

Jussi Hahto

NOPEUSAJASTIMEN TUOTEKEHITYS

NOPEUSAJASTIMEN TUOTEKEHITYS

Jussi Hahto
Opinnäytetyö
Kevät 2021
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu

Konetekniikan tutkinto-ohjelma, koneautomaation suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Jussi Hahto

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Nopeusajastimen tuotekehitys

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Product Development for Racing Stopwatch

Työn ohjaaja: Juha Junttila

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2021

Sivumäärä: 33 + 1 liite

Opinnäytetyössä suunniteltiin ja valmistettiin nopeusajastimen metallinen prototyyppi TimerGPS Europe Oy:lle. Työssä tutkittiin ajastimen radiosignaalien käyttäytymistä metallisella koteloinnilla sekä sen vaikutusta laitteen rakenteellisiin ominaisuuksiin kuten vesitiivyyteen. Työn tuloksia verrattiin toimeksiantajan tuotevalikoimaan kuuluvaan muovista valmistettuun nopeusajastimeen, jota käytetään hevosurheilussa suorituksien mittaamiseen. Metallisella materiaalilla halutaan parantaa laitteen kestävyyttä vaativissa olosuhteissa.

Suunnittelu toteutettiin 3D-mallinnusmenetelmällä, jonka pohjana käytettiin toimeksiantajan markkinoilla olevan tuotevalikoiman suunnitteludataa. Dataa käytettiin suunnittelun tehostamiseen ja rakenteellisten rajoitteiden tarkentamiseen laitteen kokoonpanossa, kuten sisäisen elektroniikan vaikutusta kuoren mekaniikkaan. Tehostamisen tavoitteena oli edetä testausvaiheeseen mahdollisimman nopeasti. Suunnittelussa tuotettu aineisto varmennettiin katselmoimalla, jolla voitiin havaita mahdollisia suunnitteluvirheitä ja huomioida valitun valmistusmenetelmän rajoituksia.

Prototyypin pikamallit valmistettiin suunnittelumallien perusteella 3D-tulostamalla. Pikamallit valmistettiin muovista ja alumiinista alihankintana. Pikamallien rakenteelliset ja toiminnalliset testaukset suoritettiin toimeksiantajan tiloissa ja välineillä. Muovisen pikamallin rakenteellisilla testeillä todennettiin prototyypin kuoren suunnittelumallin kokoonpanon kiinnityksiin ja tilavarauksiin tarvittavat muutokset. Toiminnallisilla testeillä selvitettiin laitteen langattomien signaalien toimintavarmuus metallisella koteloinnilla. Testeillä saatiin selville tarvittavat kuoreen tehtävät aukotukset radiosignaaleja varten. Testien tulokset valokuvattiin, taulukoitiin sähköisesti ja arkistoitiiin.

Testituloksien perusteella ei voitu tehdä tyhjentävää johtopäätöstä, vaikka ne viittasivat siihen, että laitteella olisi toiminnalliset edellytykset radiosignaalien käyttöön. Tuotekehityksen jatkuminen edellyttää lisäsuunnittelua ja -testausta. Mikäli radiosignaalien toimivuus voidaan varmentaa, tuotteen rakenteelliset ominaisuudet kuten vesitiiveys on testien perusteella mahdollista toteuttaa yksityiskohtaisella suunnittelulla.

Asiasanat: tuotekehitys, prototyyppi, tuotesuunnittelu, radiotekniikka, testaus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Mechanical Engineering, option of Machine Automation

Author: Jussi Hahto
Title of thesis: Product Development for Racing Stopwatch
Supervisor: Juha Junntila
Term and year when the thesis was submitted: spring 2021
Pages: 33 + 1 appendice

The purpose of this thesis was to design and manufacture a metal prototype of racing stopwatch for TimerGPS Europe Oy. The goal was to study the behavior of radio signals in the metallic enclosure of the stopwatch and its impact on the structural characteristics on the device, such as waterproofing. The results of the work were compared to a similar stopwatch made of plastic from the client's product lineup, which is used in horse racing to measure performance. Metallic material is intended to improve the durability of the device in demanding conditions.

