

Hannu Rähä

ELEKTRONIIKAN RAKENTAMINEN PELIVÄLINEESEEN

ELEKTRONIIKAN RAKENTAMINEN PELIVÄLINEESEEN

Hannu Räihä
Opinnäytetyö
Kevät 2017
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, koneautomaatio

Tekijä: Hannu Räihä
Opinnäytetyön nimi: Elektroniikan rakentaminen pelivälineeseen
Työn ohjaaja: Eero Korhonen
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2017
Sivumäärä: 34 + 1 liite

Opinnäytetyössä kehitettiin menetelmä elektroniikan rakentamiseksi jalkapallon sisään. Työ oli osa Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n (myöhemmin VTT), Oulun yliopiston ja Oulun Ammattikorkeakoulu Oy:n Hilla Soccer -projektia, jossa tutkittiin ja kehitettiin tapaa kentällä olevien pelaajien ja pallon reaaliaikaisen paikkatiedon seurantaan.

Pallon rakentamisen kriteereinä olivat kansainvälisen jalkapalloliiton FIFA:n määräykset otteluissa käytettävän jalkapallon ominaisuuksista, kuten muoto, materiaali, ulkomitta, paino ja pallon ponnahduskorkeus. Työ alkoi tutkimalla kiihtyvyydsmittauselektroniikkaa sisältävän Adidas Smart Ballin valmistusmenetelmiä. Saatuja tietoja hyväksikäyttäen aloitettiin oman pallon rakentaminen.

Rakennetussa pallossa elektroniikka ja akku koteloitiin pikamallitekniikalla valmistettuun muoviseen koteloon. Kotelo ripustettiin pallon keskipisteeseen kuudella hihnalla, joiden toiset päät kiinnitettiin kumiseen sisäpalloon kiinnityslai-poilla. Pallon kuoreen valmistettiin sähköiset liitännät, joilta ilmatiiviin sisäpallon läpi johdettiin elektroniikalle viisi lataus- ja ohjelmointijohdinta. Pallon rakentamisen lisäksi rakennettiin laitteet pallon ponnahduskorkeuden mittaamiseen ja pallon mekaanisen kestävyuden testaamiseen.

Työn tuloksena saatiin toimiva, VTT:n järjestämässä esittelytilaisuudessa testattu jalkapallo, jonka akku oli ladattavissa ja elektroniikka uudelleen ohjelmoitavissa. Esittelytilaisuudessa pallo lähetti 10 Hz:n taajuudella signaalia, jonka perusteella pallon sijainti kentällä voitiin laskea. Pallon liikkeitä kentällä voitiin näin seurata reaaliajassa tietokoneen näytöltä. Mekaaniselta lujuudeltaan pallo kesti testiryhmän käytön pelitilanteessa. Pallo ei painoltaan ja kimmoisuudeltaan täyttänyt FIFA:n virallisissa peleissä käytettävän jalkapallon vaatimuksia.

Asiasanat: jalkapallo, TAG, älypallo, paikannus, paikkatieto, pallon rakentaminen

ALKULAUSE

Opinnäytetyöni aiheena oli kehittää menetelmä elektronisten komponenttien rakentamiseksi jalkapallon sisään. Työ liittyi Hilla Soccer -projektiin.

Haluan kiittää opinnäytetyöni ohjaajaa ja työn tilaajaa yliopettaja Eero Korhosta valinnastani työn suorittajaksi. Lisäksi Oulun ammattikorkeakoulusta kiitokseni saavat opinnäytetyössäni avustaneet laboratorioinsinööri Tomi Tuononen, laboratorioteknikko Jari Mahlakaarto, järjestelmäsuunnittelija Arto Niskanen ja ennen kaikkea projektisuunnittelija Henri Hinkula. Haluan myös kiittää yhteistyöstä kaikkia VTT:n Hilla Soccer -projektin tiimoilta kanssani työskennelleitä.

29.3.2017

Hannu Räihä

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	6
2 JALKAPALLON VAATIMUKSET	7
3 ELEKTRONIIKKA SISÄLTÄVÄT JALKAPALLOT	8
4 PALLON SUUNNITTELU JA RAKENTAMINEN	11
4.1 Ensimmäiset prototyypit	12
4.2 Ensimmäisen protopallon testaus	16
4.2.1 Pallomaisuus ja ympärysmitta	17
4.2.2 Pallon paino	18
4.2.3 Pallon ponnahdus	18
4.2.4 Painehäviö	19
5 PROTOTYYPPIEN KEHITYS	20
5.1 Kiinnityslaippojen kehitys	20
5.2 Elektroniikan suojakotelon kehitys	23
5.3 Johdotusten läpivienti pallon sisään	25
5.4 Viimeisten pallojen valmistus ja testaus	27
6 YHTEENVETO	31
LÄHTEET	33
LIITTEET	
Liite 1 Mittauspöytäkirja	

1 JOHDANTO

Hilla Soccer -projekti käynnistyi keväällä 2016. Sen tavoitteena on ollut kehittää järjestelmä, jossa jalkapallokentällä liikkuvien pelaajien ja pelivälineen paikkatieto olisivat reaaliaikaisesti saatavilla. Tähän liittyen yhtenä tavoitteena on rakentaa jalkapallo, johon on integroituna paikkatiedon saamiseen vaadittava elektroniikka.

Opinnäytetyön aihe on kehittää Hilla Soccer -projektiin valmistusmenetelmä, jolla tarvittava elektroniikka eli TAG saadaan rakennettua jalkapallon sisään. Projektin osapuolina toimivat VTT, Oulun yliopisto ja Oulun Ammattikorkeakoulu Oy. Opinnäytetyön tilaajana toimii Oulun Ammattikorkeakoulu Oy:n puolesta Eero Korhonen, joka toimi myös opinnäytetyön ohjaavana opettajana.

Työn tulosten laatukriteereinä ovat kansainvälisen jalkapalloliiton FIFA:n määräykset jalkapallon ominaisuuksista. Projektin tässä vaiheessa kaikkien standardien täytyminen ei ole ehdoton edellytys työn onnistumiselle.

2 JALKAPALLON VAATIMUKSET

Suomessa jalkapallon kilpailuotteluissa käytettävän pallon vaatimukset määräytyvät Kansainvälisen Jalkapalloliiton FIFA:n säännöistä. Suomen palloliitto määrittelee jalkapallon vaatimukset seuraavasti.

Pallo tulee olla

- pyöreä
- tehty nahasta tai muusta sopivasta aineesta
- ympärysmitaltaan 68 - 70 cm
- painoltaan ottelun alussa 410 - 450 g
- ilmanpaineeltaan 0,6 - 1,1 bar (1, s. 10).

Lisäksi IMS:n standardissa esitetään vaatimuksina

- ponnahdus 125 - 155 cm, 2 m:n korkeudesta pudotettuna, pallon ylipaineen ollessa testaushetkellä 0,8 bar ja lämpötilan 20°C
- painehäviö max. 25 % kolmen vuorokauden aikana, lähtöpaineen ollessa 1 bar:n yliaine
- veden imeytymisestä aiheutuva muodon muutos max. 25 % (2, s. 7).

