

Phatchanon Chuchat

**Intrusiiviset ja ei-intrusiiviset paikannusjärjestelmät
jalkapallossa**

Tietotekniikan Kandidaatintutkielma

15. toukokuuta 2023

Jyväskylän yliopisto

Informaatioteknologian tiedekunta

Tekijä: Phatchanon Chuchat

Yhteystiedot: Pchuchat@student.jyu.fi

Ohjaaja: Antti-Jussi Lakanen

Työn nimi: Intrusiiviset ja ei-intrusiiviset paikannusjärjestelmät jalkapallossa

Title in English: Intrusive and non-intrusive positioning systems in football

Työ: Kandidaatintutkielma

Opintosuunta: Tietotekniikka

Sivumäärä: 21+0

Tiivistelmä: Tässä kandidaatintutkielmassa käsitellään intrusiivisia ja ei-intrusiivisia paikannusjärjestelmiä jalkapallossa. Tutkielman tavoitteena on tarkastella näiden kahden paikannusjärjestelmän käyttöä, eroja, hyötyjä ja haittoja sekä niiden tulevaisuuden näkymiä. Tutkimus osoittaa, että molemmilla järjestelmillä on omat vahvuutensa ja heikkoutensa, ja niiden kehitys jatkuu tulevaisuudessa.

Avainsanat: Jalkapallo, Paikannusjärjestelmät, Intrusiiviset järjestelmät, Ei-intrusiiviset järjestelmät, Suorituskyky

Abstract: This bachelor's thesis examines intrusive and non-intrusive positioning systems in football. The aim of the study is to explore the use, differences, advantages, and disadvantages of these two positioning systems, as well as their future prospects. The research demonstrates that both systems have their own strengths and weaknesses, and their development will continue in the future.

Keywords: Football, Positioning systems, Intrusive systems, Non-intrusive systems, Performance

Jyväskylässä 15. toukokuuta 2023

Sisällys

1	JOHDANTO	1
2	PAIKANNUSJÄRJESTELMÄT JALKAPALLOSSA	3
2.1	Urheilussa käytettävät paikannusjärjestelmät	3
2.2	Intrusiiviset paikannusjärjestelmät	4
2.3	Intrusiiviset paikannusjärjestelmät jalkapallossa	5
2.4	Ei-intrusiiviset paikannusjärjestelmät	6
2.5	Ei-intrusiiviset paikannusjärjestelmät jalkapallossa	7
2.6	Intrusiivisten ja ei-intrusiivisten paikannusjärjestelmien erot	8
2.7	Case-esimerkkejä: Paikannusjärjestelmien käyttö jalkapallossa	9
3	POHDINTA	10
4	YHTEENVETO.....	11
	LÄHTEET	12

1 Johdanto

Jalkapallo on yksi maailman suosituimmista joukkueurheilulajeista (Data 2020). FIFA World Cup on jalkapallon arvostetuimpia turnauksia, joka järjestetään joka neljäs vuosi. Vuonna 2022 kilpailut järjestettiin Qatarissa, ja siellä hyödynnettiin paljon erilaisia teknologisia ratkaisuja, kuten kamerapohjaista paikannusjärjestelmää pelaajien liikkeiden seuraamiseen kentällä (Hurtado 2022).

Käytännössä näiden paikannusjärjestelmien avulla valmentajat, pelaajat ja analyttikot voivat tutkia pelaajien sijaintia, liikkeitä ja suorituksia kentällä (Castellano 2011). Tämä tieto auttaa heitä kehittämään parempia pelistrategioita, analysoimaan vastustajien taktiikoita ja parantamaan pelaajien fyysistä kuntoa (Cross ym. 2017). Tutkimuksissa on saatu selville, että paikannusjärjestelmät voivat auttaa valmentajia tunnistamaan pelaajien vahvuuksia ja heikkouksia sekä antamaan palautetta pelaajien liikkumisesta kentällä (Ogris ym. 2012). Näiden järjestelmien avulla voidaan myös analysoida vastustajien pelityylejä, jotta joukkueet voivat valmistautua paremmin tuleviin otteluihin (Folgado ym. 2014).

Paikannusjärjestelmät tuottavat monipuolista dataa, kuten pelaajien etäisyydet, nopeudet, kiihtyvyydet ja energiankulutuksen (Barris ja Button 2008). Tämän datan avulla voidaan kehittää yksilöllisiä harjoitusohjelmia, jotta pelaajat voivat parantaa heikkouksiaan ja hyödyntää vahvuuksiaan (Rampinini ym. 2014). Lisäksi paikannusjärjestelmien avulla voidaan kehittää uusia pelitaktiikoita, kuten parempia hyökkäys- ja puolustusstrategioita sekä erikoistilanteiden harjoittelua (Michailidis 2014).

Tämä kirjallisuuskatsaus pyrkii vertailemaan intrusiivisia ja ei-intrusiivisia paikannusjärjestelmiä jalkapallossa keskittyen tutkimuksiin, jotka käsittelevät näitä järjestelmiä ja niiden vaikutuksia teknisiä laitteita käyttäviin sekä niitä käyttämättömiin pelaajiin. Tarkoituksena on tarjota objektiivista tietoa paikannusjärjestelmien eri muodoista ja arvioida niiden soveltuvuutta, hyötyjä ja haittoja jalkapallon yhteydessä. Tämän tutkimuksen avulla pyritään auttamaan valmentajia, pelaajia ja analyttikkoja valitsemaan sopivimmat paikannusjärjestelmät omiin tarpeisiinsa, ymmärtämään, miten teknologia voi parantaa jalkapallon harjoittelua ja peliä, sekä osoittamaan, miksi näiden järjestelmien käyttö on tärkeää urheilun kehityk-

sen kannalta. Erilaisten paikannusjärjestelmien vertailu auttaa myös teknologian kehittäjiä parantamaan ja innovoimaan järjestelmiä, jotka vastaavat paremmin jalkapalloilijoiden ja valmentajien tarpeisiin (Torres-Ronda ym. 2022).