The design was carried out using 3D modelling methods based on design data from the product lineup in the client's archives. The data was used to enhance the design process and to define structural restrictions in the assembly of the device, such as the effect of its internal electronics to the design of the shell. The aim of the enhancing was to proceed to the testing phase as quickly as possible. The design data produced was reviewed in purpose to detect possible design errors and to consider the limitations of the selected manufacturing method.

The prototypes were manufactured using quick 3D printing from plastic and aluminium. The structural and functional testing of the models were carried out using the client's facilities and equipment. Structural tests of the plastic model verified the necessary changes to the prototype's shell design in terms of assembly fastenings and space reservations. Functional tests were used to determine the reliability of the device's wireless signals inside metal enclosure. The tests were used to find out the necessary openings for radio signals in the enclosure. The results of the tests were photographed, recorder and archived.

Based on the test results, no definitive conclusion could be drawn, although they indicated that the device could have functional capabilities for operating the radio signals. Further design and testing are required to continue the product development. If the functionality of the radio signals can be verified, the structural characteristics of the product, such as waterproofing, can be carried out with detailed design.

Keywords: product development, prototype, product design, RF-technology, testing

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
2 TAUSTATIEDOT VALMISTUKSELLE JA TESTAUKSELLE	8
2.1 Tuotekehityksen periaatteet	9
2.2 Valmistustekniikat	11
2.3 IP-luokitukset	14
2.4 RF-tekniikka	15
3 KOKOONPANON MEKAANIKKASUUNNITTELU	19
3.1 Piirilevy	19
3.2 Kuoret	22
4 PROTOTYYPIN VALMISTUS	25
4.1 Muovinen pikamalli	25
4.2 Alumiininen pikamalli	26
5 RADIOSIGNAALITESTIT	28
6 LISÄSUUNNITTELU JA -TESTAUKSET	29
7 YHTEENVETO	30
LÄHTEET	32
LIITTEET	
Liite 1 IP-Luokitustaulukko	

SANASTO

CAD	Computer Aided Design, tietokoneavusteinen mallinnus
GPS	Global Positioning System, satelliittipaikannus
HR	Heart Rate, sydämen syke
IP-luokka	International tai ingress protection. kansainvälinen kotelointiluokitus

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on digitaalisen nopeusajastimen tuotekehitys. Nopeusajastinta käytetään hevosurheilussa harjoitusten ja kilpasuoritusten mittaamiseen. Tuote toimii ravihevosien ohjastajien työkaluna raviradoilla ja harjoittelussa. Sillä mitataan esimerkiksi vauhtia, kokonaisaikaa, kuljettua matkaa ja ravihevosen sykettä. Tuote käyttää mittaamiseen langattomia GPS- ja Bluetooth-tekniikoita. Tuotteen kuoren materiaalina on käytetty muovia, koska se on edullinen materiaali ja muovi läpäisee laitteen käyttämät radiosignaalit.

Työssä suunnitellaan ja valmistetaan metallikuorinen prototyyppi ajastimesta, jota käytetään radiosignaalien testauksissa. Kuori valmistetaan alumiinista koneistamalla tai 3D-tulostamalla. Työn tavoitteena on selvittää metallisen materiaalin vaikutus tuotteen toimintaan, rakenteeseen, ulkonäköön ja valmistuskustannuksiin. Metallisen prototyypin testauksilla tavoitteena on optimoida kuoren rakenne vaatimuksien mukaisiksi. Metallikuorisella nopeusajastimella pyritään laajentamaan yrityksen tuotevalikoimaa premium-kategorian vaihtoehdolla.

Työn toimeksiantajana on TimerGPS Europe Oy, joka on erikoistunut raviurheilun teknologiaan (1). Yrityksellä on 30 vuotta kokemusta erilaisista tuotekehitysprojekteista, -menetelmistä sekä tuotesuunnittelusta. Työssä hyödynnetään aiemmista kokemuksista kertynyttä tietoa ja sovelletaan parhaaksi todettuja menetelmiä. Osa työn toteutuksen yksityiskohdista on poistettu arkaluontoisuuden vuoksi.