FIFA:n ja maanosaliittojen kilpailuotteluissa käytettävissä palloissa on lisäksi oltava jokin kolmesta pallon virallisuuden osoittavasta merkinnästä. Merkinnät osoittavat, että pallot ovat virallisesti testattuja ja ne täyttävät edellä mainittujen perusvaatimusten lisäksi kullekin logolle kuuluvan luokituksen määrittelemät tekniset erityisvaatimukset. Merkintöjä ovat (1, s. 10–11)

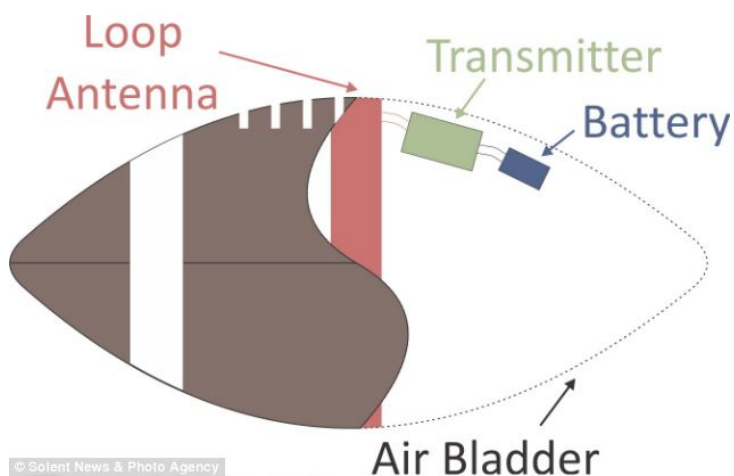
- virallinen FIFA Approved -logo (kuva 1, vasemmalla)
- virallinen FIFA Inspected -logo (kuva 1, keskellä)
- International Matchball Standard -logo (kuva 1, oikealla).



KUVA 1. Vasemmalla FIFA approved -logo, keskellä FIFA inspected -logo ja oikealla International Matchball Standard -logo

3 ELEKTRONIIKKA SISÄLTÄVÄT JALKAPALLOT

Ajatuksena elektroniikan rakentaminen jalkapallon sisään ei ole uusi. Markkinoilla on useita erilaisia palloja, joihin on lisätty elektroniikkaa eri käyttötarkoituksiin. Pelivälineen paikannukseen käytettävää elektroniikkaa on rakennettu aiemmin rugby-palloon. Kyseisessä pallossa elektroniikka ja akku on sijoitettu ilmatiiviin kumipallon ja ulkokuoren väliin. (Kuva 2.) Elektroniikan tarvitsema antenni on kääritty samaan väliin, kumipallon ympärille. (3.)



KUVA 2. Elektroniikkaa sisältävän rugby-pallon rakenne (8)

Myös urheiluvälineitä valmistava Adidas on varustanut palloja elektroniikalla. Markkinoinnin apuvälineeksi rakennettuun jalkapalloon (kuva 3) on rakennettu kuusi kameraa, joilla saadaan 360 asteen interaktiivista videokuvaa (4).



KUVA 3. Jalkapallo kameroilla (4)

InsideCoach (kuva 4) on valmennukseen käytettävä pallo, joka tallentaa iskuvoimaa, pyörimistä, asemaa, lentorataa, kuljettua matkaa, kosketusten lukumäärää ja pelaikaa. Tallennetut tiedot siirtyvät pallon luoman WIFI-verkon avulla reaaliajassa mobiililaitteeseen. (5.)



KUVA 4. Pelitiedot reaaliajassa mobiililaitteelle siirtävä Insidecoach-pallo (5)

Myös Adidaksen Smart Ball (kuva 5) on harjoituskäyttöön tarkoitettu pallo. Se sisältää elektroniikkaa pallon nopeuden, pyörimisnopeuden, pyörimissuunnan ja lentoradan tietojen välittämiseksi suoraan mobiililaitteeseen (6).



KUVA 5. Adidas Smart Ball (6)

Adidas Smart Ballin rakenne perustuu pallon keskipisteeseen muovikuorella koteloituun elektroniikkaan. Muovinen kotelo on pingotettu pallon keskelle ulkokuoreen kiinnitetyillä hihnoilla. Elektroniikan akun lataus on järjestetty induktiolatauksella. (7.) Siinä pallon ulkokuoreen sijoitetun toisiokäämin ja latauslaitteen ensiökäämin avulla, energiaa siirretään lyhyen matkan ilmassa ilman sähköistä kontaktia. Toisiokäämiltä latausjännite siirretään elektroniikalle ohuilla johtimilla. (Kuva 6.) (8, s. 7.)



KUVA 6. Adidas Smart Ballin rakenne (7)

4 PALLON SUUNNITTELU JA RAKENTAMINEN

Vaihtoehdot elektroniikan sijoittamiselle rakennettuihin palloihin oli sijoittaa se pallon keskelle tai ulkokuoren ja sisäpallon väliin. Etuna ulkokuoren alle sijoittamisessa olisi rakentamisen helppous. Ilmatiivistä sisäpalloa ei tarvitsisi muuttaa, vaan ainoastaan ulkokuori tulisi avata. Menetelmän huonoina puolina on elektroniikan ja akun tuoman painon epätasainen jakautuminen ja pallon tasapainon heikentyminen. Lisäksi herkkä elektroniikka olisi alttiina iskuille ollessaan kiinni pallon kuoressa.

Elektroniikan sijoittaminen pallon sisään keskelle ei huononna pallon tasapainoa. Myöskään palloon kohdistuvat iskut eivät silloin välity suoraan elektroniikkaan. Menetelmän huonoina puolina olisi huomattavasti vaativampi rakenne, koska ilmatiivis sisäpallo täytyisi avata ja elektroniikka täytyisi koteloituna kiinnittää pallon kuoreen kiinni.

Oma pallon prototyyppi päätettiin vaikeammasta rakennustavasta huolimatta valmistaa menetelmällä, jossa elektroniikka ja akku sijoitetaan pallon keskelle. Menetelmä oli identtinen Adidas Smart Ballin kanssa, joten kyseinen pallo päätettiin hankkia avattavaksi ja sen rakenteen selvittämiseksi. (Kuva 7.)



KUVA 7. Adidas Smart Ball avattuna

Avatusta pallosta havaittiin, että pallon kuori ja ilmatiivis sisäpinta oli rakennettu saumattomaksi yhteen liimattuna. Elektroniikan kotelointi oli pingotettu pallon keskelle hihnoilla, jotka olivat kiinnitettyinä pallon sisäpintaan vulkanoiduilla kiinnikkeillä. Koska pallon kuori on valmistettu liimaamalla, ei samanlaisen pallon käyttäminen rakennettavan pallon runkona ollut mahdollista. Avatun pallon uudelleen kokoaminen tiiviiksi, pelaamisen kestäväksi ja FIFA:n standardit täyttäväksi ei käytettävissä olevin resurssein ollut mahdollista.

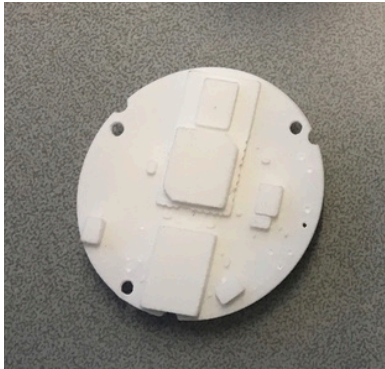
4.1 Ensimmäiset prototyypit

Pallo päätettiin rakentaa ostamalla kokoa 5 oleva, IMS -merkitty Select Omega -jalkapallo (Kuva 8). Pallossa kuoren materiaalina on käytetty sisäpinnaltaan puuvilla-polyesterisekoitteisella kankaalla vahvistettua polyuretaania. Pallon kuori on ommeltu yhteen 5- ja 6-kulmaisista paloista. Pallon sisällä on ilmatiivis pallo, jonka materiaalista valmistaja käyttää nimitystä Zero Wing. Materiaalin tarkkaa koostumusta ei saatu selvitettyä, mutta materiaali olemus on hyvin lähellä luonnonkumia. (9; 10.)



