

Opinnäytetyö (AMK)

Tietojenkäsittely

2024

Sebastian Grönroos

# Tekoälyn hyödyntäminen jalkapallossa



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Tietojenkäsittely

2024 | 32 sivua

Sebastian Grönroos

## Tekoälyn hyödyntäminen jalkapallossa

Tekoälyä käytetään nykyään monessa asiassa, myös jalkapallossa, jossa sitä hyödynnetään erityisesti erotuomaritoiminnassa ja pelianalyysissä. Tässä opinnäytetyössä tutkittiin, miten tekoälyä hyödynnetään jalkapallossa ja miten se vaikuttaa pelin eri osa-alueisiin. Tavoitteena oli syventyä tekoälyn hyödyntämiseen jalkapallopelien analyysin, erotuomaritoiminnan ja harjoittelun aloilla. Erityisesti keskityttiin tekoälyn merkitykseen tuomaroinnissa, jossa se on osoittautunut erittäin vaikuttavaksi.

Opinnäytetyössä tarkasteltiin erityisesti puoliautomaattista paitsiotekniikkaa (SAOT) ja maalilinjatekniikkaa (GLT). SAOT parantaa paitsiopäätösten nopeutta ja tarkkuutta automatisoimalla paitsiotilanteiden tunnistamisen, ja GLT auttaa erotuomareita tekemään tarkkoja päätöksiä maalitilanteissa ja vähentää virheiden määrää.

Tulosten perusteella selvisi, että tekoälyn hyödyntäminen jalkapallossa on erityisen merkittävää erotuomaritoiminnassa, mikä parantaa pelin oikeudenmukaisuutta ja tarkkuutta. Työn tulokset osoittivat, että tekoälyllä on keskeinen asema jalkapallon nykyaikaisissa teknologisissa sovelluksissa ja että se tarjoaa merkittäviä mahdollisuuksia lajin kehittämiseen.

Asiasanat:

jalkapallo, tekoäly, maaliviivateknologia, puoliautomaattinen paitsioteknologia, maaliiodottama

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Business Information Technology

2024 | 32

Sebastian Grönroos

## A Literature Review of the Impact of Artificial Intelligence on Refereeing and Game Analysis in Football

Artificial Intelligence (AI) is used in many aspects of modern life, including football where it is particularly utilized in refereeing and game analysis. This thesis investigated how AI is used in football and how it impacts various aspects of the game. The objective was to delve into the utilization of AI in football game analytics, officiating, and training. Special focus was given to the significance of AI in refereeing, where it has proven to be extremely influential.

The literature review conducted in this thesis specifically examined Semi-Automatic Offside Technology (SAOT) and Goal-Line Technology (GLT). SAOT enhances the speed and accuracy of offside decisions by automating the recognition of offside situations, while GLT assists referees in making precise decisions in goal situations, reducing the number of errors.

Based on the results, the use of AI in football is particularly significant in refereeing, improving the fairness and accuracy of the game. The findings of this literature review demonstrate that AI plays a central role in modern technological applications in football and offers significant opportunities for the development of the sport.

Keywords:

football, artificial intelligence, goal line technology, semi-automatic offside technology, expected goals

# Sisältö

<b>Käytetyt lyhenteet</b>	<b>6</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>7</b>
<b>2 Tuomarointiin vaikuttavat tekoälyä hyödyntävät teknologiat</b>	<b>8</b>
2.1 Puoliautomaattinen paitsioteknologia	8
2.1.1 SAOT:n toimintaperiaate	9
2.1.2 Puoliautomaattisen paitsioteknologian hyödyt	12
2.1.3 Puoliautomaattisen paitsioteknologian ongelmat	13
2.2 Maaliviivateknologia	14
2.2.1 Hawk-Eye GLT:n toimintaperiaate	14
2.2.2 GLT:n hyödyt	18
2.2.3 GLT:n ongelmat	18
<b>3 Tekoälyä hyödyntävät datatyökalut jalkapallossa</b>	<b>20</b>
3.1 Maaliodottama (xG)	20
3.1.1 Muut maaliodottaman kaltaiset tilastot	22
3.1.2 Odottamatilastojen hyödyntäminen	23
3.2 Elektroniset suorituskyky- ja seurantajärjestelmät	24
3.3 Tekoälyn hyödyntäminen valmennuksessa	25
3.3.1 TacticAI	25
3.4 Tekoälyn hyödyntäminen kykyjenetsinnässä	26
<b>4 Lopuksi</b>	<b>28</b>
<b>Lähteet</b>	<b>29</b>

## Kuvat

Kuva 1. Puoliautomaattisen paitsioteknologian seuraamat 29 datapistettä pelaajassa (FIFA 2023).	9
Kuva 2. Connected ball -tekнологian hyödyntämä jousitusjärjestelmä ja inertiamittausyksikkö (Adidas 2022).	10
Kuva 3. SAOT-tekнологian toimintaperiaate ja automaattinen ilmoitus (FIFA 2022b).	11
Kuva 4. Paitsiotilanteesta luotu 3D-kuva (FIFA 2022b).	12
Kuva 5. Järjestelmä tunnistaa pallon vielä maalivahdin sylissä. Tätä havainnollistamassa vihreä ympyrä pallon ympärillä. (Hawk-Eye n.d.)	15
Kuva 6. Kameran seuraavat pallon liikettä kentällä (FIFA 2012b).	16
Kuva 7. Hawk-Eye kamera 3 havaitsee maalin ja lähettää signaalin (FIFA 2012b).	16
Kuva 8. GLT havaitsee pallon ylittäneen maaliviivan millimetrin verran (Yle 2023).	17
Kuva 9. Maalivahti ja puolustaja ovat lähellä, ja vaikuttavat alentavasti xG-lukemaan (StatsBomb 2024).	21
Kuva 10. Puolustaja ja maalivahti ovat kaukana, joten xG-lukema on korkeampi (StatsBomb 2024).	21

## Käytetyt lyhenteet

3D	Three-dimensional, Kolmiulotteinen
AI	Artificial intelligence, Tekoäly
EPTS	Electronic Performance and Tracking Systems, Elektroniset suorituskyky- ja seurantajärjestelmät
FIFA	Fédération Internationale de Football Association, Kansainvälinen jalkapalloliitto
GLT	Goal-line technology, Maaliviivateknologia
Hz	Hertz, Hertsi
IMU	Inertial measurement unit, Inertiamittausyksikkö
SAOT	Semi-automated offside technology, Puoliautomaattinen paitsioteknologia
TV	Television, Televisio
UEFA	Union of European Football Associations, Euroopan jalkapalloliitto
UWB	Ultra Wideband, Ultralaajakaista
VAR	Video assistant referee, Videoerotuomari
xG	Expected goals, Maaliodottam

# 1 Johdanto

Jalkapallo, joka tunnetaan laajalti maailman suosituimpana urheilulajina, on jatkuvasti kehittynyt ja sopeutunut muutoksiin. Teknologia, erityisesti tekoäly (AI), on viime vuosikymmeninä noussut merkittävään rooliin jalkapallon kehityksessä. Tekoälyn integraatio jalkapalloon ei ainoastaan tuo uusia ulottuvuuksia pelianalyysiin ja strategiaan, vaan se myös parantaa tuomarointia ja valmennusta merkittäväällä tavalla.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia, miten tekoälyä hyödynnetään nykypäivän jalkapallossa ja miten se edistää lajin kehitystä. Opinnäytetyössä keskitytään erityisesti tekoälyn rooliin kolmella keskeisellä alueella: tuomaritoiminta, pelianalytiikka ja valmennus, joissa sitä jo hyödynnetään. Tutkimuksen kohteena ovat muun muassa maaliodottama (xG), joka tarjoaa tilastollisen arvion laukauksen todennäköisyydestä johtaa maaliin, maaliviivateknologia (GLT), joka auttaa tuomareita määrittämään, onko pallo ylittänyt maaliviivan, sekä puoliautomaattinen paitsioteknologia (SAOT), joka tuo nopeutta ja tarkkuutta paitsiopäätösten tekoon.