2 TAUSTATIEDOT VALMISTUKSELLE JA TESTAUKSELLE

TimerGPS Europe Oy:n nopeusajastin on tuotenimeltään Timer GPS Plus2 (kuva 1). Nopeusajastin on kämmenen kokoinen laite, joka sisältää näytön, viisi nappia ja liittimen akun lataamista varten. Laitetta käytetään vasemmalla kädellä harjoitusten aikana nappien avulla. Raviohjastaja käyttää laitetta ravihevosen sykkeen tarkkailuun ja harjoitusten seurantaan sekä tallentamiseen. Harjoitusmuotoja ovat perus-, kisa-, rata- ja veto-harjoitus. Laitetta käytetään ulkona raviradoilla ja se voi altistua vedelle, lialle, pölylle ja iskuille. Se on suunniteltu ja valmistettu pöly- ja vesitiiviiksi. Nopeusajastimen kuoren materiaalina on käytetty muovia. (1.)



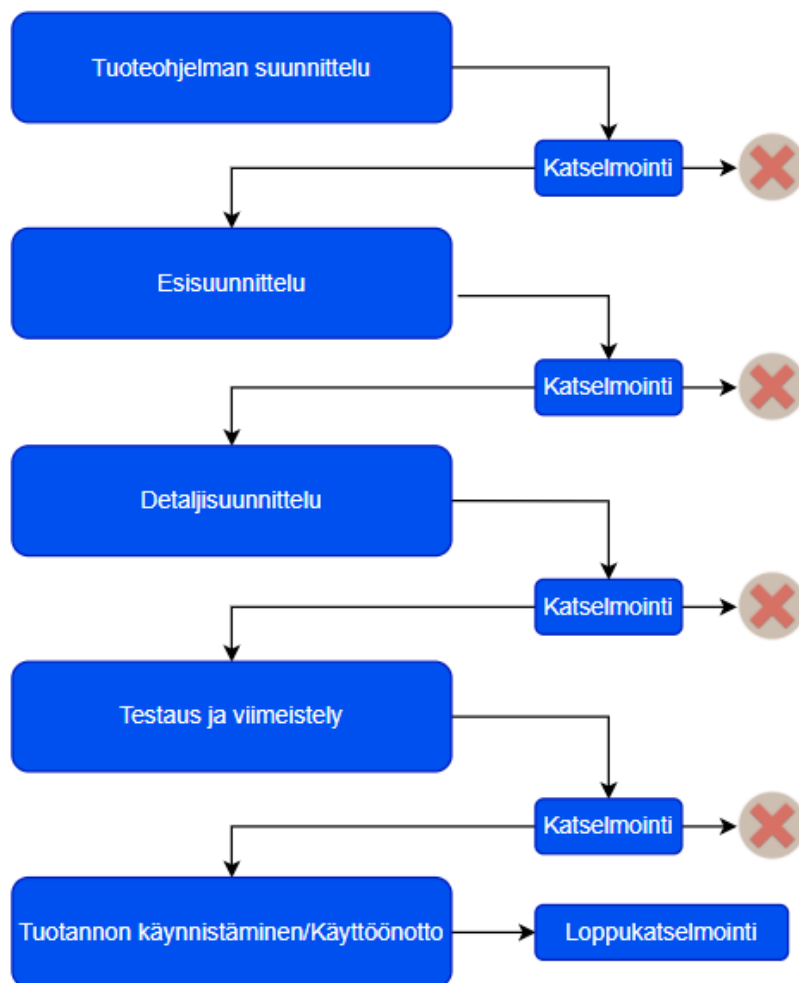
KUVA 1. TimerGPS Plus2 -laite (1)

Laite käsittelee kahta erilaista radiosignaalia. GPS-vastaanotin mittaa vauhtia, aikaa ja matkaa. Bluetooth-vastaanotin seuraa ravihevoseen puettun sykevyön tai käsin mittaamiseen tarkoitetun sykekahvan lähettämää signaalia. Signaalien toimintavarmuus on edellytys tuotteen käyttökelpoisuuden kannalta. Laitteeseen on sisäänrakennettu testaus- ja diagnostiikkatoimintoja, joilla elektroniikan toimivuutta on mahdollista varmentaa.