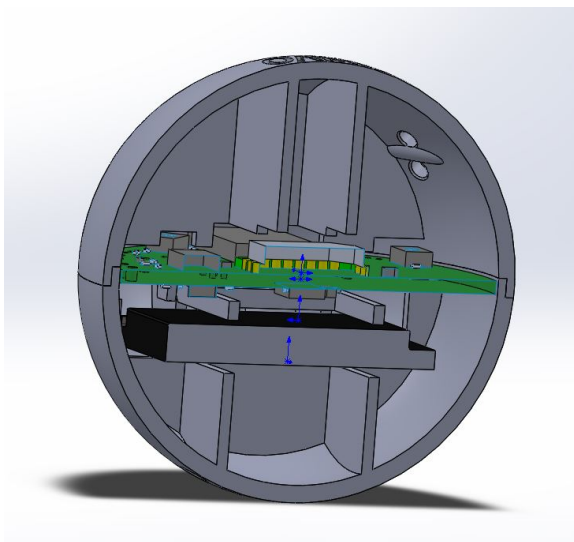
KUVA 8. Select Omega -jalkapallo

Pallon sisään rakennettava elektroniikka oli VTT:n valmistama TAG, jolla mahdollistettiin pallon reaaliaikainen paikkatieto. TAGista valmistettiin 3D-malli, jota käytettiin apuna elektroniikan ja suojakotelon yhteensopivuuden tarkastelussa. (Kuva 9.)



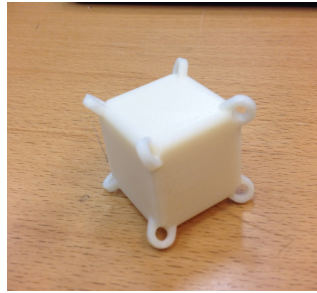
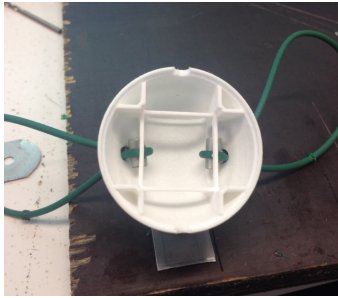
KUVA 9. Suunnittelussa apuna käytetty TAGin 3D-malli

Jotta TAG voitiin ripustaa pallon keskelle, sille täytyi suunnitella sopiva kotelo. Elektroniikan suojakotelon suunnittelu tapahtui 3D-mallinuksella SolidWorks-ohjelmaa käyttäen. TAGista tehdyn mallin avulla suojakotelon muodot, komponenttien tuennat ja johdotusten suunnittelu voitiin tehdä tarkasti. Kappaleisiin tehtyjen muutoksien yhteensopivuutta muiden kokonanon osien kanssa oli helppo tarkastella esimerkiksi poikkileikkauskuvien avulla. (Kuva 10.)



KUVA 10. TAGin ja kotelon poikkileikkauskuva SolidWorks-ohjelmassa

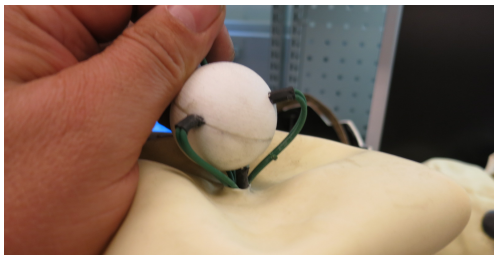
TAGin lopullinen koko ja muoto vahvistuivat vasta myöhemmin. Siksi ensimmäisten protopallojen suunnittelu perustui lähtötiedoissa annettuun arvioon 20 x 20 x 10 mm:n kokoisesta TAGista. Elektroniikan koteloiden muodoissa olivat vaihtoehtoina pallon (kuva 11, vasemmalla) ja kuution muotoiset versio (kuva 11, oikealla).



KUVA 11. Vasemmalla pallon ja oikealla kuution muotoisen kotelon versiot

Koska kuution muotoisen kotelon kiinnityssilmukoiden kestävyys epäilytti ja koska pallon muotoisesta koteloinnista saataisiin kevytrakenteisempi, valikoitui se käytettävän kotelon malliksi. Pallon muotoiset suojakotelot valmistettiin lasersintraamalla polyamidista (PA) eli nailonista 3D-mallin mukaisesti. Lasersintaus on pikamallitekniikka, jossa materiaalijauheesta lasersäteellä sulattamalla valmistetaan mekaanisesti kestäviä ja tarkkoja kappaleita (11). Pallon puoliskojen yhteen liittämiseen käytettiin Loctite 401 -pikaliimaa.

Pallon avattiin ratkomalla ompeleita 20 - 30 cm:n matkalta. Kääntämällä kuori-pallon nurin saatiin esiin kuminen sisäpallo. Asennuspallon hihnojen kiinnityskohdat mitoitettiin sisäpallon pintaan ja merkattuihin kohtiin leikattiin noin 6 mm reiät kotelon kiinnitystä varaten. Myös elektroniikan kotelo vietiin kumipallon sisään yhdestä reiästä. (Kuva 12.)



KUVA 12. Elektroniikan suojakotelon vieni sisäpallon sisään

Kiinnityshihnoiksi valittiin useiden materiaalivaihtoehtojen testausten jälkeen vihreä, termoplastisesta polyuretaanista (TPU) valmistettu, halkaisijaltaan 2 mm:n tehonsiirtohihna. Hyvän mekaanisen kuormituksenkeston ja kimmoisuuden lisäksi valintaa puolsi helppo hihnan päiden toisiinsa liittäminen kuumentamalla.

Kiinnityshihnojen kiinnittämiseen kumipallojen ulkopuolelle käytettiin vesileikkauksella kumilevystä leikattuja laippoja. Laippojen avulla hihnat voitiin vulkanoida kiinni kumipallon ulkopintaan. Kumilaippojen reunat ohennettiin hioen tarkoitusta varten lasersintraamalla valmistetuilla, käsiporakoneeseen kiinnitettävillä työkaluilla. (Kuva 13.)



KUVA 13. Kumilaippojen reunojen ohennustyökalu

Kiinnityshihna laipan vulkanoinnissa sisäpalloon käytettiin TIP TOP Cement SVS-VULC -vulkanointinestettä. Ennen vulkanointia liitettävät pinnat valmistettiin denaturoidulla etanolilla puhdistaan. Lopuksi reikä paikattiin päälle vulkanoidulla kumipaikalla. (Kuva 14.)



KUVA 14. Hihnan kiinnitysreikä paikattuna

Kun kumipallo oli paikattu, pallon kuori käännettiin takaisin oikeinpäin ja ommeltiin kiinni. Ompeleminen tapahtui käyttäen kahta neulaa, joiden vastakkaisuuntaisilla pistoilla saatiin kaksinkertainen ommel. (Kuva 15.) Lankana käytettiin nailonpauloituskankaa.