Aihetta on mielekästä tutkia, sillä paikannusjärjestelmiä hyödynnetään yhä enemmän jalkapallootteluissa, ja niiden avulla voidaan kerätä monipuolista dataa, mikä auttaa parantamaan pelisuorituksia ja kehittämään uusia pelitaktiikoita (Memmert, Lemmink ja Sampaio 2017). Esimerkiksi, paikannusjärjestelmien avulla voidaan tutkia, kuinka erilaiset pelitaktiikat vaikuttavat pelaajien liikkumiseen ja suoritukseen, jolloin voidaan kehittää tehokkaampia taktiikoita voittamisen todennäköisyyden maksimoimiseksi (Lago-Peñas ym. 2010). Vertaileva tarkastelu intrusiivisten ja ei-intrusiivisten paikannusjärjestelmien välillä auttaa ymmärtämään näiden järjestelmien toimintaperiaatteita sekä niiden hyötyjä ja haittoja jalkapallon kontekstissa.

2 Paikannusjärjestelmät jalkapallossa

2.1 Urheilussa käytettävät paikannusjärjestelmät

Urheilun maailmassa paikannusjärjestelmät ovat yhä suosituimpia työkaluja, jotka auttavat valmentajia ja tutkijoita keräämään tietoa pelaajien suorituksesta (Kelly ja Drust 2009). Paikannusjärjestelmät ovat teknologioita, jotka käyttävät erilaisia menetelmiä mittaamaan pelaajien sijaintia ja liikettä pelikentällä.

Urheilussa paikannusjärjestelmiä käytetään laajasti erilaisissa lajeissa, kuten jalkapallossa, koripallossa, yleisurheilussa ja jääkiekossa. Nämä järjestelmät tarjoavat valmentajille ja tutkijoille tärkeää tietoa pelaajien suorituksista ja liikkeistä, mikä auttaa heitä parantamaan taktiikoita ja suorituskykyä (Cummins ym. 2013). Näitä järjestelmiä voidaan jakaa kahteen pääluokkaan: intrusiivisiin ja ei-intrusiivisiin.

Intrusiiviset paikannusjärjestelmät sisältävät esimerkiksi sensorit, jotka on kiinnitetty pelaajien varusteisiin, ja anturit, jotka on asennettu pelikentälle. Nämä järjestelmät tarjoavat tarkkaa tietoa pelaajien sijainnista, nopeudesta, kiihtyvyydestä ja suunnasta. Tämä tieto auttaa valmentajia analysoimaan pelaajien suorituskykyä, parantamaan pelistrategioita ja ehkäisemään vammoja (Cummins ym. 2013).

Ei-intrusiiviset paikannusjärjestelmät ovat sen sijaan teknologioita, jotka eivät vaadi pelaajien varusteiden tai kentän muokkaamista. Näitä järjestelmiä voidaan käyttää esimerkiksi GPS-teknologian avulla, joka mittaa pelaajien sijaintia pelialueen ulkopuolella (Kamišalić ym. 2018).

Intrusiivisilla ja ei-intrusiivisilla paikannusjärjestelmillä on molemmilla omat etunsa ja rajoituksensa. Intrusiivisilla järjestelmillä on tarkka ja yksityiskohtainen tieto pelaajien liikkeistä ja suorituksista, mutta ne voivat aiheuttaa epämukavuutta pelaajille ja vaatia varusteiden säännöllistä kalibrointia (Seshadri ym. 2021). Ei-intrusiivisilla järjestelmillä puolestaan on helpompi käyttää ja ne eivät vaikuta pelaajien suoritukseen, mutta tieto voi olla vähemmän tarkkaa kuin intrusiivisilla järjestelmillä.

2.2 Intrusiiviset paikannusjärjestelmät

Intrusiivisia paikannusjärjestelmiä käytetään usein datan keräämiseen ja sen hyödyntämiseen, kuten pelaajien suorituskyvyn arviointiin ja pelitaktiikoiden kehittämiseen (Coutts ja Duffield 2010). Intrusiivisten paikannusjärjestelmien avulla voidaan esimerkiksi seurata pelaajien liikkeitä kentällä ja arvioida heidän juoksu- ja liikkumistapansa tehokkuutta. Lisäksi niitä voidaan käyttää esimerkiksi loukkaantumisten ennaltaehkäisyyn, kun tietoja pelaajien räsituksista kerätään ja analysoidaan.

Intrusiiviset paikannusjärjestelmät ovat sellaisia, jotka vaativat fyysistä anturia tai laitteistoa joko pelivälissä tai pelaajassa. Näitä antureita voivat olla esimerkiksi GPS-anturit tai kiihtyvyyssanturit (Gomide Foina ym. 2010). Intrusiivisten paikannusjärjestelmien käyttö mahdollistaa tarkan paikannuksen ja liikkeen seurannan, mutta ne voivat häiritä pelaamista tai aiheuttaa mukavuusongelmia pelaajille (Rana ja Mittal 2021).

Intrusiiviset paikannusjärjestelmät edellyttävät, että haluttuun mittauslaitteeseen asennetaan erillisiä komponentteja tai että laite on jatkuvasti yhteydessä verkkoon. Tällaisia komponentteja voidaan esimerkiksi asentaa pelaajien vaatteisiin, jolloin peliin osallistuvat pelaajat joutuvat käyttämään teknisiä laitteita. Tällaiset järjestelmät voivat tarjota tarkkoja ja reaaliaikaisia paikannustietoja, mutta ne voivat myös lisätä laitteen energiakysymyksiä sekä tietoturvaongelmia (Steijlen ym. 2021).