Lisäksi opinnäytetyössä tutkitaan, kuinka tekoäly tukee pelaajien suorituskyvyn seuranta ja kehitystä, pelitaktiikoiden suunnittelua sekä terveyden ja kunnon valvontaa. Näiden teknologioiden ymmärtäminen ja niiden vaikutusten arviointi jalkapalloon tarjoaa arvokasta tietoa niin teknologioiden kehittäjille kuin lajin parissa toimiville ammattilaisille.

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, miten tekoäly muokkaa jalkapallon nykyisyyttä ja tulevaisuutta, ja millaisia mahdollisuuksia tämä kehitys tuo tullessaan. Tekoälyn ymmärtäminen ja sen soveltaminen jalkapallossa voivat auttaa hahmottamaan, miten teknologia voi parantaa peliä kaikilla tasoilla turvallisuudesta pelin laatuun ja viihteelliseen arvoon.

## 2 Tuomarointiin vaikuttavat tekoälyä hyödyntävät teknologiat

Teknologian hyödyntämisessä tärkeässä osassa ovat videoerotuomarit (VAR). FIFA otti VARin virallisesti käyttöön jalkapallossa vuonna 2018. Videoerotuomareiden tehtäviin kuuluu tarkistaa videolta tilanteita, joissa kenttätuomari on tehnyt virheellisen tuomion. VARia käytetään maalitilanteiden, rangaistuspotkujen, suorien punaisten ja väärälle pelaajalle annettujen korttien tarkistamiseen. VAR tarkistaa myös esimerkiksi puoliautomaattisen paitsiojärjestelmän (SAOT:n) lähettämät ilmoitukset mahdollisista paitsioista ja vahvistaa tiedon ennen sen ilmoittamista erotuomarille. (FIFA 2022a.)

### 2.1 Puoliautomaattinen paitsioteknologia

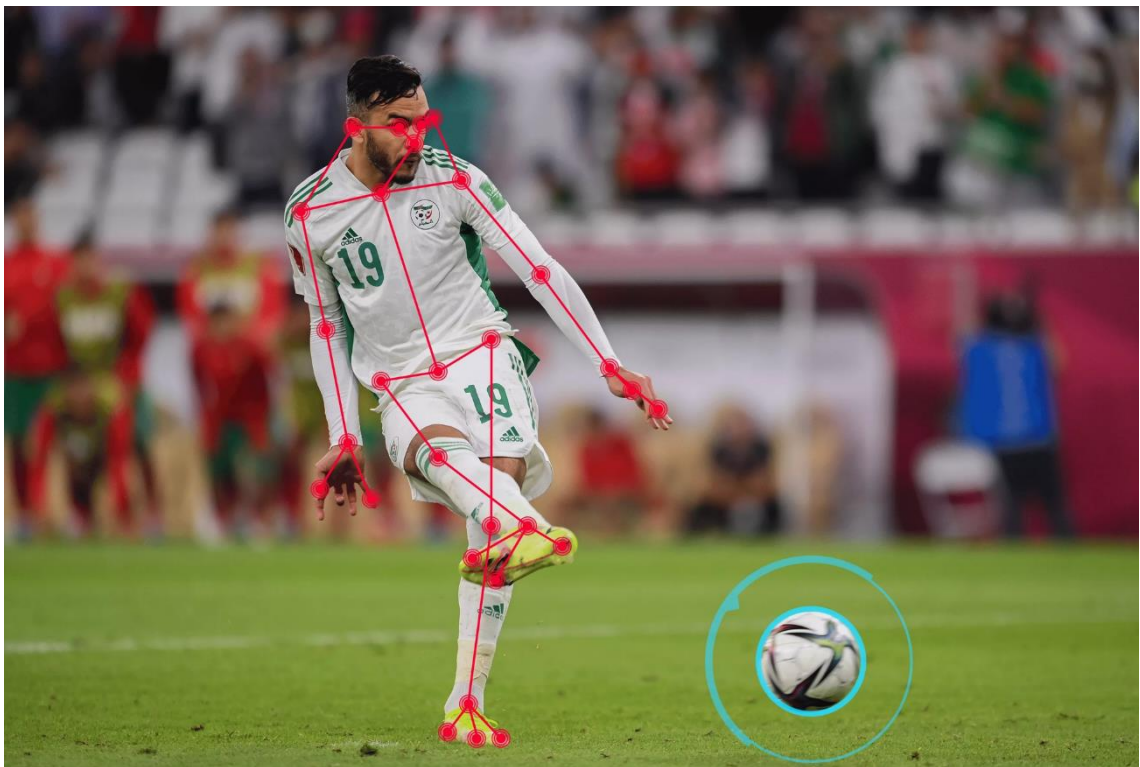
SAOT on merkittävä kehitys jalkapallon tuomaritoiminnassa. Se auttaa sekä videotuomareita että kenttätuomareita tekemään nopeampia, johdonmukaisempia ja tarkempia paitsiopäätöksiä. Teknologiaa käytettiin ensimmäisen kerran virallisesti Real Madridin ja Eintracht Frankfurtin välisessä UEFA Super Cup -ottelussa Helsingissä vuonna 2022. Tämä ottelu oli merkittävä virstanpylväs teknologian käytössä erotuomareiden avustamiseksi jalkapallo-otteluiden tuomitsemisessa. (UEFA 2022.)

SAOT toimii erikoistuneiden seurantakameroiden verkoston avulla. Nämä kamerat seuraavat useaa eri kehon kohtaa pelaajaa kohden. Tämän järjestelmän avulla VAR voi tunnistaa nopeasti ja tarkasti paitsiotilanteet ja parantaa päätöksentekoprosessien tehokkuutta ja luotettavuutta. Teknologiaa on testattu kattavasti vuodesta 2020 lähtien, ja laajat testaukset ovat osoittaneet SAOT:n tehokkuuden nopeiden ja tarkkojen paitsiotuomioiden tekemisessä. (UEFA 2022.)



### 2.1.1 SAOT:n toimintaperiaate

SAOT:n toiminta perustuu stadioneilla käytettäviin kehittyneisiin jäljityskameroihin, jotka asennetaan stadioneiden katon rajaan. Kameroita on käytössä yhteensä 12, ja niiden asentaminen korkealle mahdollistaa koko kentän kattavan seurannan. SAOT-kameroiden seurantaprosessi on erittäin tarkka. Kamerat rekisteröivät ja tallentavat jokaisesta pelaajasta 29 eri datapistettä sekä pallon liikkeitä 50 kertaa sekunnissa. Kerätyt 29 datapistettä sisältävät kaikki raajat, jotka ovat merkityksellisiä paitsiotuomioiden antamisen kannalta. Kuvassa 1 on visuaalisesti havainnollistettuna seurattavat kehonosat. (FIFA 2023.)



Kuva 1. Puoliautomaattisen paitsioteknologian seuraamat 29 datapistettä pelaajassa (FIFA 2023).

SAOT-järjestelmässä käytetään vuonna 2022 lanseerattua "Connected ball" -teknologiaa, jonka kehittivät yhteistyössä KINEXON, Adidas ja FIFA. Teknologian

tärkein osa on pallon sisällä oleva inertiamittausyksikkö, joka näkyy kuvassa 2. Mittausyksikkö painaa alle 10 g ja toimii UWB-radiotaajuudella, mikä mahdollistaa datan lähettämisen 500 kertaa sekunnissa. Tämä data sisältää pallon sijaintitiedot, nopeuden, kiihtyvyyden ja pyörimisnopeuden.

