan integrointi ongelmat ovat todella suuria haittoja liittyen tekoälyn käyttöönottoon. Datan määrä ja laatu täytyy olla tarpeeksi hyvä, jotta tekoälymallit kehittyvät käyttökelpoisiksi. Tämä ongelma on kuitenkin vaikea määritellä, koska datan määrä ei ikinä ole vakio. Tämän takia ei voida todeta tiettyä datan määrää, joka on riittävä. Täytyy myös muistaa, että tekoälymalli voi toimia hyvin koulutusdatassa, muttei välttämättä uuden datan kanssa.

Yleisesti voidaan todeta, että tekoäly on tulevaisuudessa pakollinen yrityksille, jotka haluavat pärjätä elektroniikkateollisuudessa. Tehokkuuden ja tarkkuuden määrän lisääntyminen on niin merkittävä, joten tulevaisuudessa yritykset, jotka käyttävät tekoälyä saavat huomattavan eron

muihin verrattuna. Tekoälyn käyttöönottaminen on järkevää, vaikka se on kallista ja datan määrän saaminen voi olla ongelmallista. Tämä mahdollisesti asettaa pienemmät toimijat epäreiluun asemaan verrattuna isompiin yrityksiin.

Tekoälyn merkitys yhteiskunnalle tulee kasvamaan koko ajan, mikä tarkoittaa kasvavaa tarvetta lisätutkimukselle. Tulevaisuudessa tätä aihetta pitää tutkia huomattavasti enemmän, jotta yksilöt ja yritykset voivat ymmärtää tekoälyä paremmin, sekä hyödyntää sitä mahdollisimman tehokkaasti. Valtioiden ja kansainvälisten toimijoiden on laadittava tarpeellinen määrä tekoälyyn liittyvää lainsäädäntöä ja sääntelyä. Tämä helpottaa tekoälyn käyttöönottoa ja selkeyttää, mihin sitä saa hyödyntää ja mihin ei.

Lähdeluettelo

[1] M. Anusuya, K. P, S. Bathrinath, P. Vundrajavarapu, R. B. Kumar and M. Sakthivel, "Automation of Test and Measurement in Electronics Manufacturing Through AI," 2024 International Conference on Science Technology Engineering and Management (ICSTEM), 2024, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICSTEM61137.2024.10560845

[2] Gautam Nandkishore Nayak. Electronics Manufacturing Testing: A Technical Deep Dive. International Journal of Computer Engineering and Technology (IJCET), 2025, pp. 253-262, doi: 10.34218/IJCET_16_01_023

[3] Rathour, Kunal & Sikarwar, Basant & Phanden, Rakesh & Jacsó, Ádám & Singh, Rajeev. (2024). Smart Manufacturing: Issues and Challenges, Springer, pp. 217-226 doi:10.1007/978-981-97-3173-2_15.

[4] V. Ojha, "Transforming Electronics Engineering with Artificial Intelligence: Opportunities and Challenges in Design, Testing, Production, Maintenance, and Control Systems," 2023 International Conference on Power Energy, Environment & Intelligent Control (PEEIC), 2023, pp. 550-555, doi: 10.1109/PEEIC59336.2023.10450939.

[5] B. Cai et al., "Artificial Intelligence Enhanced Reliability Assessment Methodology With Small Samples," in IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, vol. 34, no. 9, pp. 6578-6590, 2023, doi: 10.1109/TNNLS.2021.3128514.

[6] Prof. David Keezer, Prof. Bruce Kim, and Dr. Sasidhar Koppolu, “FUNDAMENTALS OF ELECTRICAL TESTING.”, McGRAW-HILL, 2001, Chapter 22.

[7] L. V. Jospin, H. Laga, F. Boussaid, W. Buntine and M. Bennamoun, "Hands-On Bayesian Neural Networks—A Tutorial for Deep Learning Users," in IEEE Computational Intelligence Magazine, vol. 17, no. 2, pp. 29-48, 2022, doi: 10.1109/MCI.2022.3155327.

[8] O'Connor, Patrick D. T. Kleyner, Andre, Practical Reliability Engineering (5th Edition), John Wiley & Sons, 2012, Chap 9.1.

[9] DEPARTMENT OF DEFENSE (United States of America), MIL-STD-883L, 2019, Saatavissa: https://landandmaritimeapps.dla.mil/Downloads/MilSpec/Docs/MIL-STD-883/std883.pdf

[10] K. Knight, ”Why do you need a Reliability Block Diagram?”, armsreliability.com, 2020, Viitattu: 2.3.2025. Saatavilla: https://www.armsreliability.com/page/resources/blog/why-do-you-need-a-reliability-block-diagram

[11] Dutt, S., Chandramouli, S., & Das, A. K., ”Machine learning [First edition].), Pearson India, 2018, pp. 36-45.

[12] IBM, “What is predictive analytics?”, IBM.com, 2022, Viitattu 6.3.2025, Saatavissa: https://www.ibm.com/think/topics/predictive-analytics

[13] Stoyanov, S., Ahsan, M., Bailey, C. et al. Predictive analytics methodology for smart qualification testing of electronic components. J Intell Manuf 30, 2019, pp. 1497–1514, https://doi.org/10.1007/s10845-018-01462-9

[14] C. Pazzanese, ” Great promise but potential for peril” The Harvard Gazette, 2020, Viitattu 26.3.2025. Saatavissa: *https://news.harvard.edu/gazette/story/2020/10/ethical-concerns-mount-as-ai-takes-bigger-decision-making-role/*

[15] Talaei Khoei, T., & Kaabouch, N., Machine learning: Models, challenges, and research directions, Future Internet, 2023, 332, doi:10.5281/zenodo.8138725

[16] Anastasiia Safonova, Gohar Ghazaryan, Stefan Stiller, Magdalena Main-Knorn. *et al*, Ten deep learning techniques to address small data problems with remote sensing, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2023, doi:10.1016/j.jag.2023.103569.