Kaiken kaikkiaan intrusiiviset paikannusjärjestelmät voivat olla hyödyllisiä jalkapallon kaltaisten urheilulajien valmentajille ja pelaajille, mutta niiden käytöstä voi olla myös haittaa pelaamiselle ja pelaajille itselleen. Kuten rajoittunut liikkuvuus, lisääntynyt räsitus, aiheutuvat mukavuusongelmat ja mahdolliset ihoärsytykset antureiden tai laitteiden kosketuksesta (Rana ja Mittal 2021). Lisäksi intrusiiviset järjestelmät saattavat aiheuttaa keskeytyksiä pelin aikana, jos laitteet vaativat säätämistä tai huoltoa kesken ottelun.

On tärkeää löytää tasapaino tarkan datan keräämisen ja pelaamisen sujuvuuden välillä (Cardinale ja Varley 2017), jotta intrusiiviset paikannusjärjestelmät voivat tuottaa mahdollisimman hyödyllistä tietoa valmentajille ja pelaajille, samalla kun vältetään haittavaikutuksia pelaamiselle ja pelaajille itselleen. Useissa tutkimuksissa on korostettu tätä tasapainon löytämisen merkitystä, ja ehdotettu erilaisia ratkaisuja, kuten käyttää kevyempiä antureita, asettaa

anturit tarkemmin tai rajoittaa datan keräämistä tiettyihin pelitilanteisiin.

2.3 Intrusiiviset paikannusjärjestelmät jalkapallossa

Jalkapallossa käytetään sekä intrusiivisia että ei-intrusiivisia paikannusjärjestelmiä, ja ne ovat tärkeitä urheilulajin kehittämisessä ja pelaajien suorituskyvyn seuraamisessa. FIFA World Cup turnauksissa on käytetty erilaisia paikannusjärjestelmiä, kuten optisia seurantajärjestelmiä, kameroita ja videoseurantaa. Paikalliset paikannusjärjestelmät, kuten GPS- ja kiinteä verkko- ja satelliittijärjestelmät, ovat myös tärkeitä jalkapallon paikannusjärjestelmien kirjossa (Oliva-Lozano ja Muyor 2022).

Jalkapallossa intrusiiviset paikannusjärjestelmät ovat yleistyneet pelaajien suorituskyvyn seurannassa ja analysoinnissa (Buchheit ym. 2014). Nämä järjestelmät, kuten GPS-pohjaiset laitteet, sykemittarit ja kiihtyvyysanturit, vaativat fyysisiä antureita tai laitteita, jotka pelaajat kantavat mukanaan pelin aikana (Cummins ym. 2013).

Intrusiivisten paikannusjärjestelmien avulla valmentajat ja joukkueen taustahenkilöt voivat kerätä tarkkaa tietoa pelaajien liikkumisesta, nopeudesta, sykkeestä, kiihtyvyydestä ja muista suorituskykyyn liittyvistä tekijöistä (Gabbett 2010). Tämä tieto auttaa kehittämään pelitaktiikoita, harjoitusohjelmia ja ennaltaehkäisemään loukkaantumisia (Buchheit ym. 2014).

Käytössä olevat intrusiiviset paikannusjärjestelmät pyrkivät olemaan entistä kevyempiä, jotta ne aiheuttaisivat mahdollisimman vähän haittaa pelaajille (Ogris ym. 2012). Esimerkiksi GPS-laitteet, kuten Catapultin OptimEye-sarja ja STATSportsin APEX -järjestelmä, ovat pienempiä ja kevyempiä kuin aikaisemmat versiot (Rampinini ym. 2015). Myös sykemittareita ja kiihtyvyysantureita on kehitetty kevyemmiksi ja mukavammiksi, jotta ne eivät häiritse pelaajien suorituskykyä. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi Polar- ja Garmin-sykemittarit, jotka on suunniteltu ergonomisesti ja kevyesti (Achten ja Jeukendrup 2003). Näiden kehittyneempien laitteiden avulla pelaajat voivat keskittyä paremmin itse peliin, samalla kun heidän suorituskykyään seurataan tarkasti (Buchheit ym. 2014).

2.4 Ei-intrusiiviset paikannusjärjestelmät

Ei-intrusiiviset paikannusjärjestelmät eivät vaadi fyysistä anturia tai laitteistoa pelaajilla tai pelivälineissä. Nämä järjestelmät perustuvat usein videoseurantaan tai kamerapohjaisiin teknologioihin (Feng ym. 2020). Nämä järjestelmät mahdollistavat liikkeen ja paikannuksen seuraamisen ilman tarvetta fyysisille antureille, mikä tekee niistä erittäin käteviä.

Ei-intrusiivisilla paikannusjärjestelmillä on monia etuja verrattuna intrusiivisiin järjestelmiin. Ensinnäkin, koska ne eivät edellytä fyysisten laitteiden käyttöä pelaajilla, ne ovat mukavampia käyttää ja aiheuttavat vähemmän haittavaikutuksia pelin aikana. Toiseksi, vaikka ei-intrusiiviset järjestelmät voivat olla joissain tapauksissa edullisempia kuin intrusiiviset järjestelmät, niiden käyttöönoton monimutkaisuus voi vaihdella yksinkertaisesta monimutkaisempaan riippuen käytetystä teknologiasta ja tarvittavista resursseista (Zoha ym. 2012.).

Valter ym. (2006) tutkivat videoseurantajärjestelmien käyttöä jalkapallossa ja havaitsivat, että ne tarjoavat tarkan ja luotettavan menetelmän pelaajien liikkeen analysoimiseksi. Tämnäkaltaiset järjestelmät ovat osoittautuneet hyödyllisiksi myös erilaisten pelitilanteiden analysoinnissa, kuten hyökkäysten ja puolustusten tehokkuuden mittaamisessa (Fernandez-Navarro ym. 2016).