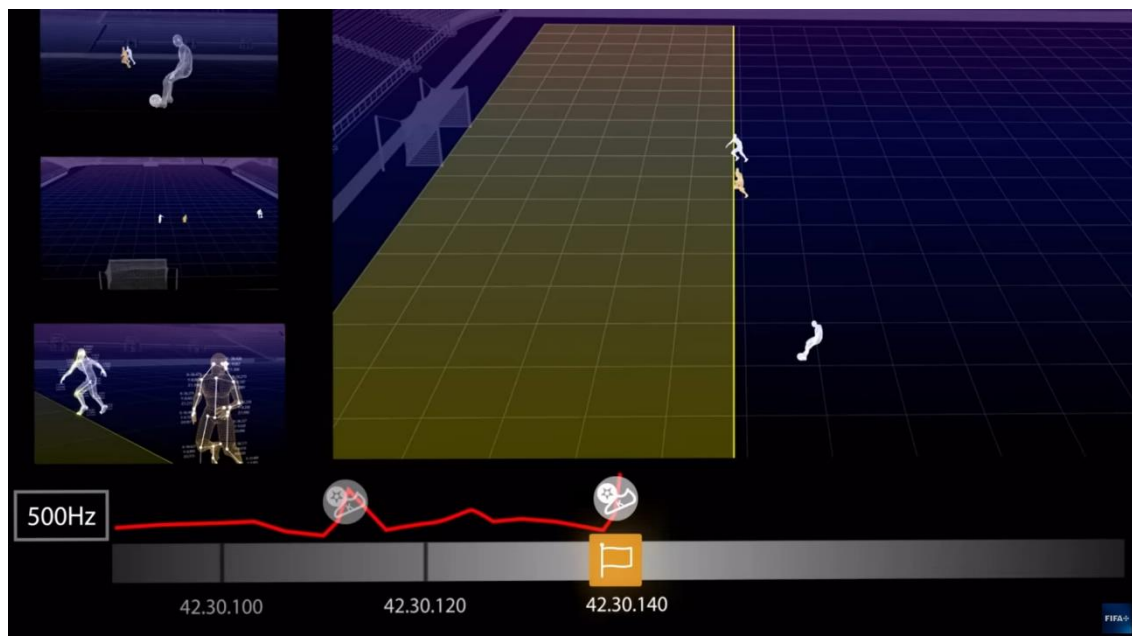
Lisäksi kuvassa 2 esitellään Adidaksen kehittämä jousitusjärjestelmä, joka on suunniteltu erityisesti anturin tukemiseen. Järjestelmä sijoittuu pallon keskelle ja pitää inertiamittausyksikön paikoillaan, varmistaen sen stabiilisuuden ja toimivuuden pelin aikana. Jousitusjärjestelmä mahdollistaa pallon normaalin käyttäytymisen pelissä, ja teknologia on huomaamaton pelaajille. Inertiamittausyksikkö toimii 500 Hz:n taajuudella, ja sen virtalähde on ladattava akku, joka voidaan ladata induktiolla. (Adidas 2022.)



Kuva 2. Connected ball -teknologian hyödyntämä jousitusjärjestelmä ja inertiamittausyksikkö (Adidas 2022).

Tekoälyalgoritmit yhdistävät jäljityskameroiden ja pallonseurannan tiedot, luoden automaattisen järjestelmän, joka ilmoittaa videoerotuomareille mahdollisesta

paitsiosta. Kuvassa 3 näytetään, kuinka SAOT toimii tarkalleen. Se seuraa pelaajien liikkeitä tarkasti ja yhdistää tämän tiedon pallon potkaisuhetkeen. Kuvassa 3 näkyy järjestelmän havaitsema mahdollinen paitsio ajassa 42.30.140.



Kuva 3. SAOT teknologian toimintaperiaate ja automaattinen ilmoitus (FIFA 2022b).

Ennen kuin mahdollisesta paitsiosta ilmoitetaan kenttätuomarille, videoerotuomarit tarkistavat SAOT:n lähettämän ilmoituksen manuaalisesti. Tarkistusprosessissa yhdistetään videomateriaali ja potkaisun ajankohta. Tarkistuksessa käytetään hyödyksi pallosta kerättyä dataa, josta selviää tarkka hetki, milloin palloa on potkaistu. Tämä tieto auttaa varmistamaan, että paitsiopäätökset ovat tarkkoja ja oikeudenmukaisia. (FIFA 2022b.)

Dr. Daniel Linke Kinexonilta vastasi kysymykseen "Connected ball technology" -esityksessään ja kertoi, että kaikkien järjestelmien täytyy käyttää samaa aikatieta, jotta esimerkiksi videomateriaalin ja pallosta kerätyn sijaintitiedon saa helposti yhdistettyä. Tämä toteutettiin käyttämällä tarkkaa kelloprotokollaa nimeltä Precision Time Protocol (PTP), joka varmistaa, että kaikki on synkronoitu nanosekuntien tarkkuudella. (FIFA 2022e.)

Tilanteen havainnollistamiseksi luodaan 3D-kuva, joka perustuu täsmälleen

samoihin sijaintitietoihin, joita käytettiin paitsiotilanteen vahvistamiseen. Kuvassa 4 esitetään esimerkki tästä 3D-kuvasta. Kuva näytetään stadioneilla yleisölle sekä TV-lähetyksissä, jotta pelitilanne voidaan havainnollistaa mahdollisimman selkeästi kaikille katsojille.



Kuva 4. Paitsiotilanteesta luotu 3D-kuva (FIFA 2022b).

### 2.1.2 Puoliautomaattisen paitsioteknologian hyödyt

SAOT lisää merkittävästi jalkapallossa tehtävien paitsiopäätösten tarkkuutta varmistamalla, että päätökset tehdään täsmälleen oikean sijainnin perusteella. SAOT auttaa vähentämään virheellisiä päätöksiä, jotka voivat mahdollisesti vaikuttaa pelin lopputulokseen. Lisäksi teknologia nopeuttaa päätöksentekoprosessia ja ylläpitää pelin sujuvuutta minimoimalla katkot pelissä. (FIFA 2023.)

SAOT parantaa tuomaritoiminnan johdonmukaisuutta varmistamalla, että samoja paitsiosääntöjä sovelletaan jokaisessa pelissä riippumatta siitä, kuka tuomari on. Tämä auttaa tekemään jalkapallostakin oikeudenmukaisempaa. Teknologia tukee tuomareita myös antamalla heille reaaliaikaista tietoa ja visuaalisia apuvälineitä,

mikä auttaa heitä tekemään parempia päätöksiä ja vähentää virheitä. Tuki on erittäin tärkeää, koska se helpottaa erotuomareiden usein otteluiden aikana tuntemaa suurta painetta. (Collina 2022.)

SAOT tekee jalkapallosta miellyttävämpää kaikille. Fanit hermostuvat vähemmän vääristä paitsiotuomioista, ja pelaajat pääsevät kilpailemaan reilussa ympäristössä. Selkeys ja oikeudenmukaisuus auttavat myös rakentamaan parempia suhteita fanien, pelaajien ja toimitsijoiden välille.

### 2.1.3 Puoliautomaattisen paitsioteknologian ongelmat

SAOT on parantanut jalkapallotoiminnan tarkkuutta, mutta se tuo mukanaan myös osuutensa erimielisyyksistä ja ongelmia. Erityisen kiistanalaisia ovat marginaaliset tuomiot. Päätökset, joissa pelaaja todetaan vain sentin verran paitsioasemassa olevaksi, voivat tuntua liian ankarilta. Myös teknisiä virheitä, kuten häiriöitä tiedonsiirrossa tai kameroissa, voi esiintyä. (MacInnes 2022.)

SAOT on vaikeuksissa siinä, miten monimutkaista on määrittää pelaajan aktiivinen osallistuminen peliin. Kamerat jäljittävät sijainnit tarkasti, mutta sen päättäminen, vaikuttaako pelaaja aktiivisesti peliin, on edelleen ihmisen päätettävä (FIFA 2023). Tämä voi johtaa kiistanalaisiin päätöksiin erityisesti tiukoissa tilanteissa, joissa pelaajan asema saattaa olla teknisesti paitsioasemassa, mutta ei vaikuta pelin lopputulokseen.

Yksi suurimmista ongelmista on myös, että SAOT on kallis. Tämä tarkoittaa, että kaikilla liigoilla ja joukkueilla ei ole siihen varaa. Vaikka SAOT voi siis auttaa tekemään paitsiopäätöksistä tarkempia, korkeat kustannukset ja resurssitarpeet voivat vaikeuttaa sen käyttöä kaikissa liigoissa ja joukkueissa.

## 2.2 Maaliviivateknologia

Maaliviivateknologian (GLT) käyttöönotto oli merkittävä muutos jalkapallossa, joka lisäsi tarkkuutta ja oikeudenmukaisuutta. Hawk-Eyen kokeiluvaiheista alkaen GLT:tä testattiin paljon Valioliigassa sen tarkkuuden ja luotettavuuden varmistamiseksi. Vuoden 2010 FIFA:n maailmanmestaruuskilpailussa sattunut kiistanalainen tilanne sai FIFA:n arvioimaan uudelleen GLT:n tarvetta. Tilanteessa Frank Lampardin maali hylättiin, vaikka pallo oli ylittänyt maaliviivan (BBC 2010). Tämän jälkeen Hawk-Eye sai FIFA:n hyväksynnän vuonna 2012 (CNN 2012).