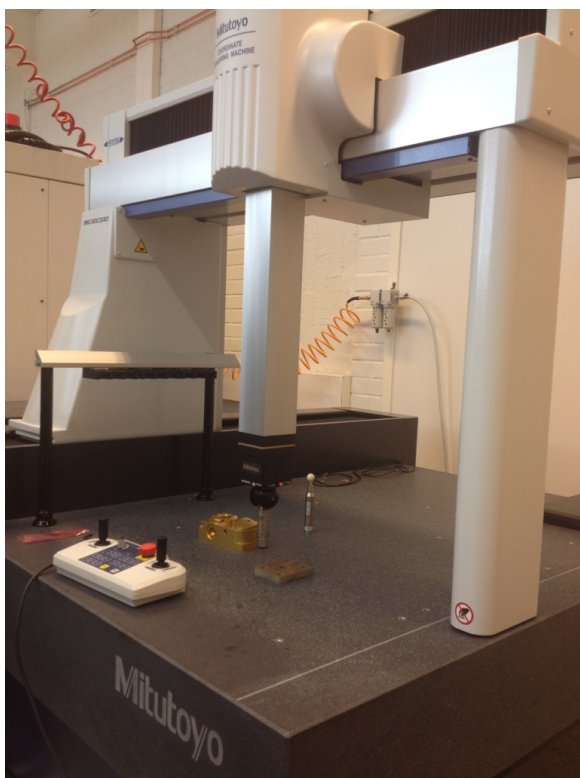
KUVA 15. Pallon kuoren ompelu

4.2 Ensimmäisen protopallon testaus

Pallon ensimmäisen prototyypin valmistuttua pallon ominaisuuksia ja mittoja tarkasteltiin FIFA:n standardeihin verraten. Ainoastaan veden imeytymisestä aiheutuva muodonmuutos jätettiin mittaamatta, koska muutos liittyy pallon kuorimateriaaleihin ja rakennetussa pallossa kuoren materiaali pysyi ennallaan. Kaikki mittaukset suoritettiin rakennetulla pallolla, jonka paine oli 0,8 bar. Tuloksia tarkastellessa tuli huomioida, että pallon sisään rakennettu elektroniikan suojakotelo oli tässä vaiheessa tyhjä, jolloin sisään asennettavan elektroniikan ja akun paino ei vielä vaikuttanut pallon ominaisuuksiin.

4.2.1 Pallomaisuus ja ympärysmitta

Pallon ulkomittojen pallomaisuus ja ympärysmitta selvitettiin käyttämällä Oulun ammattikorkeakoulun tekniikan laboratorion Mitutoyo-3D-mittalaitetta (kuva 16). Pallo kiinnitettiin mittalaitteen pöytään kuumaliimalla ja mittalaitteen kärjellä suoritettiin mittausta kuoren palojen keskipisteistä. Mittaustulosten perusteella mittalaitteen ohjelma laski pallolle halkaisijan ja ympyrämäisyyden poikkeamien suuruuden. Mittauksissa saatiin pallon halkaisijaksi 218,301 mm ja pallomaisuuden muotojen vaihteluksi 2,714 mm (liite 1).



KUVA 16. Mitutoyo-3D-mittalaite

Pallon ympärysmitta laskettiin kaavalla 1 (12, s. 18).

$$P = \pi \times D$$

KAAVA 1

P = ympärysmitta (mm)

D = pallon halkaisija (mm)

Pallon halkaisijaksi saatiin 686 mm eli noin 69 cm, joka on FIFAn standardien mukainen.

Pallon ympyrämäisyyden heitto prosentteina laskettiin kaavalla 2 (12, s. 154).

$$p = \frac{a}{b} \times 100$$

KAAVA 2

p = prosenttiluku

a = vertoarvo eli prosenttiarvo

b = perusarvo

Pallon ympyrämäisyyden poikkeamaksi saatiin 1,24 %, joka jää FIFAn standardin 1,8 % maksimipoikkeaman alapuolelle.

4.2.2 Pallon paino

Pallon paino mitattiin RHEWA 941 vaa'alla, jonka mittatarkkuus oli 5 g. Pallon painoksi saatiin 455 g, joka on 5 grammaa yli FIFAn määrittämän maksimipainon. (Kuva 17.)

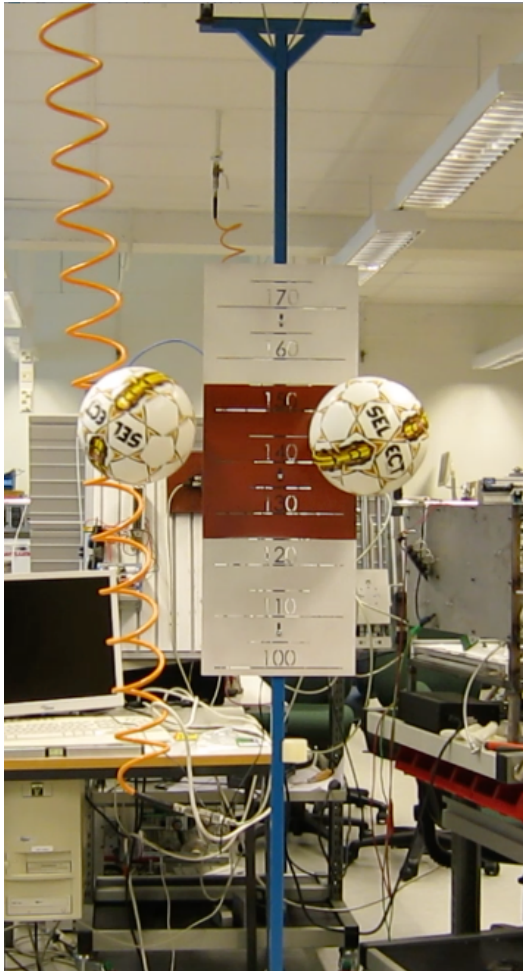


KUVA 17. Pallon punnitus

4.2.3 Pallon ponnahdus

Pallon ponnahduskorkeuden mittaus suoritettiin tarkoitukseen rakennetulla testilaitteella. Testilaitteen teräsrakenteisen telineen yläosassa oli kaksi alipainetartujaa rakennetulle pallolle ja vertailupallolle. Tarttujien alipaine toteutettiin sähköisesti ohjattavalla ejektorilla, jolloin pallojen pudottaminen mahdollistui etäältä helpottaen tulosten dokumentointia kameralla.

Palloja pudotettiin kahden metrin korkeudelta teräslevylle. Mittaustulokset pysyttiin lukemaan suoraan taustalla olevasta mitta-asteikosta. Ponnauskorkeudeksi saatiin noin 134 cm, joka oli vain 2 cm vertailupalloa pienempi ja täytti FIFA:n standardin vaatimukset. (Kuva 18.)



KUVA 18. Pallojen ponnausmittauksessa rakennettu pallo oikealla

4.2.4 Painehäviö

Pallon painehäviö mitattiin standardin ohjeen mukaisesti 1 bar:n lähtöpaineesta kolmen vuorokauden aikana laskenut paine. Paine oli laskenut 20 % ollen 0,8 bar ja 5 % alle standardin. Paineen mittaamiseen käytettiin Quantify-merkkistä pallon painemittaria.

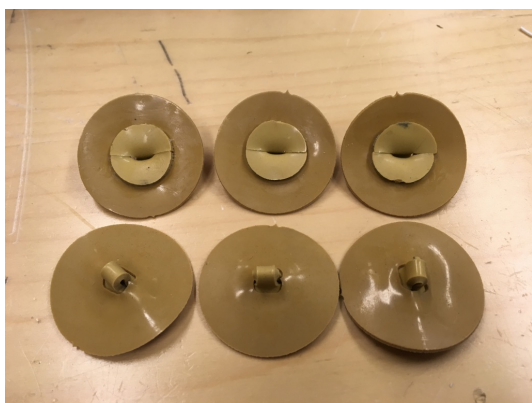
5 PROTOTYYPPIEN KEHITYS

Ensimmäinen protopallo toimi omassa kokoonpanossaan hyvin ja tehdyt rakenteet toimivat moitteettomasti. Tällä todennettiin elektroniikan rakentaminen jalkapalloon mahdolliseksi ja pallon kehittämistä voitiin jatkaa. Lisättäessä asennuspalloon elektroniikan ja akun tuomaa painoa eivät kaikki ensimmäisessä pallossa tehdyt materiaalit ja rakenteet enää kestäneet.