Ei-intrusiivisilla paikannusjärjestelmillä on kuitenkin myös joitain haittoja. Ensinnäkin, niiden tarkkuus ja luotettavuus saattavat vaihdella, ja ne eivät aina tarjoa yhtä tarkkaa tietoa kuin intrusiiviset järjestelmät (Frencken, Lemmink ja Delleman 2010). Toiseksi, ne saattavat vaatia lisää resurssia ja teknologista taitoa käyttää tehokkaasti ja saada kaikki tarvittavat tiedot.

Kaiken kaikkiaan ei-intrusiiviset paikannusjärjestelmät ovat erittäin hyödyllisiä urheilun maailmassa, ja niitä käytetään usein valmentajien ja tutkijoiden tietojen keräämiseen (Frencken, Lemmink ja Delleman 2010). Niiden etujen ja haittojen välillä tulee kuitenkin ottaa huomioon, jotta voidaan löytää paras mahdollinen ratkaisu jokaiseen tarpeeseen.

2.5 Ei-intrusiiviset paikannusjärjestelmät jalkapallossa

Nykyään ei-intrusiiviset paikannusjärjestelmät ovat olennainen osa jalkapalloilijoiden liikkeiden ja suorituskyvyn seuraamista ilman fyysisten antureiden tai laitteiden käyttöä (Mackenzie ja Cushion 2013). Nämä järjestelmät toimittavat valmentajille ja analyytikoille tärkeitä tietoja, jotka auttavat heitä kehittämään pelitaktiikoita ja ennaltaehkäisemään loukkaantumisia. Ei-intrusiiviset paikannusjärjestelmät perustuvat usein optisiin seurantatekniikoihin, kuten kameroihin ja videoseurantaan (Vanrenterghem ym. 2017).

Esimerkiksi FIFA World Cup 2022 -turnauksessa käytettiin korkearesoluutioisia kameroita, jotka on sijoitettu kentän ympärille pelaajien liikkeiden tallentamiseksi eri kulmista (FIFA 2022). Videoseurantaan perustuvat järjestelmät hyödyntävät yhtä tai useampaa kameraa, jotka tallentavat pelitapahtumia (Rein ja Memmert 2016). Videomateriaalia voidaan analysoida jälkikäteen, jolloin valmentajat ja analytytikot voivat tarkastella pelaajien liikkeitä ja sijoittumista.

Yksi merkittävä ei-intrusiivinen teknologia jalkapallossa on Goal-line technology (GLT), joka auttaa tuomareita päättämään, onko pallo ylittänyt maaliviivan kokonaan. Tämä teknologia käyttää kameroita ja muita antureita maaliviivan molemmin puolin, ja se lähettää signaalin erotuomarille, jos pallo on ylittänyt viivan (FIFA 2022).

Toinen tärkeä ei-intrusiivinen järjestelmä on Video Assistant Referee (VAR), joka on käytössä monissa huippuluokan jalkapallokilpailuissa, mukaan lukien FIFA World Cup 2022. VAR-järjestelmä auttaa erotuomareita tarkistamaan tärkeitä päätöksiä, kuten maaleja, rangaistuspotkuja, suoria punaisia kortteja ja pelaajien henkilöllisyyteen liittyviä virheitä, videokuvan avulla (FIFA 2022). VAR-järjestelmä parantaa oikeudenmukaisuutta ja vähentää virheitä jalkapallossa.

Joissakin tapauksissa käytetään myös radaripohjaisia järjestelmiä pelaajien liikkeiden seuraamiseen (Mackenzie ja Cushion 2013). Ei-intrusiiviset paikannusjärjestelmät eivät vaikuta pelaajien mukavuuteen tai suorituskykyyn pelin aikana, ja niiden avulla voidaan seurata koko joukkueen liikkeitä samanaikaisesti (Vanrenterghem ym. 2017). Tämä auttaa valmentajia ja analytytikkoja ymmärtämään pelin dynamiikkaa ja kehittämään tehokkaampia pelistrategioita.

Toisaalta ei-intrusiiviset paikannusjärjestelmät saattavat olla kalliimpia kuin intrusiiviset järjestelmät, ja niiden asentaminen ja ylläpito voi vaatia erikoisosaamista (Rein ja Memmert 2016). Lisäksi niiden tarkkuus saattaa olla hieman heikompi kuin intrusiivisten järjestelmien, koska ne perustuvat yleensä visuaaliseen seurantaan eivätkä suoraan pelaajan tai pallon paikannukseen (Mackenzie ja Cushion 2013).

Kaikesta huolimatta, ei-intrusiiviset paikannusjärjestelmät tarjoavat monia etuja jalkapallossa, kuten paremman pelaajien mukavuuden, laajemman joukkueen seurannan ja vähemmän häiriöitä pelin aikana (Vanrenterghem ym. 2017). Tämän vuoksi ne ovat tärkeä osa jalkapallon kehitystä ja pelaajien suorituskyvyn seuraamista.

2.6 Intrusiivisten ja ei-intrusiivisten paikannusjärjestelmien erot

Intrusiivisten ja ei-intrusiivisten paikannusjärjestelmien välillä on selkeitä eroja. Intrusiiviset paikannusjärjestelmät vaativat fyysisen laitteen tai anturin, kuten GPS-anturin tai kiihtyvyysanturin, joko pelivälineessä tai pelaajassa, jotta voidaan kerätä tarkkoja ja reaaliaikaisia paikannustietoja. Tämä voi kuitenkin johtaa energiakysymyksiin ja tietoturvaongelmiin (Andjelic, Doyle ja Hossain 2022).