Hawk-Eyen yhteydessä tulivat myös esiin vaihtoehtoiset GLT-järjestelmät, kuten GoalRef ja GoalControl, jotka molemmat käyttävät erilaisia teknologisia ratkaisuja. GoalRef käyttää magneettikenttiä ja radiotaajuustunnistustekniikkaa (RFID) maaliviivateknologiassaan, joka perustuu fyysiseen interaktioon visuaalisen analyysin sijasta (FIFA 2012). Vaikka GoalRefiä testattiin aluksi Hawk-Eyen kanssa samaan aikaan, se ei onnistunut vakiinnuttamaan asemaansa jalkapalloliigoissa kuten, Hawk-Eye. Sen sijaan GoalControl, joka käyttää kameroita Hawk-Eyen tapaan, sai FIFA-lisenssin ja otettiin käyttöön tärkeissä tapahtumissa, kuten vuoden 2013 Confederations Cupissa ja sitä seuraavissa FIFA maailmanmestaruuskilpailuissa vuonna 2014. (YLE 2015.) Näiden merkittävien turnausten jälkeen GoalControlin integrointi jäi kuitenkin vähäiseksi. Vaikka GoalControl oli aluksi suosittu, Hawk-Eyen monipuolisuus ja todistettu menestys takasivat sen pysyvän suosion. Hawk-Eyen GLT on ollut pitkään käytössä esimerkiksi Valioliigassa. Tämän takia opinnäytetyössä keskitytään Hawk-Eyen maaliviivateknologiaan. (Premier League 2013.)

### 2.2.1 Hawk-Eye GLT:n toimintaperiaate

Hawk-Eyen maaliviivateknologia käyttää 7 kameraa per maali eli yhteensä 14 kameraa. GLT-teknologian käyttämät kamerat eivät ole tavanomaisia, vaan ne

toimivat hyvin korkealla kuvantaajuudella. Kamerat asennetaan stadionin katolle, jotta niillä olisi laaja ja esteetön näkyvyys palloon. (FIFA 2022d).

Järjestelmä pystyy tunnistamaan pallon, vaikka siitä näkyisi kuvamateriaalissa vain pieni osa. Kuvassa 5 on esimerkki siitä, kuinka pienikin näköhavainto riittää pallon tunnistamiseen. Kun järjestelmä on tunnistanut kuvamateriaaleista pallon, käyttää se hyväkseen kolmiomittaustekniikkaa. Tämä tarkoittaa, että se tarkastelee eri kuvakulmista palloa ja käyttää keräämiään tietoja selvittääkseen pallon tarkan 3D-sijainnin kentällä. Pallon sijainnin laskemiseksi vaaditaan kuitenkin, että vähintään kahdella kameralla on näköyhteys palloon. (Richards 2021).

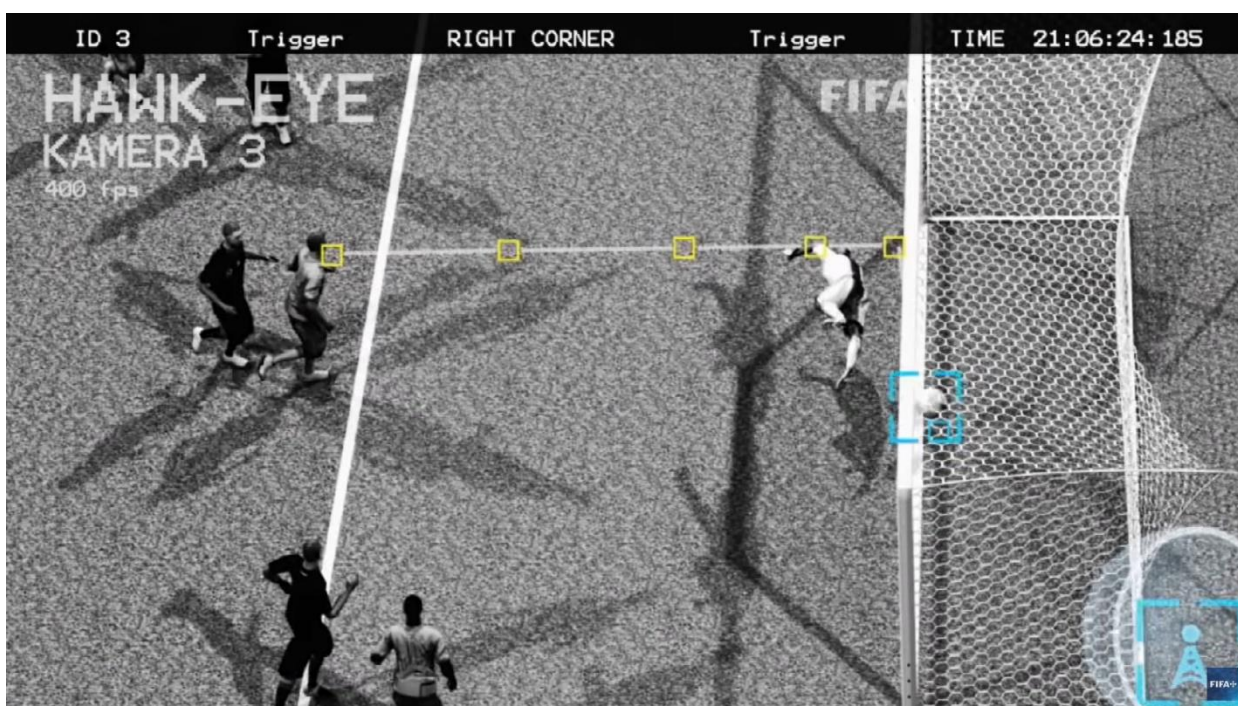


Kuva 5. Järjestelmä tunnistaa pallon vielä maalivahdin sylissä. Tätä havainnollistamassa vihreä ympyrä pallon ympärillä. (Hawk-Eye n.d.)

Kamerat kuvaavat jatkuvasti pelitapahtumia, ja tämä materiaali lähetetään järjestelmään. Järjestelmä käyttää konenäköä pallon tunnistamiseen. Kuvassa 6 havainnollistetaan, kuinka järjestelmä seuraa palloa jatkuvasti useiden kameroiden avulla. Kuvassa 7 näkyy tilanne, jossa Hawk-Eye-järjestelmän kamera numero 3 havaitsee pallon ylittävän maaliviivan. Tämän jälkeen kamera lähettää ilmoituksen erotuomarin kelloon. (FIFA 2012b.)



Kuva 6. Kamerat seuraavat pallon liikettä kentällä (FIFA 2012b).