Tuotekehityksellä pyritään parantamaan laitteen kestävyydelle asetettuja vaatimuksia sekä vastaamaan aiempaa tehokkaammin markkinoiden kysyntään. Metallin materiaalina on lujuusominaisuuksiltaan parempi ja esteettisesti vetoavampi kuin muovi. Toisaalta metalli asettaa haasteita radiosignaalien toiminnallisuuksiin, suunnitteluprosessiin ja valmistuskustannuksiin.

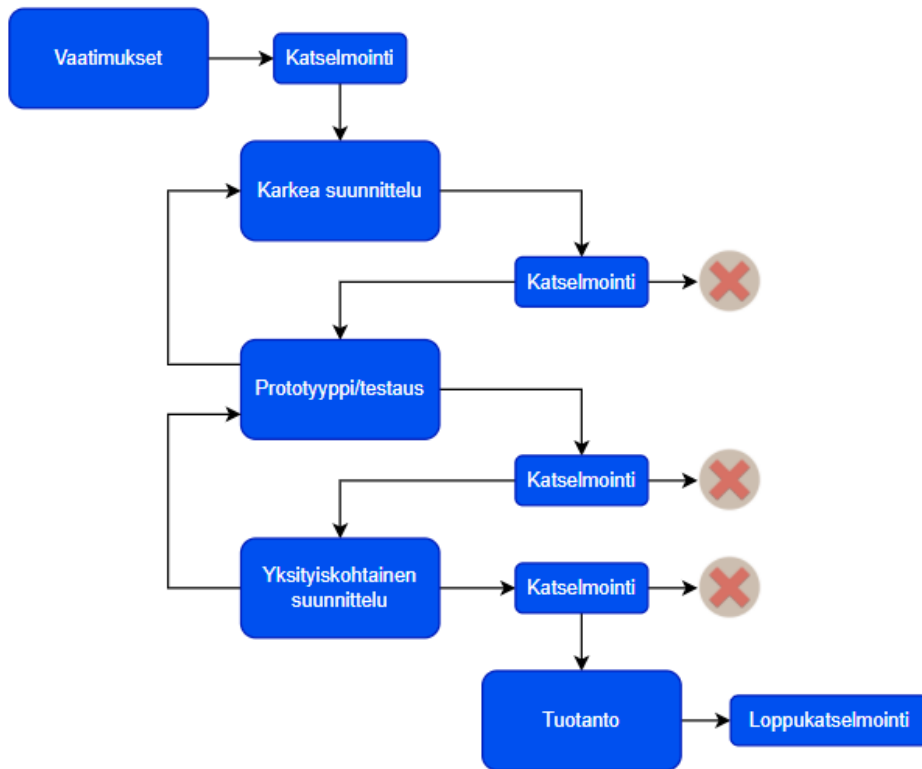
2.1 Tuotekehityksen periaatteet

Tässä työssä käytetään sovelletuin osin erilaisia tuotekehitysmenetelmiä. Tuotekehityksen syitä voivat olla esimerkiksi asiakkaan vaatimukset, laadun parantaminen tai kustannustehokkuus. Tuotekehitys on prosessi, johon sisältyy joukko toimintoja kuten asiakkaiden tarpeiden kartoitus, toisin sanoen markkinakartoitus, suunnitteluvaihe, valmistusvaihe ja testausmenetelmät. Tuotekehityksen kuvaamiseen käytetään yleensä kuvan 2 mukaisia vuokaavioita.



KUVA 2. Tuotekehitysprosessi

Prosessin toiminnot vaihtelevat tuotekehityksen kokoluokan, toteuttavan organisaation ja tavoitteiden mukaisesti, minkä vuoksi tuotekehitysprosessia sovelletaan. Tämän työn luonnetta paremmin kuvaava vuokaavio on kuvassa 3, joka on muokattu kuvan 2 pohjalta.