Intrusiivisten ja ei-intrusiivisten paikannusjärjestelmien välillä on sekä etuja että haittoja. Intrusiivisilla järjestelmillä on mahdollista saada tarkkoja ja reaaliaikaisia paikannustietoja, mutta ne voivat myös häiritä pelaamista tai aiheuttaa mukavuusongelmia pelaajille. Ei-intrusiivisilla järjestelmillä puolestaan on mahdollista seurata liikettä ja paikantaa ilman fyysisiä antureita, mutta niiden tarkkuus ja luotettavuus voivat vaihdella.

On tärkeää huomata, että jokaiseen urheilulajiin ja pelitilanteeseen sopivat erilaiset paikannusjärjestelmät, ja valinta riippuu useista tekijöistä, kuten tarvittavista tiedoista, mahdollisista haitoista ja budjetista. On tärkeää löytää tasapaino tarkan datan keräämisen ja pelaamisen sujuvuuden välillä, jotta parhaat mahdolliset tulokset voidaan saavuttaa.

2.7 Case-esimerkkejä: Paikannusjärjestelmien käyttö jalkapallossa

Paikannusjärjestelmiä käytetään jalkapallossa pelaajien ja pallon seuraamiseen. Tämä teknologia on tärkeä osa jalkapallon analysointia, ja se tarjoaa tärkeitä tietoja pelaajien suoriutuskyvystä ja strategioista.

Monet yritykset, kuten FootoVision, käyttävät konenäköä ja koneoppimista paikannusjärjestelmien kehittämiseen jalkapallon seuraamiseksi. Nämä järjestelmät perustuvat useisiin kamera-asemiin, jotka on sijoitettu kentän ympärille tallentamaan videokuvaa eri kulmista. Tämän jälkeen tietokoneohjelmat käsittelevät ja analysoivat videokuvan automaattisesti tunnistukseen pelaajia, erotuomareita, palloa ja seuratakseen tapahtumia ja toimintoja, kuten syöttöjä, laukauksia, rikkeitä ja maaleja (Manafifard, Ebadi ja Abrishami Moghaddam 2017.).

Tällaiset järjestelmät käyttävät konenäkötekniikoita tunnistukseen ja seuratakseen pelaajien, pallon ja muiden kohteiden sijainteja, suuntia ja liikkeitä videokuvassa, sekä koneoppimista tunnistukseen ja luokitellakseen erilaisia tapahtumia ja toimintoja kentällä niiden visuaalisten ja ajallisten kaavojen perusteella (Manafifard, Ebadi ja Abrishami Moghaddam 2017). Nämä järjestelmät tarjoavat arvokkaita tietoja pelaajien suoriutuskyvystä ja strategioista, auttaen joukkueita parantamaan pelisuoritusta ja kehittämään uusia strategioita. Ne ovat myös tärkeitä televisioyhtiöille, jotka haluavat kerätä ja analysoida suuria määriä dataa jalkapallo-otteluista ja pelaajista (Rezaei ja Wu 2022).

Akateemisessa kirjallisuudessa on tehty useita tutkimuksia jalkapallon paikannusjärjestelmien kehittämisestä ja käytöstä. Esimerkiksi Rago ym. (2020) tutkivat paikannusjärjestelmän käyttöä jalkapallossa ja vertailivat eri menetelmiä pelaajien ja pallon seuraamiseen. Myös muita tutkimuksia on tehty paikannusjärjestelmien käytöstä urheilussa laajemmin.

3 Pohdinta

Tutkielmani aiheena oli "Intrusiiviset ja ei-intrusiiviset paikannusjärjestelmät jalkapallossa". Tavoitteeni oli tutkia näiden kahden paikannusjärjestelmän käyttöä jalkapallossa, niiden eroja, hyötyjä ja haittoja sekä niiden tulevaisuuden näkymiä.

Tutkimukseni osoitti, että molemmilla paikannusjärjestelmillä on omat etunsa ja haittansa. Intrusiiviset järjestelmät tarjoavat tarkempaa ja yksityiskohtaisempaa tietoa pelaajien sijainnista ja liikkeistä, mutta niiden käyttöön liittyy monia haasteita, kuten laitteiden häiriöherkkyys ja pelaajien mahdollinen vastustus. Ei-intrusiiviset järjestelmät, kuten GPS-pohjaiset järjestelmät, ovat helppoja käyttää ja niiden käyttöönotto on yksinkertaista, mutta ne tarjoavat rajoitetumpaa tietoa pelaajista (Bradley ym. 2011).

Tulevaisuuden näkymät ovat lupaavat molempien järjestelmien osalta. Intrusiivisten järjestelmien teknologia kehittyy jatkuvasti ja niiden käyttöön liittyviä haasteita pyritään ratkaisemaan. Ei-intrusiiviset järjestelmät ovat edullisia ja helppokäyttöisiä, joten niiden käyttö yleistyy todennäköisesti jatkossakin.

Tutkimuksessani havaittiin myös, että paikannusjärjestelmien käytön hyödyntäminen jalkapallossa on kasvanut viime vuosina, ja sitä käytetään yhä enemmän pelien suorituskyvyn parantamiseen ja uusien pelitaktiikoiden kehittämiseen. Kuitenkin, on tärkeää huomioida, että paikannusjärjestelmien käyttöön liittyy eettisiä kysymyksiä, kuten pelaajien yksityisyyden suojaaminen ja datan käytön valvonta.

Lopuksi, tutkimukseni tarjoaa arvokasta tietoa siitä, miten intrusiiviset ja ei-intrusiiviset paikannusjärjestelmät toimivat jalkapallossa ja mitä haasteita niiden käytössä on. Tulevaisuudessa tutkimusta voidaan jatkaa tarkentamalla tietoa järjestelmien tarkkuudesta, toimivuudesta ja mahdollisista vaikutuksista pelaajien suorituskykyyn.