Puutteiden korjaamiseksi tehtiin useita testejä eri materiaaleille ja muun muassa elektroniikan kotelon rakennetta muutettiin useita eri kertoja. Myös pallon rakentamisavassa tehtiin rakentamista helpottavia ja yksinkertaistavia muutoksia.

5.1 Kiinnityslaippojen kehitys

Mustasta kumimatosta tehdyt laipat eivät elektroniikan suojakotelon massan kasvaessa kestäneet vaan repesivät palloa potkittaessa. Korjaukseksi kokeiltiin saman muotoista, elastisemmasta luonnonkumista valmistettua laippaa. Nämäkin laipat eivät kestäneet pallon kovempaa käsittelyä. Seuraava askel oli parantaa laipan kestävyyttä venymisen mahdollistavalla muotoilulla. (Kuva 19.)



KUVA 19. Luonnonkumista valmistetut laipat

Myös laipan kiinnitystä kumipalloon muutettiin vulkanoimalla laippa suoraan kumipallon sisäpintaan. Muutoksen etuna oli mahdollisuus suorittaa kaikki pallon sisään tehtävät asennukset yhden asennusreiän kautta. Tällöin mahdollisten epäonnistuneiden ja vuotavien paikkausten mahdollisuus pieneni.

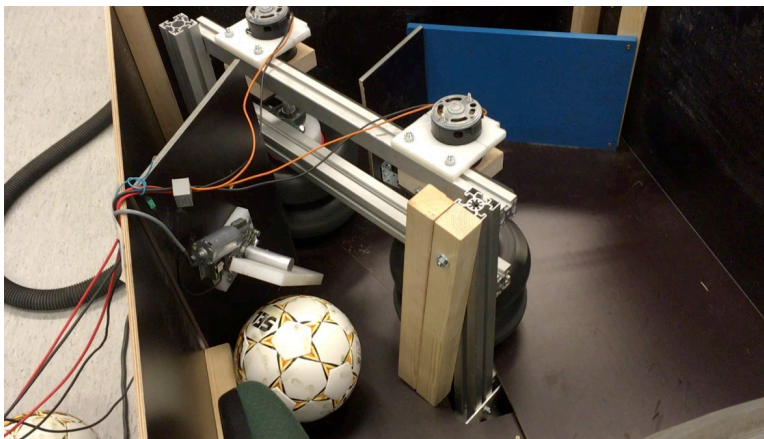
Luonnonkumilaippojen ja muutetun kiinnityksen kestävyyttä päätettiin testata ennen käyttöönottoa. Testaamista varten rakennettu laite venytti laippaa toistuvasti sähköisesti ohjatulla pneumatiikkasynterillä. (Kuva 20.)



KUVA 20. Laippaa toistuvasti venyttävä testauslaite

Testissä kumilaippaa venytettiin 15 - 20 mm 6,5 tunnin ajan, jolloin venytyskerroja tuli noin 12 500. Laippa kiinnityksineen kesti testin moitteettomasti. Kestävyttä ja laippojen toimivuutta testattiin seuraavaksi palloon asennettuna. Pallossa oli tällä kertaa sisällä VTT:n rakentama TAG ja akku, lataus- ja ohjelmointijohtoineen. TAG lähetti 28 sekunnin välein signaalia, joka vastaanotettiin tietokoneeseen kytketyllä vastaanottimella. Näin voitiin myös testata TAGin komponenttien kestävyttä testin aikana.

Palloa testattiin laitteessa, jossa palloa ammuttiin pyörivien kumipyörien avulla 30 cm päässä olevaan teräslevyyn noin 50 km/h nopeudella. Kaksi noin 1 500 rpm vastakkaisiin suuntiin pyörivää kumipyöräparia sinkosi pallon teräslevyä vasten noin 60 asteen kulmassa. Laskennallinen lähtönopeus 50 km/h perustuu pyörien pyörimisnopeuteen. Teräslevystä pallo kimposi takaisin uudelleen laukaistavaksi. (Kuva 21.) Kone suoritti noin kymmenen laukausta minuutissa, jolloin laukausten lukumäärä oli laskettavissa käytetyn ajan perusteella.



KUVA 21. Pallon kestävyyttä testaava laite

Ensimmäisessä testissä TAGin lähettämä signaali lakkasi noin 8 min testaamisen jälkeen, minkä vuoksi testi keskeytettiin. Pallon avaaminen paljasti, että kolme kumilaipoista oli katkennut. Elektroniikka ja suojakotelo oli särkynyt iskeytyessään pallon seinämiin.

Jälkiä tarkastellessa oli pääteltävissä, että pallon liikkeen kiihtyessä elektroniikan ja suojakotelon massa kiihtyi kumilaippojen ja hihnojen välityksellä jännittäen joustavan kumilaipan äärimmilleen. Kun pallo törmäsi teräslevyyn kimmoten lähes vastakkaiseen suuntaan, aiheutti elektroniikan ja suojakotelon massa niin suuren voiman, etteivät kumilaipat sitä enää kestäneet. Pallon eri suuntiin suuntautuvien kiihtyvyyksien lisäksi suojakotelon ja elektroniikan liikenopeuteen vaikutti juuri ennen törmäyshetkeä äärimmilleen venynyt kumilaippa, joka palautuessaan kiihdytti suojakotelon ja elektroniikan nopeutta entisestään.

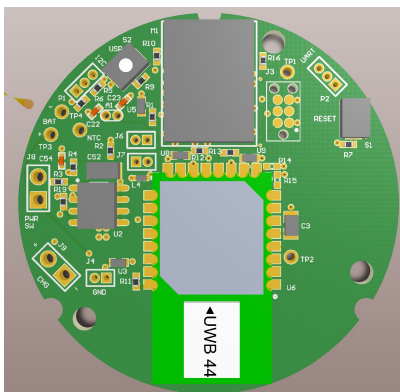
Jotta suojakotelon liike pallon sisällä saataisiin mahdollisimman pieneksi, piti kiinnitys kumipallon pintaan suunnitella mahdollisimman jäykäksi. Kiinnityksen täytyi myös kestää suuria hetkellisiä iskuja, joten laipat päädyttiin rakentamaan POM-muovista sorvaamalla. Jäykän ja eri materiaalia olevan laipan liimaaminen suoraan kumisen sisäpallon pintaan ei ollut mahdollista. Laipat vulkanoitiin kumipalloon 1 mm:n vahvuisella, Ø40 mm luonnonkumilaipalla, jonka keskelle oli lävistetty 3 mm:n reikä. Tämä kiinnitystapa osoittautui jälkeenpäin tehdyissä kestävyystesteissä toimivaksi ja kestäväksi ratkaisuksi. (Kuva 22.)