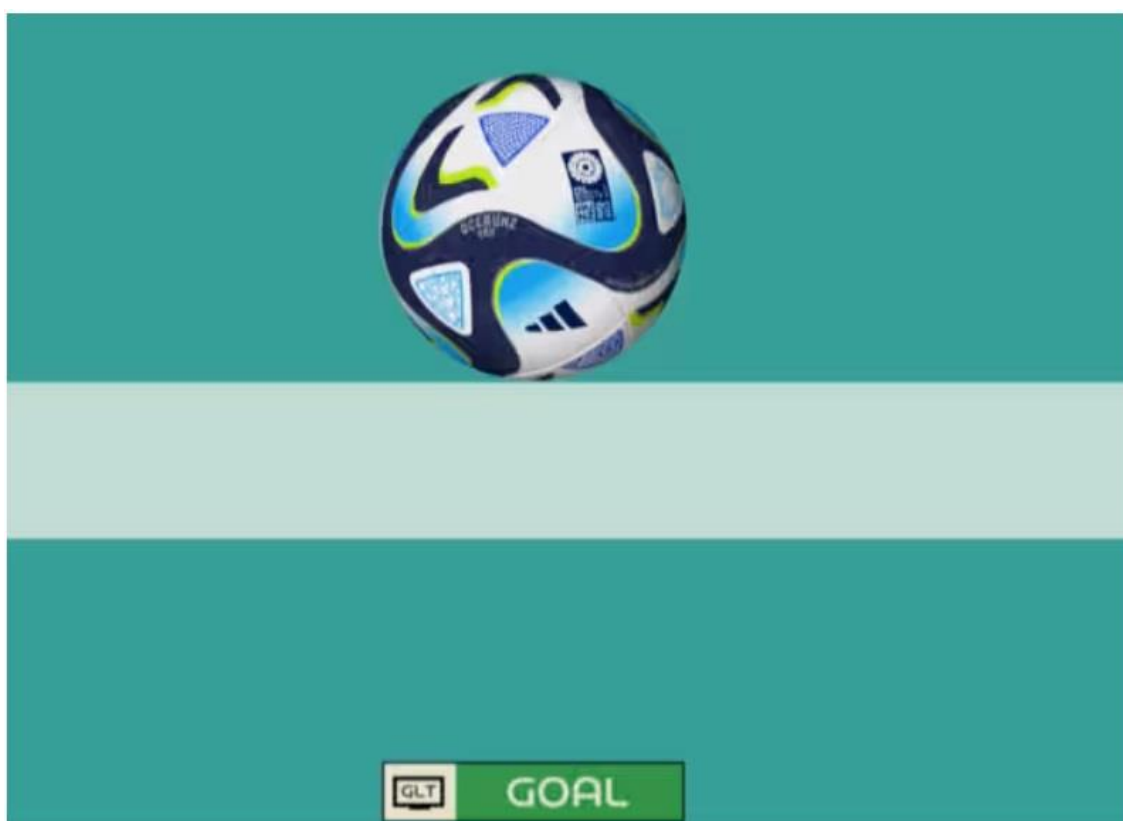


Kuva 7. Hawk-Eye kamera 3 havaitsee maalin ja lähettää signaalin (FIFA 2012b).



Järjestelmä on suunniteltu toimimaan reaaliaikaisesti ja antamaan välittömän signaalin erotuomareille, kun pallo on ylittänyt viivan. Tämä on erittäin tärkeä ominaisuus otteluissa, joissa päätökset on tehtävä nopeasti. Järjestelmä pystyy myös poistamaan tarvittaessa kuvamateriaaleista esimerkiksi pelaajia ja luomaan kuvia. Tämän ominaisuuden avulla pystytään tarkasti havainnollistamaan uusinnoissa myös yleisölle, että pallo on varmasti ylittänyt maaliviivan. (Hawk-Eye n.d.)

Kuvassa 8 näkyy tilanne Ruotsin ja Yhdysvaltojen välisestä MM-kisojen pudotuspeliottelusta, joka eteni rangaistuspotkukilpailuun. Kuvassa näkyy, kuinka Ruotsin pelaajan Lina Hurtigin potkaisema pallo ylittää maaliviivan vain millimetrin verran. Hawk-Eye GLT -järjestelmän ansiosta tämä havaittiin ja maali hyväksyttiin. Tämän seurauksena Ruotsi pääsi jatkamaan turnauksessa.



Kuva 8. GLT havaitsee pallon ylittäneen maaliviivan millimetrin verran (Yle 2023).

### 2.2.2 GLT:n hyödyt

Maaliviivateknologia määrittelee tarkasti, onko koko pallo ylittänyt maaliviivan, ja eliminoi inhimilliset virheet maalintekoon liittyvissä tuomaripäätöksissä. Vähentämällä virheiden määrää se lisää merkittävästi luottamusta ratkaisevien päätösten tarkkuuteen pelien aikana. Maaliviivateknologian puolueettomuus auttaa säilyttämään jalkapallon rehellisyyden. GLT varmistaa, että ottelut ratkaistaan pelaajien taidoilla ja joukkueen strategialla eikä mahdollisesti kyseenalaisilla tuomarilinjauksilla.

GLT:n tiedot välittyvät ottelun tuomareille sekunnin kuluessa, mikä mahdollistaa välittömän päätöksenteon häiritsemättä pelin kulkua. GLT:n nopeus varmistaa, että pelin kulku jatkuu, mikä vähentää viiveitä ja mahdollisia keskeytyksiä. (FIFA 2022d).

Teknologia ei ainoastaan paranna erotuomareiden päätöksenteon luotettavuutta, vaan se lisää myös fanien ja joukkueiden yleistä luottamusta pelin tuomarointiin. Kun tiedetään, että tällainen järjestelmä on käytössä, hyväksyvät katsojat todennäköisesti kiistanalaiset päätökset, koska he tietävät, että niitä tukee luotettava tekniikka.

GLT vaikuttaa huomattavasti moderniin jalkapalloon parantamalla tarkkuutta, oikeudenmukaisuutta, nopeutta ja kaikkien osapuolten luottamusta, mikä parantaa urheilun kokonaisvaltaista eheyttä ja viihtyvyyttä.

### 2.2.3 GLT:n ongelmat

GLT tarjoaa jalkapalloseurille monia hyötyjä, mutta sillä on myös useita haittoja, ja se on herättänyt kiistoja. Yksi merkittävä kritiikki on teknologian käyttöönotosta ja ylläpidosta aiheutuvat kustannukset. GLT:n asentaminen stadioneille on kallista, mikä tuottaa taloudellisia haasteita pienemmille seuroille ja liigoille.

Asennuskustannukset yksin ovat noin 290 000 €, minkä lisäksi tulevat vielä jatkuvat ylläpitokustannukset. Tämä voi olla kohtuuton menoerä pienemmille toimijoille.

Myös liika tukeutuminen teknologiaan aiheuttaa edelleen huolta. Kriitikot pelkäävät, että lisääntyvä riippuvuus GLT:n kaltaisista teknologisista apuvälineistä saattaa heikentää inhimillisen harkinnan arvoa. Huolta aiheuttaa se, että yhä useampia pelin osa-alueita ohjataan teknologian eikä ihmisten toimesta. Tällainen tilanne voisi heikentää erotuomareiden roolia ja muuttaa pelin luonnetta.

Tilanteissa, joissa pallo on kameroiden näköyhteyden peitossa pelaajien, maalitolpan tai maalivahdin sijainnin vuoksi, järjestelmä ei välttämättä havaitse pallon ylittävän maaliviivaa. Esimerkiksi Huddersfieldin ja Blackpoolin välisessä Championship-ottelussa 4.9.2022, kamerat eivät pystyneet seuraamaan palloa. Tästä tilanteesta huolimatta on tärkeää muistaa, että GLT:n tarkkuus on yleensä paljon luotettavampi kuin ihmissilmän. (Sky Sports 2022.)

### 3 Tekoälyä hyödyntävät datatyökalut jalkapallossa

Tekoäly on parantanut jalkapallosta kerättävien tietojen saamista ja hyödyntämistä. Työkalut, kuten maaliodottama ja elektroniset suorituskyky- ja seurantajärjestelmät, ovat tärkeitä pelaajien toiminnan arvioimiseen kentällä. Nämä työkalut tarjoavat reaaliaikaista dataa valmentajille. Tekoälyllä on myös iso rooli nykypäivänä pelaajien kykyjenetsinnässä, hyödyntämällä tietokantoja lahjakkaiden pelaajien löytämiseksi ja arvioimiseksi. Lisäksi se auttaa kehittämään taktisia strategioita ja ennustamaan mahdollisia loukkaantumisia.

#### 3.1 Maaliodottama (xG)

Maaliodottama (engl. expected goals, xG) on jalkapallossa käytetty tilastollinen työkalu, joka määrittää todennäköisyyden, jolla laukaus menee maaliin. xG-todennäköisyyksissä otetaan huomioon useita eri asioita, kuten etäisyys maalista, mistä kulmasta laukaus lähtee ja millainen pelitilanne on. Lisäksi kehittyneemmät xG-mallit ottavat huomioon, oliko kyseessä pusku vai veto, saksipotku vai volley, millainen syöttö oli ja mihin puolustajat ja maalivahtit ovat sijoittuneet. (Whitmore 2023.)