4 Yhteenveto

Jalkapallossa paikannusjärjestelmät ovat tärkeässä roolissa pelin suorituskyvyn ja pelaajien kehittämisen kannalta. Paikannusjärjestelmät voidaan jakaa kahteen pääkategoriaan: intrusiivisiin ja ei-intrusiivisiin järjestelmiin.

Intrusiiviset paikannusjärjestelmät edellyttävät pelaajien kehoihin kiinnitettyjä antureita, jotta pelaajien sijainti ja liikkeet voitaisiin seurata tarkasti. Tämän tyyppisiä järjestelmiä ovat esimerkiksi GPS-pohjaiset järjestelmät, joissa pelaajille kiinnitetään pieni GPS-laite. Tällainen järjestelmä tarjoaa erittäin tarkkoja tietoja pelaajien liikkeistä ja sijainnista, mutta vaatii anturien kiinnittämistä pelaajiin ja siten saattaa olla hankalaa ja epämukavaa.

Toisaalta ei-intrusiiviset paikannusjärjestelmät eivät vaadi fyysisten antureiden kiinnittämistä pelaajiin, vaan ne käyttävät esimerkiksi kameroiden ja dronejen avulla kerättyjä tietoja. Nämä järjestelmät tarjoavat tarkkoja ja kattavia tietoja pelaajien sijainnista ja liikkeistä, mutta vaativat kalliita laitteita ja asennuksia.

Molemmilla järjestelmillä on omat vahvuutensa ja heikkoutensa. Intrusiiviset järjestelmät tarjoavat erittäin tarkkoja tietoja pelaajien liikkeistä, mutta saattavat olla epämukavia pelaajille. Ei-intrusiiviset järjestelmät ovat helppokäyttöisiä ja tarjoavat kattavia tietoja pelaajien liikkeistä, mutta niiden asennus ja käyttö ovat kalliita.

Jalkapallon tulevaisuudessa paikannusjärjestelmien kehitys tulee jatkumaan ja niiden hyödyntäminen pelin kehittämisessä ja pelaajien suorituskyvyn parantamisessa tulee yhä tärkeämmäksi (Hennessy ja Jeffreys 2018). Onkin todennäköistä, että sekä intrusiiviset että ei-intrusiiviset järjestelmät tulevat säilyttämään tärkeän roolinsa jalkapallon tulevaisuudessa.

Lähteet

Achten, Juul, ja Asker E. Jeukendrup. 2003. “Heart Rate Monitoring”. *Sports Medicine* 33, numero 7 (kesäkuu): 517–538. ISSN: 1179-2035. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333070-00004>. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333070-00004>.

Andjelic, Stefan, Callum Doyle ja Gahangir Hossain. 2022. “Cybersecurity Risk with Wearable Technology in Sports: Why Should We Care?” Teoksessa *2022 IEEE 19th International Conference on Smart Communities: Improving Quality of Life Using ICT, IoT and AI (HONET)*, 160–165. <https://doi.org/10.1109/HONET56683.2022.10019146>.

Barris, Sian, ja Chris Button. 2008. “A Review of Vision-Based Motion Analysis in Sport”. *Sports Medicine* 38, numero 12 (joulukuu): 1025–1043. ISSN: 1179-2035. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838120-00006>. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838120-00006>.

Bradley, Paul S., Chris Carling, Dave Archer, Jenny Roberts, Andrew Dodds, Michele Di Mascio, Darren Paul, Antonio Gomez Diaz, Dan Peart ja Peter Krstrup. 2011. “The effect of playing formation on high-intensity running and technical profiles in English FA Premier League soccer matches”. PMID: 21512949, *Journal of Sports Sciences* 29 (8): 821–830. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.561868>. eprint: <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.561868>. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.561868>.

Buchheit, Martin, Hani Al Haddad, Ben Simpson, Dino Palazzi, Pitre Bourdon, Valter Di Salvo ja Alberto Mendez-Villanueva. 2014. “Monitoring Accelerations With GPS in Football: Time to Slow Down?” *International journal of sports physiology and performance* 9 (toukokuu): 442–5. <https://doi.org/10.1123/IJSPP.2013-0187>.

Cardinale, Marco, ja Matthew C. Varley. 2017. “Wearable Training-Monitoring Technology: Applications, Challenges, and Opportunities”. *International Journal of Sports Physiology and Performance* (Champaign IL, USA) 12 (s2): S2-55 - S2-62. <https://doi.org/10.1123/ijssp.2016-0423>. <https://journals.humankinetics.com/view/journals/ijssp/12/s2/article-pS2-55.xml>.

Castellano, D. and J.; Blanco-Villaseñor, A.; Álvarez. 2011. “Contextual Variables and Time-Motion Analysis in Soccer” [kielellä EN]. Edition: 2011/05/17, *International Journal of Sports Medicine* 32, numero 06 (kesäkuu): 415–421. ISSN: 0172-4622. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1271771>. <http://www.thieme-connect.com/products/ejournals/abstract/10.1055/s-0031-1271771>.

Coutts, Aaron J., ja Rob Duffield. 2010. “Validity and reliability of GPS devices for measuring movement demands of team sports”. Publisher: Elsevier, *Journal of Science and Medicine in Sport* 13, numero 1 (tammikuu): 133–135. ISSN: 1440-2440, viitattu 22. helmikuuta 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.09.015>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1440244008001953>.

Cross, Matt R., Matt Brughelli, Pierre Samozino ja Jean-Benoit Morin. 2017. “Methods of Power-Force-Velocity Profiling During Sprint Running: A Narrative Review”. *Sports Medicine* 47, numero 7 (heinäkuu): 1255–1269. ISSN: 1179-2035. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0653-3>. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0653-3>.