KUVA 22. Mustat POM-laipat ja luonnonkumiset kiinnityslaipat

5.2 Elektroniikan suojakotelon kehitys

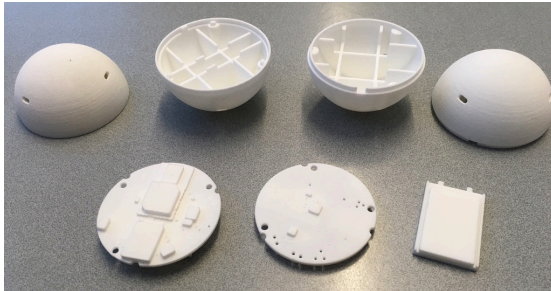
Päädyttäessä pallomaiseen suojakoteloon ensimmäisenä testiversiona oli lähtötiedoissa annetun, 20 x 20 x 10 mm kokoiselle TAGille suunniteltu, ulkohalkaisijaltaan 32,8 mm:n suojakoteloon. Lopulta TAG varmistui muodoltaan pyöreäksi, halkaisijaltaan 42 mm:n piirilevyksi. (Kuva 23.)



KUVA 23. TAG

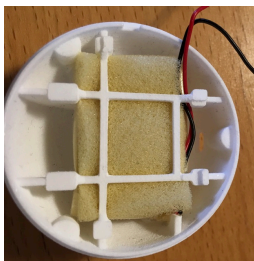
TAGin muodon ja koon varmistuttua suunniteltiin ja valmistettiin uusi, halkaisijaltaan 46 mm:n suojakotelo lasersintrausta käyttäen. TAGin kiinnitys suojakotelon sisään toteutettiin piirilevyn reunassa epäsymmetrisesti sijaitsevia, puolipallon muotoisia koloja apuna käyttäen. Kolot estävät levyn pyörimisen suojakotelossa ja myös ohjaavat asennuksen vain yhteen asentoon.

Suojakotelon sisään suunniteltiin myös tila ulkomitoiltaan 20 x 25 x 4 mm akulle. Akku ja suurimmat komponentit tuli suurien kiihtyvyyksien vuoksi olla pehmusteilla tuetut. TAGin ja akun keskinäinen sijainti suojakotelossa oli hyvin tärkeä signaalin lähetystehon kannalta. Suojakotelon valmistamisen yhteydessä tehtiin myös pikamallit TAGista ja akusta, jotta osien yhteensopivuus voitiin varmistaa. (Kuva 24.)



KUVA 24. Asennuspallon puoliskot sekä pikamallit TAGista ja akusta

Koska pallossa käytettävällä li-ion akuilla on kolhiintuessaan mahdollinen räjähdysvaara, päätettiin akku sijoittaa suojakoteloon pehmustettuna ja erilleen piirilevystä. Siksi suojakotelosta tehtiin vielä uusi versio, jossa akulle oli toisessa asennuspallon puolikkaassa oma tuentansa. (Kuva 25.) Samalla suojakotelon osiin suunniteltiin reitit kahdelle latausjohdolle ja TAGin ohjelmointiin käytettävälle kolmelle johtimelle.



KUVA 25. Akun erillinen tuenta suojakoteloon

Suojakotelossa oli käytössä tekniikka, jossa kiinnityshihnasta tehty silmukka työnnettiin kuoren ovaalin muotoisesta reiästä sisään ja sen ulostulo estettiin lieriömäisellä esteellä. Esteenä käytettiin FDM-pikamallikoneissa käytettyä tulostuslankaa, joka paikallaan pysymisen varmistamiseksi liimattiin kiinni kiinnityshihnan silmukkaan. Liiman käyttö kuitenkin haurastutti hihnamateriaalia ja yhdessä pallolle tehdyistä kestopesteistä hihna katkesi liimauksen kohdalta. Hihnan kiinnitys suojakoteloon piti suunnitella uudelleen, jotta liiman käytöstä voitaisiin luopua. Suunnittelun tuloksena päädyttiin ratkaisuun, jossa hihnalle oli omat sisään- ja ulostuloreikänsä.

5.3 Johdotusten läpivienti pallon sisään

Akun lataamista ja TAGin uudelleen ohjelmointia varten palloon täytyi viedä viisi johdinta. Alkuvaiheessa suurin haaste oli johtojen läpivienti ilmatiiviisti pallon sisään. Johtojen läpiviennit ratkaistiin käyttämällä hyväksi pallon kumisen täyttöventtiilin rakennetta. Jalkapallon täyttöventtiili koostuu pallon sisällä nähtäväs-
tä, halkaisijaltaan 15 mm paksusta ja noin 17 mm pitkstä täyskumisesta venttiilistä. (Kuva 26.)



KUVA 26. Jalkapallon täyttöventtiili

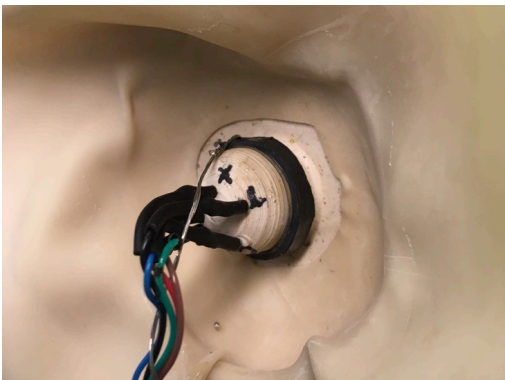
Tiivis kuminen rakenne sulkee pallon täyttöreiän poistettaessa venttiilineula pallosta. Täyttöreiän ympärillä olevaan kumimateriaalin läpi pystyi neulalla lävistäen viemään johtimet pallon sisään. Jotta akun lataus ja TAGin ohjelmointi käytännössä olisi mahdollista, tuli pallon pintaan rakentaa liitännät tarvittavia kytkentöjä varten. Siksi pallon venttiilin kumirakenteeseen porattiin viisi Ø 2,2 mm:n reikää, noin 10 mm:n syvyydelle.

Virhekytkentöjen välttämiseksi liitinkuviosta tehtiin epäsymmetrinen. Reikiin upotettiin kontaktipinnoiksi Ø 2 mm:n holkit, joiden päähän pallon läpi viedyt johtimet oli juotettu kiinni. Pallon sähköisille kytkennöille rakennettiin myös liitin tulostamalla runko FDM pikamallikoneella ja kiinnittämällä siihen 2 mm:n banaaniliittimet. (Kuva 27.)



KUVA 27. Liitin palloon kytkettynä

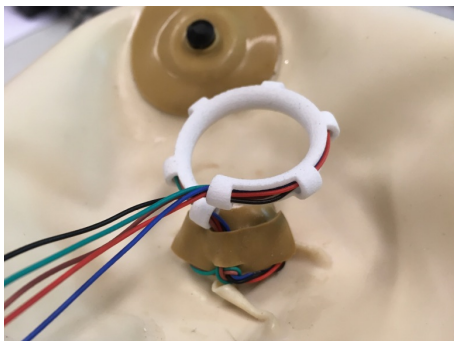
Sähköliitosten läpivienni tehtiin yksisäikeisellä johtimella. Heti läpiviennin jälkeen, läpivientijohdot ja TAGille menevät johdot juotettiin yhteen. Johtimien mekaaniseksi tueksi tuli molemmista päistään kiinnitetty, johtonipun ympärille kierretty teräsvaijeri. (Kuva 28.)



KUVA 28. Johtojen läpiviennit

Käytetty ratkaisu ei kuitenkaan käytännössä toiminut, vaan testissä johtonipun edestakainen liike katkaisi johtimet heti suojakotelon läpiviennin juuresta. Kokeilut monisäikeisellä johtimella tuottivat saman lopputuloksen. Lisäksi ongelmia aiheutti vapaasti heiluvan johtonipun massa, joka suurissa kiihtyvyyksissä repi johtimia poikki.