Tekoäly auttaa xG:n selvittämisessä analysoimalla historiatietoja laukauksista. Tekoäly laskee, mikä tekee laukauksista todennäköisiä maalintekopaikkoja. xG-malli antaa kullekin laukaukselle arvon 0 ja 1 välillä, mikä ilmaisee todennäköisyyden, jolla laukaus päättyy maalin. Esimerkiksi laukaukset, jotka vedetään maalin läheltä ilman, että kukaan estää niitä, ovat todennäköisempiä, joten niiden xG-arvo on korkeampi. (Whitmore 2023.)

Kuvissa 9 ja 10 on esitetty kaksi tilannetta, joissa vaikuttavat pelaajat on havainnollistettu punaisesti hohkaavina. Kuvien perusteella voidaan päätellä, että kuvan 9 xG-lukema on huomattavasti pienempi, koska maalivahti ja puolustaja ovat lähellä laukaisijaa. Kuvan 10 tilanteessa puolustava pelaaja on laukaisevan pelaajan takana ja maalivahti on kokonaan ulkona tilanteesta.



Kuva 9. Maalivahti ja puolustaja ovat lähellä ja vaikuttavat alentavasti xG-lukemaan (StatsBomb 2024).



Kuva 10. Puolustaja ja maalivahti ovat kaukana, joten xG-lukema on korkeampi (StatsBomb 2024).

### 3.1.1 Muut maali-odottaman kaltaiset tilastot

Maali-odottama on selvästi tunnetuin ja käytetyin erilaisista odottamatilastoista jalkapallossa. Maali-odottama on kuitenkin vain yksi monista erilaisista analyttisistä työkaluista, joilla voidaan seurata tarkasti erilaisia tilastoja. Odottamatilastojen avulla voidaan syventyä tarkemmin pelaajien ja joukkueiden suoriutumiseen pelissä.

Alla on lueteltuna erilaisia maali-odottaman kaltaisia tilastollisia työkaluja ja asioita, mitä niiden avulla pystyy tarkkailemaan. Kaikille odottamatilastoille ei ole vakiintuneita suomenkielisiä nimiä.

Maalisyyttö-odottama (xA) arvioi todennäköisyyden, että syöttö johtaa maaliin. Se mittaa pelaajien luomien mahdollisuuksien laatua.

Laukauksen jälkeinen maali-odottama (post-shot xG, xGOT) arvioi laukauksen laatua. Tämä tilasto ottaa huomioon laukauksen jälkeen eri muuttujia. Tämän avulla pystytään arvioimaan paremmin maalivahtien suoriutumista.

Expected pass (xP) arvioi syöttöjen laatua ja tehokkuutta. Se analysoi syöttöpäätösten vaikutusta pelin hallintaan ja rakentamiseen.

Expected Goals Conceded (xGC) mittaa niiden maalintekomahdollisuuksien laatua, joita joukkueen odotetaan päästävän. Se antaa tietoa puolustuksen suorituskyvystä.

Expected Points (xPTS) käyttää xG-tietoja arvioidakseen, kuinka monta pistettä joukkue todennäköisesti saa ottelusta. Se tarjoaa ennustavan näkymän ottelutuloksiin.

Expected Goals from Open Play (xG Open Play) ja Expected Goals from Set Play (xG Set Play) erottavat normaalissa pelitilanteessa luodut maalipaikat erikoistilanteista syntyneistä tilanteista. Tämä korostaa joukkueen strategioita eri pelitilanteissa.

Expected Save Percentage (xS%) arvioi maalivahdin suoritusta vertaamalla tehtyjen torjuntojen määrää kohti tulleiden laukausten määrään. Siinä otetaan huomioon laukausten haastavuus.

### 3.1.2 Odottamatilastojen hyödyntäminen

Valmentajilla ja analytikoilla on tärkeä rooli datan hyödyntämisessä joukkueen suorituskyvyn ja strategian parantamiseksi jalkapallossa. Hyödyntämällä odottamatilastojen tarjoamia tietoja he voivat tehdä perustellumpia päätöksiä ennen ottelua, ottelun aikana ja sen jälkeen. (Stats Perform n.d.)

Ennen ottelua valmentajat ja analytikot analysoivat tulevien vastustajien tilastoja ymmärtääkseen heidän vahvuutensa ja heikkoutensa. Tämä analysointi auttaa laatimaan sopivia pelisuunnitelmia, joissa hyödynnetään vastustajan heikkouksia ja hyödynnetään samalla oman joukkueen vahvuuksia (Stats Perform n.d.). Ymmärtämällä esimerkiksi vastustajan xGC:n valmentajat voivat tunnistaa puolustuksen heikkoudet, joihin he voivat kohdistaa hyökkäyksensä pelissä.

Ottelun aikana analytikot antavat valmentajille reaaliaikaista palautetta tilastojen perusteella. Nämä tiedot auttavat valmentajia tekemään taktisia muutoksia nopeasti, kuten vaihtamaan pelaajia tai muuttamaan kokoonpanoa maalintekomahdollisuuksien maksimoimiseksi tai puolustuksen heikkouksien korjaamiseksi. (Koptelov 2023.)

Ottelun jälkeen valmentajat ja analytikot tekevät ottelun jälkeisiä analyyssejä, joissa käytetään tilastoja joukkueen suorituskyvyn arvioimiseksi (Stats Perform n.d.). He tunnistavat parannusalueita analysoimalla tilastoja, kuten xG ja xPTS. Esimerkiksi todellisten ja odotettujen maalien välinen ero saattaa viitata viimeistelyssä ilmeneviin heikkouksiin, jolloin valmentajat voivat keskittyä harjoittelussa viimeistelyyn.

### 3.2 Elektroniset suorituskyky- ja seurantajärjestelmät

Elektroniset suorituskyky- ja seurantajärjestelmät (EPTS) muuttavat jalkapalloa parantamalla sitä, miten joukkueet keräävät dataa pelaajien suorituskyvyn ja strategian seuraamiseksi. Järjestelmät, jotka ovat joko puettavia tai optisia, keräävät tarkkaa tietoa jalkapallo-otteluiden aikana ja seuraavat pelaajien liikkeitä, nopeutta ja erilaisia suorituskykytietoja. (FIFA n.d.)

Järjestelmien keräämä data menee tekoälyalgoritmien analysoitavaksi. Tekoälyalgoritmien avulla voidaan tehdä suorituskykyyn liittyviä havaintoja, joita olisi haastava nähdä ilman teknologian apua. Datan analysointi auttaa monella tavalla, kuten ehdottamalla muutoksia pelaajan juoksutyylisiin loukkaantumisiin pienentämiseksi tai tunnistamalla, milloin pelaaja alkaa väsyä ja hänet on ehkä vaihdettava joukkueen tehokkuuden ylläpitämiseksi. (Analysisport 2022.)

Kerättyjä tietoja voidaan käyttää treeniohjelmien räätälöintiin, joukkueen strategian parantamiseen ja pelipäivän päätösten optimointiin. EPTS:stä saadut tiedot voivat auttaa valmentajia luomaan tehokkaampia harjoittelujaksoja, joissa keskitytään pelaajien suorituskyvyn fyysisten ja taktisten ominaisuuksien parantamiseen. (Klingelhöfer 2023.)

FIFA otti vuonna 2017 käyttöön EPTS-laitteita koskevan laatuohjelman varmistukseksi, että ne ovat vaarattomia ja toimivia. Ohjelmassa testataan EPTS-laitteiden turvallisuus ja tehokkuus, ja standardit täyttävillä laitteilla myönnetään "FIFA Quality" -merkki. Tämä sertifiointi antaa joukkueille ja liigoille tietoa käyttämiensä EPTS-laitteiden luotettavuudesta ja tarkkuudesta, mikä varmistaa, että tiedot ovat sekä luotettavia että hyödyllisiä. (FIFA n.d b.)



### 3.3 Tekoälyn hyödyntäminen valmennuksessa

Tekoälyllä on ollut suuri vaikutus jalkapallon valmennuksen kehittämisessä, mahdollistaen valtaviin tietomääriin analysoinnin. Tekoäly tarjoaa arvokasta dataa pelaajien suorituskyvystä, strategioista ja pelitaktiikoista. Valmentajat voivat hyödyntää tätä tietoa tehdäkseen päätöksiä, parantaakseen harjoitusjaksojen laatua ja laatiakseen tehokkaampia pelistrategioita. (Da Silva 2018.)