KUVA 3. Tuotekehitysprosessin sovellus

Prosessikuvauksen vaatimukset ovat lähtötietoja, jotka määrittyvät aikaisemmista tuotekehitysprojekteista, yleisestä empiirisesti hankitusta kokemuksesta ja asiakkaiden tarpeista. Karkea suunnittelu tehostaa suunnitteluprosessia siirtämällä sillä hetkellä tarpeettomat yksityiskohdat jatkoa varten. Karkea suunnittelu on laveampaa ja suurpiirteisempää. Tällä mahdollistetaan tehokkaampi eteneminen prototyypin valmistus- ja testausvaiheeseen. Yksityiskohtaisessa suunnittelussa tarkennetaan nimensä mukaisesti tuotteen jokainen yksityiskohta vaatimuksien mukaiseksi. Kukin suunnitteluvaihe kiertää testausvaiheen kautta niin monta kertaa, että asetetut vaatimukset ovat riittävällä tasolla. Tämän jälkeen suunniteltu tuote voidaan asettaa massatuotantoon ja markkinoille. Kunkin vaiheen jälkeen suoritetaan katselmointi, jossa tuotettu aineisto hyväksytään.

Onnistuneeseen tuotekehitykseen on esitetty avaintekijöitä kirjassa *Product Design and Development* (2, s. 2–3):

1. laatu
2. tuotantokustannukset
3. tuotekehitysaika
4. tuotekehityskustannukset

5. tuotekehityksen kyvykkyys.

Tämän työn tärkeimmät onnistumisen avaimet ovat laatu ja tuotantokustannukset. Laadulla varmistetaan tuotteen toimintavarmuus vaihtelevissa olosuhteissa kuten vesisaatteessa. Optimoidut tuotantokustannukset takaavat tuotteen kannattavuuden markkinoilla.

Tuotekehityksen haasteita ovat oikeat tekniset ratkaisut, yksittäiset rakenneosat, muutosten hallinta ja talous. Tuotteen rakenteen ja teknisten ratkaisujen, kuten antennien suunnauksien, kokoonpanojen yhteensovittaminen sekä optimointi voivat olla hyvin työläitä ja kalliita prosesseja. Tämän vuoksi tuotekehitys ei välttämättä ole aina kannattavaa liiketoiminnallisesta näkökulmasta. Tuotekehityksen on oltava joustavaa, jotta nopeasti tapahtuviin muutoksiin on helpompi reagoida, esimerkiksi vallitsevaan teknologian kehitykseen. Tuotteista pyritään luomaan esteettisesti vetovoimaisia ja samanaikaisesti edullisesti valmistettava. (3.)

Haasteet sisältävät yleensä kaksi tai useampaa seikkaa, jotka ovat ristiriidassa keskenään. Kompromissien avulla pyritään pääsemään riittävän lähelle toivottua lopputulosta. Tuotekehitystä voidaan tehdä myös liikaa. Tästä käytetään nimitystä ylilaatu, joka voi tarkoittaa sitä, että tuotekehityksen vaatimuksia ei olla ymmärretty tarpeeksi selkeästi tai niitä on tulkittu väärin. Silloin vaarana on, että tuotekehitykseen käytetään enemmän resursseja kuin todellisuudessa olisi tarpeen. (3.)

Tuotekehitys edistää luovuutta, vastaa yhteiskunnan ja yksilön tarpeisiin, kehittää osaamista ja tiivistää työyhteisöjä. Parhaat tuotekehitykset voivat olla elämää helpottavia innovaatioita ja hittituotteita, mutta heikomminkin menestyneet tuotekehitysprojektit eivät ole ajanhukkaa, vaan ne antavat arvokasta lisätietoa tuleville hankkeille.

2.2 Valmistustekniikat

Koneistus

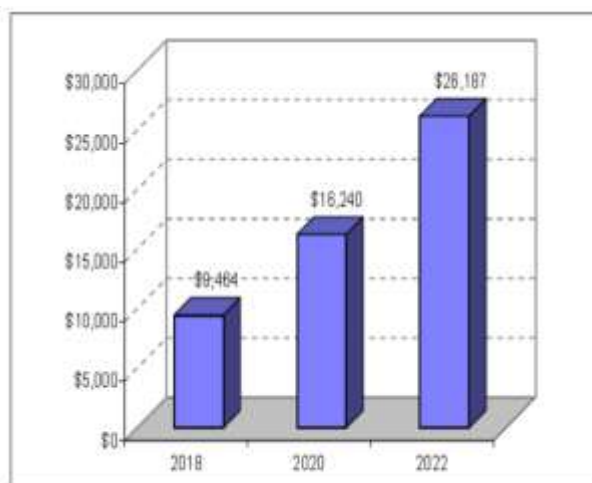
Lastuava työstö eli koneistus on yleisesti käytetty valmistusmenetelmä tuotantoteollisuudessa. Menetelmässä poistetaan materiaalia ahiosta lastuina, kunnes saavutetaan haluttu kappaleen muoto ja koko. Lastuavan työstön menetelmiä on useita, esimerkiksi sorvaus, jyrsintä, poraus, sahaus ja hionta. Koneistus soveltuu monille materiaaleille kuten muoville ja metallille. Lastun poistamisen edellytyksenä on, että poistettava materiaali on