Lopulta päädyttiin ratkaisuun, jossa läpiviennit tehtiin monisäikeisellä johtimella ja kiinnitettiin venttiilirakenteeseen päälle vulkanoidulla kumisella tuella. Venttiililtä suojakotelolle lähtevät johdot vietiin tarkoitukseensa suunnitellun ja laser-sintraamalla valmistetun joustopalan läpi. (Kuva 29.) Joustopalan ansiosta johdonippu pysyi pallon kuoren ja suojakotelon välissä sopivan tiukalla, mutta jousti potkuissa ja muissa pelitilanteissa aiheutuvien pallon muodonmuutosten mukaan.

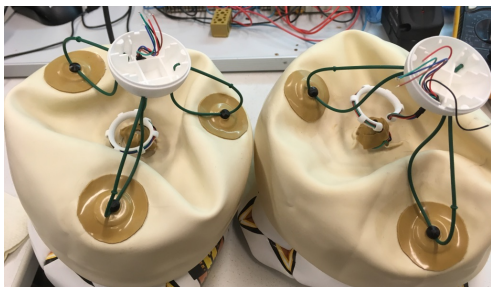


KUVA 29. Johdinnipun joustopala

5.4 Viimeisten pallojen valmistus ja testaus

Opinnäytetyön päätti Oulussa, Heinäpään Jalkapallohallissa pidettävä VTT:n järjestämä demotilaisuus, jossa työn tuloksia esiteltiin projektin eri osapuolille. Tilaisuutta varten rakennettiin kaksi palloa, joiden toimivuutta ja kestävyyttä testattiin pelitilanteessa.

Pallojen rakentaminen aloitettiin avaamalla pallot ja rakentamalla johdotusten läpiviennit. Kiinnityslaipat vulkanoitiin kiinni kumipallon sisäpintaan ja suojakotelon toiset puolikkaat kiinnitettiin hihnoilla palloon kiinni. (Kuva 30.)



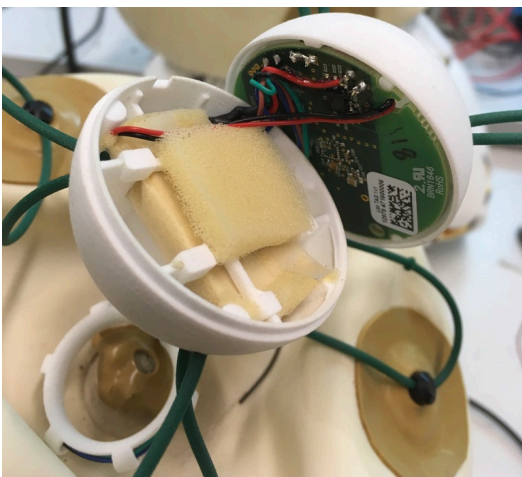
KUVA 30. Suojakotelon puolikkaat kiinnitettynä palloon

Johtonippu suojattiin suojakotelon läpiviennin kohdalta kaksinkertaisella kutistesukalla. Johtojen rikkihiertymisen lisäksi läpivienti jäykisti johtonippua estäen jyrkät taipumat ja niiden aiheuttamat johdinten katkeamiset. Johdinnipun vedonpoisto rakennettiin kutistesukan sisällä olevalla O-renkaalla. (Kuva 31.)



KUVA 31. Johtimien vedonpoisto

Palloihin asennettavien TAGien akkujen johdot oli VTT:n toimesta juotettu jo ohjelmoinnin yhteydessä. Tehtäväksi jäi ohjelmointiin ja lataukseen tarvittavien johtimien juottaminen piirilevyyn. Jotta johtimet eivät pääsisi liikkumaan käytön aikana, ne liimattiin pikaliimalla kiinni piirilevyn pintaan. Tämän jälkeen levyyn juotetut johtimet liitettiin suojakotelon sisään tuotuihin johtimiin. Kun suojakoteloiden toisetkin puoliskot olivat kiinnitettynä hihnoilla kumipalloon, voitiin TAG asentaa suojakoteloon ja kiinnittää suojakotelon vastakkaiset puoliskot toisiinsa liimaamalla. (Kuva 32.)



KUVA 32. TAG asennettuna suojakoteloon

Kumipallot käännettiin oikeinpäin, jolloin suojakotelot kiinnikkeineen jäivät kumipallojen sisään. Kumipallojen asennusreikien paikkaamiseen käytettiin vahvuudeltaan 1 mm:n luonnonkumimattoa, jotka vulkanoitiin reiän peitoksi. (Kuva 33.)



KUVA 33. Pallot paikattuina

Lopuksi oli vuorossa pallon kuoren ompelu, joka ensimmäisiin protopalloihin poiketen suoritettiin nelinkertaisella langalla. Lankana käytettiin valkoista vahapintaista nailonlankaa, joka parhaiten vastasi pallon alkuperäistä ommelta. Vahapintainen lanka huomommin luistavana mahdollisti tiukemman ja tiiviimmän ompeleen. (Kuva 34.)

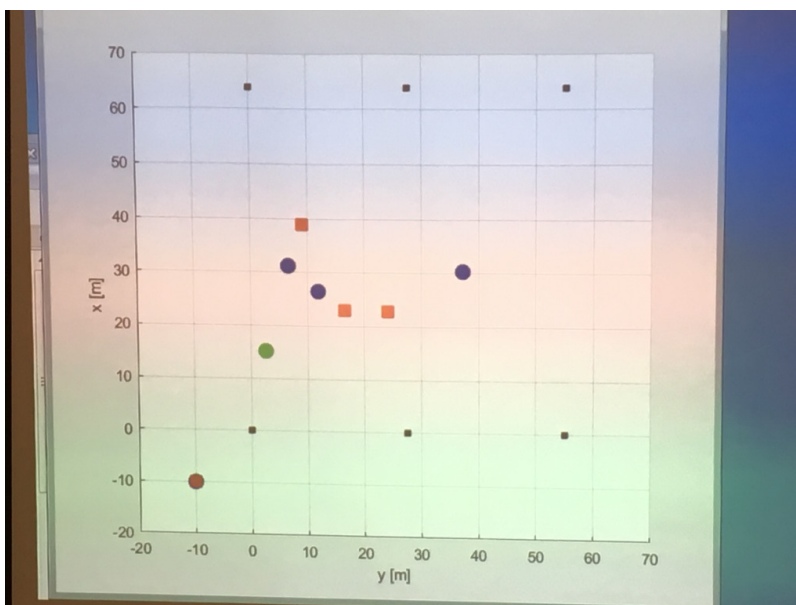


KUVA 34. Pallon kuoren kiinniompelu

Pallojen ominaisuudet eivät painon ja ponnahduksen osalta saavuttaneet FIFA:n standardin vaatimuksia. Painoa palloille tuli 485 g, mikä on 35 g yli sallitun ylärajan. Ponnahduksen vähimmäisvaatimus kahden metrin korkeudelta pudotettaessa oli 125 cm, mutta rakennettujen pallojen ponnahdus jäi 110 - 115 cm korkeuteen. Aikaisemmin testattaessa painehäviötä pallolla, jossa läpivienti oli toteutettu yksisäikeisellä johtimella, pallon paine laski kolmen vuorokauden aikana vain 20 % lähtötilanteesta. Käytettäessä monisäikeistä johdinta läpivientiin, painehäviö oli suurempi.