Cummins, Cloe, Rhonda Orr, Helen O’Connor ja Cameron West. 2013. “Global Positioning Systems (GPS) and Microtechnology Sensors in Team Sports: A Systematic Review”. *Sports Medicine* 43, numero 10 (lokakuu): 1025–1042. ISSN: 1179-2035. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0069-2>. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0069-2>.

Data, Statistics and. 2020. *Most Popular Sports in the World - (1930/2020)* - [kielellä en-GB], lokakuu. Viitattu 7. maaliskuuta 2023. <https://statisticsanddata.org/most-popular-sports-in-the-world/>.

Feng, Na, Zikai Song, Junqing Yu, Yi-Ping Phoebe Chen, Yizhu Zhao, Yunfeng He ja Tao Guan. 2020. “SSET: a dataset for shot segmentation, event detection, player tracking in soccer videos”. *Multimedia Tools and Applications* 79, numero 39 (lokakuu): 28971–28992. ISSN: 1573-7721. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-09414-3>. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-09414-3>.

Fernandez-Navarro, Javier, Luis Fradua, Asier Zubillaga, Paul R. Ford ja Allistair P. McRobert. 2016. "Attacking and defensive styles of play in soccer: analysis of Spanish and English elite teams" [kielellä eng]. *Journal of Sports Sciences* 34, numero 24 (joulukuu): 2195–2204. ISSN: 1466-447X. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1169309>.

FIFA. 2022. *Football Technologies & Innovations at the FIFA World Cup Qatar 2022™* [kielellä en]. Viitattu 28. huhtikuuta 2023. <https://www.fifa.com/technical/football-technology/origin1904-p.cxm.fifa.com/technical/football-technology/football-technologies-and-innovations-at-the-fifa-world-cup-2022>.

Folgado, Hugo, Ricardo Duarte, Orlando Fernandes ja Jaime Sampaio. 2014. "Competing with lower level opponents decreases intra-team movement synchronization and time-motion demands during pre-season soccer matches" [kielellä eng]. *PloS One* 9 (5): e97145. ISSN: 1932-6203. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097145>.

Frencken, Wouter G.P., Koen A.P.M. Lemmink ja Nico J. Delleman. 2010. "Soccer-specific accuracy and validity of the local position measurement (LPM) system". Publisher: Elsevier, *Journal of Science and Medicine in Sport* 13, numero 6 (marraskuu): 641–645. ISSN: 1440-2440, viitattu 9. huhtikuuta 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2010.04.003>. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2010.04.003>.

Gabbett, Tim. 2010. "GPS Analysis of Elite Women's Field Hockey Training and Competition". *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association* 24 (huhtikuu): 1321–4. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181ceebbb>.

Gomide Foina, Aislan, Rosa M Badia, Ahmed El-Deeb ja Francisco Javier Ramirez-Fernandez. 2010. "Player Tracker - a tool to analyze sport players using RFID". Teoksessa *2010 8th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops)*, 772–775. <https://doi.org/10.1109/PERCOMW.2010.5470538>.

Hennessy, Liam, ja Ian Jeffreys. 2018. "The Current Use of GPS, Its Potential, and Limitations in Soccer". *Strength & Conditioning Journal* 40 (3). ISSN: 1524-1602. https://journals.lww.com/nsca-scj/Fulltext/2018/06000/The_Current_Use_of_GPS,_Its_Potential,_and.9.aspx.

Hurtado, Jorge. 2022. *Technology takes center stage at the 2022 FIFA World Cup in Qatar - PreScouter - Custom Intelligence from a Global Network of Experts* [kielellä en-US], jouluku. Viitattu 7. maaliskuuta 2023. <https://www.prescouter.com/2022/12/technology-2022-fifa-world-cup-qatar/>.

Kamišalić, Aida, Iztok Fister, Muhamed Turkanović ja Sašo Karakatič. 2018. “Sensors and Functionalities of Non-Invasive Wrist-Wearable Devices: A Review”. *Sensors* 18 (6). ISSN: 1424-8220. <https://doi.org/10.3390/s18061714>. <https://www.mdpi.com/1424-8220/18/6/1714>.

Kelly, David M., ja Barry Drust. 2009. “The effect of pitch dimensions on heart rate responses and technical demands of small-sided soccer games in elite players”. *Journal of Science and Medicine in Sport* 12 (4): 475–479. ISSN: 1440-2440. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsams.2008.01.010>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1440244008000339>.

Lago-Peñas, Carlos, Joaquín Lago-Ballesteros, Alexandre Dellal ja Maite Gómez. 2010. “Game-Related Statistics that Discriminated Winning, Drawing and Losing Teams from the Spanish Soccer League”. *Journal of Sports Science & Medicine* 9, numero 2 (kesäkuu): 288–293. ISSN: 1303-2968, viitattu 26. huhtikuuta 2023. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3761743/>.

Mackenzie, Rob, ja Chris Cushion. 2013. “Performance analysis in football: A critical review and implications for future research”. PMID: 23249092, *Journal of Sports Sciences* 31 (6): 639–676. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.746720>. eprint: <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.746720>. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.746720>.

Manafifard, M., H. Ebadi ja H. Abrishami Moghaddam. 2017. “A survey on player tracking in soccer videos”. *Computer Vision in Sports, Computer Vision and Image Understanding* 159:19–46. ISSN: 1077-3142. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cviu.2017.02.002>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1077314217300309>.

Memmert, Daniel, Koen A. P. M. Lemmink ja Jaime Sampaio. 2017. "Current Approaches to Tactical Performance Analyses in Soccer Using Position Data". *Sports Medicine* 47, numero 1 (tammikuu): 1–10. ISSN: 1179-2035. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0562-5>. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0562-5>.