pehmeämpää kuin käytössä oleva työkalu. Koneistus on kaksivaiheinen. Rouhintavaiheessa ahiosta poistetaan lastua tehokkaasti suuria ainemääriä. Viimeistelyllä koneistetaan halutut mitat, yksityiskohdat ja pinnan laatu. Koneistuksella voidaan saavuttaa suuri mittatarkkuus ja erilaisia pinnanlaatuja. (4.)

Koneistettavien kappaleiden suunnittelussa huomion arvoisia asioita on useita. Koneistus on suhteellisen kallis valmistusmenetelmä, varsinkin jos tuote on geometrialtaan monimutkainen. Koneiden, työkalujen ja kiinnittimien tuntemus on avaintekijä suunnittelijan työssä. Koneistuksessa ainetta on poistettava mahdollisimman vähän työvarat huomioiden, koska se vaikuttaa koneaikaan ja kustannuksiin. Työvaroja käytetään kappaleen viimeistelyyn ja vaaditun mittatarkkuuden saavuttamiseen. Kappaleen kiinnitysmahdollisuuksilla, kiinnitysten lukumäärällä, valmistettavan kappaleen monimuotoisuudella ja sarjan koolla voidaan vaikuttaa koneistamisen sujuvuuteen. Näiden tekijöiden lisäksi voidaan valita manuaalisen koneistuksen tai automatisoidun CNC-koneistuksen välillä. (3.)

3D-tulostus

Materiaalia lisäävä valmistustekniikka eli 3D-tulostus on voimakkaasti yleistynyt valmistustapa maailmalla (kuva 4). Suomessa sen yleistyminen on ollut hitaampaa muihin Euroopan maihin verrattuna, vaikka osa sen teknologiasta onkin suomalaista alkuperää. Teknologiaan liittyvä tutkimus ja koulutus on kuitenkin saanut vahvaa jalansijaa Suomessa. 3D-tulostusta voidaan käyttää muun muassa kunnossapitoteollisuudessa varaosapalveluihin tai uusien tuotteiden kehityksessä prototyyppien valmistamiseen. (5.)



3D-tulostusteollisuuden kasvuennuste, miljardia dollaria [B\$]

KUVA 4. 3D-tulostusteollisuuden markkina-arvo (6)

Toimintaperiaatteeltaan 3D-tulostus on koneistuksen vastakohta. Kappale tulostetaan tietokoneella luodun 3D-mallin avulla tyhjälle alustalle materiaalikerros kerrallaan. Kerroksien paksuudella voidaan vaikuttaa siihen, kuinka tarkka lopputulos halutaan saavuttaa. 3D-tulostusmenetelmävaihtoehtoja on tarjolla useita. Halutut ominaisuudet kuten mitatarkkuus, materiaaliominaisuudet ja mekaaniset ominaisuudet vaikuttavat käytettävään menetelmään. Menetelmävaihtoehdot voivat vaikuttaa myös valmistuksen nopeuteen, jälkikäsittelyyn ja kustannuksiin. Jokaisessa menetelmässä on kuitenkin etunsa. Valinnat tulisi tehdä aina tarpeiden ja sovelluskohteiden mukaan kustannustehokkuus huomioiden. (7, s. 5.)