Pelaajien suorituskyvyn analysointiin käytetään tekoälyjärjestelmiä, jotka prosessoivat otteluiden ja harjoitusten aikana kerättyä dataa. Nämä järjestelmät hyödyntävät erilaisia mittareita, kuten nopeutta, kiihtyvyyttä ja kuljettua matkaa. On myös monimutkaisempia malleja, jotka tarkistavat pelaajan sijoittumista ja päätöksentekoa paineen alla. Tekoäly auttaa valmentajia räätälöimään harjoitusohjelmia pelaajien erityistarpeiden mukaan ja strategisoimaan tehokkaammin tulevia otteluita varten. (Tech Xplore 2020.)

#### 3.3.1 TacticAI

Googlen DeepMindin TacticAI on yksi esimerkki tekoälyn soveltamisesta jalkapallovalmennuksessa. Tämä tekoälyjärjestelmä on suunniteltu tarjoamaan taktisia oivalluksia, jotka keskittyvät erityisesti kulmapotkuihin. (Wang & Veličković 2024.)

TacticAI toimii ennakoivien ja generatiivisten mallien avulla, jotka analysoivat aiemmista pelitilanteista saatuja tietoja ja ehdottavat parannuksia tulevia skenaarioita varten. Järjestelmä kehitettiin yhteistyössä Liverpool FC:n kanssa, ja se on osoittautunut tehokkaaksi työkaluksi kulmapotkustrategioiden parantamiseen. Asiantuntijat pitivät TacticAI:n ehdotuksia 90 %:ssa tapauksista parempina kuin käytännössä nähtyjä taktisia asetelmia. (Wang & Veličković 2024.)

TacticAI:n toiminta perustuu geometriseen syväoppimiseen, joka mahdollistaa yleistettävien mallien luomisen kulmapotkuaineistosta, vaikka

kulmapotkuaineistoa on saatavilla vain rajoitetusti. Järjestelmän avulla valmentajat voivat ottaa näytteitä vaihtoehtoisista pelaaja-asetelmista kutakin tarkasteltavaa pelirutiinia varten ja arvioida suoraan tällaisten vaihtoehtojen mahdollisia tuloksia. (Wang & Veličković 2024.)

TacticAI on kattava tekoälyjärjestelmä, jossa yhdistyvät ennustavat ja generatiiviset mallit, joiden avulla voidaan analysoida aiempien pelien tapahtumia ja tehdä mukautuksia, jotta tietty lopputulos olisi todennäköisempi. Tämä järjestelmä korostaa, miten jalkapallon kaltaiset urheilulajit tarjoavat tekoälyn kehittämislle dynaamisen ympäristön. (Wang & Veličković 2024.)

### 3.4 Tekoälyn hyödyntäminen kykyjenetsinnässä

Tekoäly on ottanut merkittävän roolin jalkapallon kykyjenetsinnässä, ja se on muuttanut tapaa, jolla pelaajia analysoidaan ja arvioidaan. Yksi esimerkki tekoälyn käytöstä kykyjenetsinnässä on aiScout, joka on sovelluspohjainen alusta.

aiScout käyttää tekoälyä ja koneoppimista kerätäkseen ja analysoidakseen laajan valikoiman pelaajadataa. Tämä data voi sisältää pelaajien fyysiset ominaisuudet, kuten nopeuden ja kiihtyvyyden, sekä pelitilastot, kuten maalit, syötöt ja taklaukset. Tekoälyn avulla saadaan myös lisätietoa pelaajan taidoista ja pelityylistä. (Medium 2023.)

Tekoälyn avulla aiScout pystyy tunnistamaan potentiaaliset lahjakkuudet laajasta pelaajajoukosta. Tekoälyalgoritmit voivat tunnistaa mallit ja suuntaukset pelaajadatassa, jotka saattavat jäädä ihmisen silmältä näkemättä. Esimerkiksi, jos tietty pelaaja tekee usein samanlaisia liikkeitä tietyissä tilanteissa, tekoäly voi tunnistaa tämän toistuvan mallin. Samoin, jos useat pelaajat tietyllä tasolla tai tietyssä roolissa osoittavat samankaltaisia ominaisuuksia tai suorituskykyä, tekoäly voi tunnistaa tämän suuntauksen. Tämä mahdollistaa lahjakkuuksien tunnistamisen varhaisessa vaiheessa ja antaa valmentajille ja kykyjenetsijöille mahdollisuuden keskittyä näiden pelaajien kehittämiseen. (Medium 2023.)

Joukkueille koituvien hyötyjen lisäksi aiScoutin kaltaiset alustat tekevät kykyjenetsintäprosessista tasavertaisemman myös pelaajille. Ne tarjoavat alustan, jossa ennestään tuntemattomat pelaajat voivat esitellä taitojaan huippuseuroille maailmanlaajuisesti. Myös Major League Soccer (MLS) on ottanut käyttöön aiScoutin ja sisällyttänyt alustan kykyjenetsintätoimintoihinsa. (Bantock, J 2024.)

## 4 Lopuksi

Opinnäytetyössä tutkittiin tekoälyn hyödyntämistä monilla jalkapallon osa-alueilla, kuten pelianalytiikassa, tuomaroinnissa ja valmennuksessa. Tavoitteena oli selvittää tekoälyn sovelluksia ja vaikutuksia jalkapallon pelianalytiikassa, tekoälyn merkitystä ja hyötyjä tuomaritoiminnassa sekä tekoälyn potentiaalia valmennuksessa ja kykyjenetsinnässä. Opinnäytetyön tulokset osoittavat, että teknologiat, kuten SAOT ja GLT, ovat merkittävästi parantaneet tuomaroinnin nopeutta ja tarkkuutta. Tämä vähentää virheitä ja edistää pelin oikeudenmukaisuutta, mikä on tärkeää sekä pelaajille että katsojille.

Vaikka teknologian käyttöönotossa on havaittu merkittäviä etuja, tutkimuksessa on myös paljastunut joitakin rajoituksia. Esimerkiksi teknologioiden kustannukset voivat olla esteenä sen käyttöönotolle kaikilla tasoilla. Alkuinvestoinnin ja jatkuvan ylläpidon kustannukset voivat olla liian korkeita pienemmille seuroille ja liigoille, mikä saattaa rajoittaa teknologian käyttöä.

Valmennuksessa ja kykyjenetsinnässä tekoälyllä on valtava potentiaali. Sen avulla voidaan analysoida pelaajien suorituskykyä syvällisemmin ja tunnistaa potentiaalisia lahjakkuuksia. Lisäksi tekoäly voi auttaa ennustamaan loukkaantumisia, mikä voi auttaa seuroja suojelemaan paremmin pelaajiensa terveyttä ja vähentämään loukkaantumisiin liittyviä riskejä.

Tulevaisuudessa on paljon mahdollisuuksia tekoälyn käytölle jalkapallossa. Yksi potentiaalinen alue on rikkeiden tunnistaminen, kuten käsivirheet ja rikkeet rangaistusalueella.

Jatkotutkimuksessa voitaisiin syventyä tarkemmin tekoälyn käyttöön jalkapallossa eri osa-alueilla ja selvittää, miten teknologia voi edelleen parantaa pelin laatua ja reiluutta. Lisäksi olisi kiinnostavaa tutkia, miten tekoäly voi integroitua entistä paremmin jalkapallon valmennus- ja kykyjenetsintäprosesseihin, sekä selvittää sen mahdollisuuksia ennustaa ja ehkäistä loukkaantumisia.

## Lähteet

Adidas 2022. Adidas reveals the first FIFA World Cup official match ball featuring connected ball technology. Viitattu 14.4.2024.

<https://news.adidas.com/football/adidas-reveals-the-first-fifa-world-cup-official-match-ball-featuring-connected-ball-technology/s/cccb7187-a67c-4166-b57d-2b28f1d36fa0>

Analyisport 2022. How is artificial intelligence being used in football? Viitattu 17.4.2024. <https://analyisport.com/insights/how-is-artificial-intelligence-being-used-in-football/>

Bantock, J, 2024. Top soccer clubs are using an AI-powered app to scout future stars, CNN 1.3.2024. Viitattu 3.5.2024.