Michailidis, Yiannis. 2014. "Analysis of goals scored in the 2014 World Cup soccer tournament held in Brazil". *International Journal of Sport Studies* 4 (tammikuu): 1017–1026.

Ogris, Georg, Roland Leser, Brian Horsak, Philipp Kornfeind, Mario Heller ja Arnold Baca. 2012. "Accuracy of the LPM tracking system considering dynamic position changes". PMID: 22906154, *Journal of Sports Sciences* 30 (14): 1503–1511. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.712712>. eprint: <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.712712>. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.712712>.

Oliva-Lozano, José M., ja José M. Muyor. 2022. "Understanding the FIFA quality performance reports for electronic performance and tracking systems: from science to practice". *Science & Medicine in Football* 6, numero 3 (elokuu): 398–403. ISSN: 24734446, viitattu 23. helmikuuta 2023. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=s3h&AN=158144911&site=ehost-live>.

Rago, Vincenzo, João Brito, Pedro Figueiredo, Júlio Costa, Daniel Barreira, Peter Krstrup ja António Rebelo. 2020. "Methods to collect and interpret external training load using microtechnology incorporating GPS in professional football: a systematic review". PMID: 31755307, *Research in Sports Medicine* 28 (3): 437–458. <https://doi.org/10.1080/15438627.2019.1686703>. eprint: <https://doi.org/10.1080/15438627.2019.1686703>. <https://doi.org/10.1080/15438627.2019.1686703>.

Rampinini, E., G. Alberti, M. Fiorenza, M. Riggio, R. Sassi, T. O. Borges ja A. J. Coutts. 2014. "Accuracy of GPS Devices for Measuring High-intensity Running in Field-based Team Sports" [kielellä en]. Publisher: © Georg Thieme Verlag KG, *International Journal of Sports Medicine* (syyskuu): 49–53. ISSN: 0172-4622, 1439-3964, viitattu 26. huhtikuuta 2023. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1385866>. <http://www.thieme-connect.de/DOI/DOI?10.1055/s-0034-1385866>.

- Rampinini, E., G. Alberti, M. Fiorenza, M. Riggio, R. Sassi, T. O. Borges ja A. J. Coutts. 2015. “Accuracy of GPS devices for measuring high-intensity running in field-based team sports” [kielellä eng]. *International Journal of Sports Medicine* 36, numero 1 (tammikuu): 49–53. ISSN: 1439-3964. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1385866>.
- Rana, Manju, ja Vikas Mittal. 2021. “Wearable Sensors for Real-Time Kinematics Analysis in Sports: A Review”. *IEEE Sensors Journal* 21 (2): 1187–1207. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.3019016>.
- Rein, Robert, ja Daniel Memmert. 2016. “Big data and tactical analysis in elite soccer: future challenges and opportunities for sports science”. *SpringerPlus* 5, numero 1 (elokuu): 1410. ISSN: 2193-1801. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-3108-2>. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-3108-2>.
- Rezaei, Ahmad, ja Lyndia C. Wu. 2022. “Automated soccer head impact exposure tracking using video and deep learning”. *Scientific Reports* 12, numero 1 (kesäkuu): 9282. ISSN: 2045-2322. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-13220-2>. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-13220-2>.
- Seshadri, Dhruv R., Mitchell L. Thom, Ethan R. Harlow, Tim J. Gabbett, Benjamin J. Geletka, Jeffrey J. Hsu, Colin K. Drummond, Dermot M. Phelan ja James E. Voos. 2021. “Wearable Technology and Analytics as a Complementary Toolkit to Optimize Workload and to Reduce Injury Burden”. *Frontiers in Sports and Active Living* 2. ISSN: 2624-9367. <https://doi.org/10.3389/fspor.2020.630576>. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fspor.2020.630576>.
- Steijlen, Annemarijn, Bastiaan Burgers, Erik Wilmes, Jeroen Bastemeijer, Bram Bastiaansen, Patrick French, Andre Bossche ja Kaspar Jansen. 2021. “Smart sensor tights: Movement tracking of the lower limbs in football”. *Wearable Technologies* 2:e17. <https://doi.org/10.1017/wtc.2021.16>.

Torres-Ronda, Lorena, Emma Beanland, Sarah Whitehead, Alice Sweeting ja Jo Clubb. 2022. “Tracking Systems in Team Sports: A Narrative Review of Applications of the Data and Sport Specific Analysis”. *Sports Medicine - Open* 8, numero 1 (tammikuu): 15. ISSN: 2198-9761. <https://doi.org/10.1186/s40798-022-00408-z>. <https://doi.org/10.1186/s40798-022-00408-z>.

Valter, Di Salvo, Collins Adam, McNeill Barry ja Cardinale Marco. 2006. “Validation of Prozone ®: A new video-based performance analysis system”. Publisher: Routledge, *International Journal of Performance Analysis in Sport* 6, numero 1 (kesäkuu): 108–119. ISSN: 2474-8668. <https://doi.org/10.1080/24748668.2006.11868359>. <https://doi.org/10.1080/24748668.2006.11868359>.

Vanrenterghem, Jos, Niels Jensby Nedergaard, Mark A. Robinson ja Barry Drust. 2017. “Training Load Monitoring in Team Sports: A Novel Framework Separating Physiological and Biomechanical Load-Adaptation Pathways”. *Sports Medicine* 47, numero 11 (marraskuu): 2135–2142. ISSN: 1179-2035. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0714-2>. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0714-2>.

Zoha, Ahmed, Alexander Gluhak, Muhammad Ali Imran ja Sutharshan Rajasegarar. 2012. “Non-Intrusive Load Monitoring Approaches for Disaggregated Energy Sensing: A Survey”. *Sensors* 12 (12): 16838–16866. ISSN: 1424-8220. <https://doi.org/10.3390/s121216838>. <https://www.mdpi.com/1424-8220/12/12/16838>.