Pallojen toiminnan testaus tapahtui suunnitellusti keskiviikkona 14.12.2016 Heinäpään Jalkapallohallissa, missä paikalle kutsutut jalkapallon harrastajat käyttivät palloa pelivälineenään. Ennen testausta pallojen akut ladattiin ja TAGille ajettiin uudet ohjelmat. Toisen pallon ohjelmointi onnistui ongelmitta, mutta toisen pallon ei jostain syystä saatu ohjelmointiyhteyttä ja se jätettiin testien ulkopuolelle. Testissä käytetty pallo lähetti signaalia 10 Hz:n taajuudella.

Testipelissä molempien joukkueiden kolmelle pelaajalle kiinnitettiin pallon kanssa identtiset paikannuslaitteet. Näin pelaajien ja pallon liikkeitä kentällä pystyttiin seuraamaan suunnitellusti tietokoneen näytöltä. (Kuva 35.) Kestävytydessä ei ongelmia ilmennyt, joten testit sujuivat pallon osalta toivotusti.



KUVA 35. Kolme + kolme pelaajaa ja vihreänä pisteenä näkyvä pallo mustien pisteiden rajaamalla kentällä

6 YHTEENVETO

Työssä kehitettiin menetelmä elektroniikan rakentamiseksi jalkapallon sisään tavalla, jossa FIFA:n jalkapallon ominaisuuksille asettamat vaatimukset toteutuisivat mahdollisimman hyvin. Työ liittyi Hilla Soccer -projektiin, ja sen tilaajana toimi Oulun Ammattikorkeakoulu Oy:n edustajana Eero Korhonen.

Työn tuloksena saatiin jalkapallo, jonka sisään oli asennettu paikkatiedon saamiseksi tarvittava elektroniikka, akku sekä ohjelmointi- ja latausjohtimet. Komponentit sijoitettiin pallon keskelle pallon tasapainon säilyttämiseksi. Käytettyihin rakennusmenetelmiin päädyttiin useiden kokeiluiden ja testien perusteella kehittämällä materiaaleissa ja rakennustavassa ilmenneitä puutteita. Lukuun ottamatta pallon painoa ja ponnahduskykyä, FIFA:n standardissa määritellyt ominaisuudet täyttävät valmistusmenetelmät saatiin kehitettyä.

Mekaanisen kestävyuden osalta pallon rakentamisessa onnistuttiin. Suojakotelon, sen kiinnityksen sekä johdotuksen rakenteet kestivät niin testilaitteella tehdyt testit kuin pelitilanteen rasituksetkin. Kuten pallon testauspäivänä ilmeni, sähköisten kytkentöjen luotettavuudessa on vielä parannettavaa. Johtimien useat liitännät lisäävät riskiä kytkentävirheisiin, mistä todennäköisesti aiheutui myös toisen pallon uudelleen ohjelmoinnin epäonnistuminen. Koska viimeisten pallojen johtimien läpiviennissä käytettiin monisäikeistä johdinta, oli painehäviö toivottua suurempaa. Vastaisuudessa läpiviennit tulisi toteuttaa yksisäikeisillä johtimilla, joihin läpiviennin jälkeen juotetaan monisäikeiset, suojakotelolle vievät johtimet.

Riittävän mekaanisen lujuuden saavuttamiseksi elektroniikan asentamiseen käytettyjen komponenttien paino kasvoi väistämättä liian suureksi. Tulevaisuudessa lähtöpainoltaan keveämmän jalkapallon käyttäminen voisi osittain ratkaista ongelman. Vaikeammin ratkaistava ongelma on ponnahduskyvyn parantaminen. Todennäköisesti pallon kuoresta irrallaan oleva sisäpallo aiheuttaa törmäyksessä joustoa, jolloin sisälle pingotetun TAGin massa vaimentaa pallon ponnahdusta värähtelyllään. Ratkaisu voisi löytyä rakentamalla pallo ilmatiiviillä ulkokuorella ilman sisäpalloa tai sijoittamalla TAG kiinni pallon ulkokuoreen.

Kokonaisuutena työssä onnistuttiin hyvin. Pallon rakentamismenetelmistä ja mahdollisesti vastaantulevista ongelmista opittiin paljon. Useita käytännön ongelmia ratkaisten saatiin rakennettua lähes vaatimusten mukainen jalkapallo.

Kun kehitystyötä tulevaisuudessa jatketaan, uusia ongelmia tulee varmasti vastaan. Siitä huolimatta järjestelmällisellä kehitystyöllä ja ongelmien ratkaisulla on pallosta mahdollista saada toimiva peliväline.

LÄHTEET

1. Jalkapallosäännöt. 2012. Suomen Palloliitto. Saatavissa: <https://www.palloliitto.fi/sites/default/files/liitteet/Piiri-Pohjois-Suomi/jalkapallosaannot.pdf>. Hakupäivä 31.10.2016.
2. Testing and Certification for Footballs. 2006. Fédération Internationale de Football Association. Saatavissa: http://www.fifa.com/mm/document/afdeveloping/pitchequip/ims_sales_doc_05_2006_13411.pdf. Hakupäivä 21.12.2016.
3. The rugby ball with a built-in referee. 2014. Daily Mail. Saatavissa: <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2683166/The-rugby-ball-built-REFEREE-Smart-ball-fitted-electromagnetic-sensor-works-player-scored-try.html>. Hakupäivä 23.2.2017.
4. A camera-filled soccer ball gives fans a dizzying view of the game. 2014. Gizmodo. Saatavissa: <http://gizmodo.com/a-camera-filled-soccer-ball-gives-fans-a-dizzying-view-1557485993>. Hakupäivä 23.2.2017.
5. Get real-time coaching cues. 2016. InsideCoach. Saatavissa: <http://www.insidecoach.com>. Hakupäivä 23.2.2017.
6. Micoach smart ball. 2017. Adidas Int. Saatavissa: <https://www.adidas.fi/micoach-smart-ball/G83963.html>. Hakupäivä 26.2.2017
7. The new Adidas Smart Ball provides instant feedback to make you better. 2016. Vox Media. Saatavissa: <http://www.sbnation.com/soccer/2013/5/28/4371098/new-adidas-smart-ball>. Hakupäivä 29.12.2016.
8. Kiljander, Tommi 2011. Induktiolatauksen standardi ja kommunikaatio. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tietotekniikan koulutusohjelma. https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/31301/Kiljander_Tommi.pdf. Hakupäivä 22.3.2017.

9. Select Omega 2016. Intersport. Saatavissa:
<https://www.intersport.fi/fi/tuote/select-omega-jalkapallo-56463583/>. Hakupäivä 28.12.2016
10. Jalkapallo Select Omega. Duosport.fi. Saatavissa:
<http://www.duosport.fi/Select-Omega-Pro>. Hakupäivä 28.12.2016.
11. Pikamallipalvelut. Oulun ammattikorkeakoulu. Saatavissa:
<http://www.oamk.fi/fi/palvelut-ja-yhteisty/asiantuntijapalvelut/prototyypipalvelut/pikamallipalvelut/>. Hakupäivä 3.4.2017
12. Valtanen, Esko 2013. Tekniikan taulukkokirja. Mikkeli: Genesis-kirjat Oy.



11.08.2016 15:48

Käyttäjänimi
AdminOsan nimi
Jalkapallo

Pöytäkirjan nro. (0)

1	2	3	4					
El. No.	Line No	Element	Pnt. Ref.	X-Coord. Nominal	Y-Coord. Y-Angle Up/Lo	Z-Coord. Z-Angle Actual	Diameter Dist./Ang. Dev./Error	Variance mm
1	11	Pallo		0.000	0.100	218.401	218.401	218.301
		Halkaisija						----->>
1	11	Pallo		0.000	0.100	2.814	2.814	2.714
		Pallon muoto						---->>