<https://edition.cnn.com/2024/03/01/tech/aiscout-app-soccer-scouting-spc-intl/index.html>

BBC 2010. Goal-line technology: How does it work? Viitattu 28.3.2024.

[http://news.bbc.co.uk/sport2/hi/football/world\\_cup\\_2010/8771294.stm](http://news.bbc.co.uk/sport2/hi/football/world_cup_2010/8771294.stm)

Bishop, J 2015. The 91st: Pros and Cons of Goal-Line Technology, Orlando City SC 15.12.2015. Viitattu 4.4.2024. <https://www.orlandocitysc.com/news/91st-pros-and-cons-goal-line-technology>

CNN 2012. Goal-line technology: How does it work? Viitattu 2.4.2024.

<https://edition.cnn.com/2012/07/05/sport/football/goal-line-technology-fifa-football/index.html>

Collina, P 2022. Semi-automated offside tech aids referees and fans at FIFA Club World Cup, FIFA 9.2.2022. Viitattu 11.3.2024.

<https://inside.fifa.com/technical/football-technology/news/semi-automated-offside-tech-aids-referees-and-fans-at-fifa-club-world-cup-tm>

Da Silva, A 2018. Chelsea is using our AI research for smarter football coaching, The Conversation 2.11.2018. Viitattu 6.5.2024

<https://theconversation.com/chelsea-is-using-our-ai-research-for-smarter-football-coaching-105750>

FIFA 2012a. Goal-line technology: GoalRef explained. Viitattu 27.3.2024.

<https://inside.fifa.com/watch/goal-line-technology-goalref-explained>

FIFA 2012b. Goal-line technology: Hawk-Eye explained. Viitattu 18.3.2024

[https://www.youtube.com/watch?v=exEHTO-YnuE&ab\\_channel=FIFA](https://www.youtube.com/watch?v=exEHTO-YnuE&ab_channel=FIFA)

FIFA 2022a. Football technologies and innovations at the FIFA World Cup 2022: Video Assistant Referee (VAR). Viitattu 10.3.2024.

<https://inside.fifa.com/technical/football-technology/football-technologies-and-innovations-at-the-fifa-world-cup-2022/video-assistant-referee-var>

FIFA 2022b. Semi-automated offside technology to be used at FIFA World Cup 2022. Viitattu 15.3.2024. [https://inside.fifa.com/technical/media-releases/semi-automated-offside-technology-to-be-used-at-fifa-world-cup-2022-](https://inside.fifa.com/technical/media-releases/semi-automated-offside-technology-to-be-used-at-fifa-world-cup-2022-tm)

[tm](https://inside.fifa.com/technical/media-releases/semi-automated-offside-technology-to-be-used-at-fifa-world-cup-2022-tm)

FIFA 2022c. Semi-automated offside tech aids referees and fans at FIFA Club World Cup. Viitattu 15.3.2024. [https://inside.fifa.com/technical/football-](https://inside.fifa.com/technical/football-technology/news/semi-automated-offside-tech-aids-referees-and-fans-at-fifa-club-world-cup-tm)

[technology/news/semi-automated-offside-tech-aids-referees-and-fans-at-fifa-club-world-cup-tm](https://inside.fifa.com/technical/football-technology/news/semi-automated-offside-tech-aids-referees-and-fans-at-fifa-club-world-cup-tm)

FIFA 2022d. Football technologies and innovations at the FIFA World Cup 2022: Goal-line technology. Viitattu 2.4.2024.

<https://inside.fifa.com/technical/football-technology/football-technologies-and-innovations-at-the-fifa-world-cup-2022/goal-line-technology>

FIFA 2022e. Connected Ball Technology. Viitattu 18.3.2024.

[https://www.youtube.com/watch?v=TvgHs9FZzf8&ab\\_channel=FIFA](https://www.youtube.com/watch?v=TvgHs9FZzf8&ab_channel=FIFA). [Dr. Daniel Linke.]

FIFA 2023. Semi-automated offside technology. Viitattu 18.3.2024.

<https://inside.fifa.com/technical/football-technology/football-technologies-and-innovations-at-the-fifa-world-cup-2022/semi-automated-offside-technology>

FIFA n.d a. Electronic Performance and Tracking Systems (EPTS). Viitattu

19.4.2024. <https://inside.fifa.com/technical/football-technology/standards/epts/epts-1>

FIFA n.d. Electronic Performance and Tracking Systems (EPTS). Viitattu 19.4.2024. <https://inside.fifa.com/technical/football-technology/standards/epts>

Hawk-Eye n.d. Hawk-Eye Goal Line Technology. Viitattu 29.3.2024 [https://s3.amazonaws.com/hawkeye-static/GLT\\_HowItWorks3.pdf](https://s3.amazonaws.com/hawkeye-static/GLT_HowItWorks3.pdf)

Klingelhöfer, C 2023. AI in sport: Artificial intelligence in soccer, ISPO 16.11.2023. Viitattu 21.4.2024. <https://www.ispo.com/en/sportstech/ai-sport-artificial-intelligence-soccer>

Koptelov, A, 2023. The Role of Data Analytics in Football Performance, SmartData Collective 4.5.2024. <https://www.smartdatacollective.com/role-of-data-analytics-football-performance/>

MacInnes, P 2022. SAOT World Cup: AI-assisted offside system VAR Qatar, The Guardian 19.11.2022. Viitattu 15.4.2024. <https://www.theguardian.com/football/2022/nov/19/saot-world-cup-ai-assisted-offside-system-var-qatar>

Medium, 2023. AiScout, developed by AI.io, utilizes AI for talent identification in professional football. Viitattu 6.5.2024. <https://medium.com/@multiplatform.ai/aiscout-developed-by-ai-io-utilizes-ai-for-talent-identification-in-professional-football-1def6c15838b>

Premier League 2013. Premier League to introduce goal-line technology. Viitattu 27.3.2024. <https://www.premierleague.com/news/60514>

Richards, M 2021. Hawk-Eye: The technology behind the tennis line-calling system, Sony 20.1.2021. Viitattu 30.3.2024 <https://www.sony.com/en/SonyInfo/technology/stories/entries/Hawk-Eye/>

Sky Sports 2022. Huddersfield and English Football League receive apology from Hawk-Eye for goal-line technology failure. Viitattu 27.3.2024. <https://www.skysports.com/football/news/11095/12691175/huddersfield-and-english-football-league-receive-apology-from-hawk-eye-for-goal-line-technology-failure>

Stats Perform, n.d. EMPOWER YOUR COACHES & PLAYERS WITH APPLIED TACTICAL INSIGHTS. Viitattu 6.5.2024. <https://www.statsperform.com/team-performance/football-performance/match-analysis/>

Tech Xplore 2020. AI technology takes football player performance analysis to a new dimension. Viitattu 6.5.2024 <https://techxplore.com/news/2020-06-ai-technology-football-player-analysis.html>

UEFA 2022. European referees primed for a new campaign. Viitattu 15.3.2024. <https://it.uefa.com/news-media/news/0279-160366f9e5a0-9e2236b56ada-1000-european-referees-primed-for-a-new-campaign/>

Wang, Z. & Veličković, P 2024. TacticAI: an AI assistant for football tactics, Google DeepMind 19.3.2024. Viitattu 30.4.2024. <https://deepmind.google/discover/blog/tacticai-ai-assistant-for-football-tactics/>

Whitmore, J 2023. What is Expected Goals (xG)?, Opta Analyst 8.8.2023. Viitattu 8.4.2024. <https://theanalyst.com/2023/08/what-is-expected-goals-xg/>

Williamson, L 2013. Hawk-eye awarded Premier League contract for goal-line technology, Daily Mail 11.4.2013. Viitattu 28.3.2024. <https://www.dailymail.co.uk/sport/football/article-2307376/Hawk-eye-awarded-Premier-League-contract-goalline-technology-Exclusive.html>

Yle 2015. Fifa valitsi GoalControl-maaliviivateknologian. Viitattu 28.3.2024. <https://yle.fi/a/3-6561880>

Yle 2023, Nämä käsittämättömät hetket ratkaisivat Ruotsille paikan MM-puolivälierässä – Ylen selostamo sekosi: ”Sydän salpautuu suorastaan!”. Viitattu 28.3.2024. <https://yle.fi/a/74-20043988>