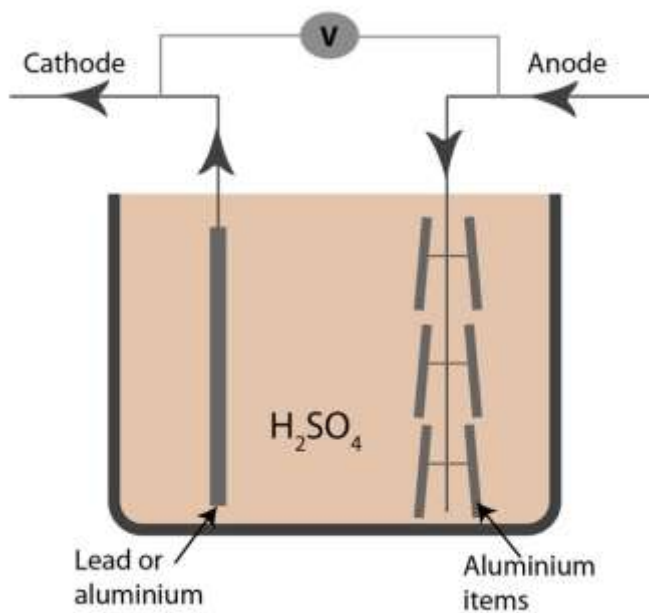
Materiaalia lisäävä valmistus tarjoaa monipuolisen, joustavan ja edullisen vaihtoehdon valmistamiselle. Teoriassa kappaleiden muodoille on vain mielikuvitus rajana. Tuotteen geometrian monimutkaisuudella ei ole vaikutusta kustannuksiin, vaan ne koostuvat lähinnä käytetystä koneajasta. Kokoonpanot voidaan yhdistää ja valmistaa kerralla. Niiden osien kokonaismäärää voidaan vähentää, mikä nopeuttaa koko prosessia. Tuotteiden suunnitteluun tämä tarjoaa enemmän vaihtoehtoja. Suunnittelussa ei ole tarvetta huomioida samalla tavalla valmistamisen rajoituksia kuten koneistuksessa. Suunnittelulla voidaan vastata paremmin vaatimuksiin, koska tuotteita voidaan räätälöidä ja optimoida entistä helpommin. (7, s. 24–25; 8.)

Metallin pintakäsittely

Pintakäsittely on materiaalin pinnan muokkaamiseen käytetty termi. Sillä pyritään suojaamaan alla olevaa materiaalia, parantamaan ulkonäköä, lisäämään käyttöikää ja luomaan lisäominaisuuksia. Väri, kiilto, kovuus, kulumiskestävyys ja sähkön johtavuus ovat eräitä ominaisuuksia, joihin pintakäsittelyllä voidaan vaikuttaa. Pintakäsittelymenetelminä käytetään esimerkiksi hiomista, maalausta ja kemiallisia menetelmiä kuten anodisointi sekä peittäus. Metallien pintakäsittelyssä korostuu korroosion ehkäiseminen. Metalleihin voidaan käyttää pinnoitteina esimerkiksi sinkitystä, anodisointia ja kromausta. (9.)

Esimerkkitapauksena voidaan käyttää alumiinin pintakäsittelyä anodisoimalla eli eloksoinnilla. Anodisointi käyttää sähkövirtaa ja elektrolyyttiliuosta muodostaakseen oksidikalvon alumiinisen kappaleen pinnalle (kuva 5). Oksidia esiintyy luonnollisesti alumiinissa ja anodisoinnilla sitä lisätään, jolloin kappaleen pinnan kestävyys paranee. Anodisoinnilla

voidaan vaikuttaa myös tuotteiden esteettisiin ominaisuuksiin kuten pinnan väriin. Oksidikalvoon paksuutta voidaan lisätä vaatimuksien mukaisesti. (10.)



KUVA 5. Anodisoinnin periaate (10)

2.3 IP-luokitukset

Nykyajan teknologian oletetaan suoriutuvan vaihtelevista olosuhteista. Tässä työssä käsiteltävä laite altistuu vaativille olosuhteilla. Kun kyseessä on sähköenergiaa käyttävä laite, pyritään se suojaamaan koteloinnilla ulkoisilta haitallisilta vaikutuksilta. Tätä varten on luotu IP-luokitus, joka auttaa ymmärtämään, mitä olosuhteita kukin laite kykenee sietämään. IP-luokitus jaetaan kahteen osaan: pölyltä ja vedeltä suojaus. Luokitusmerkin ensimmäinen numero kertoo, kuinka hyvin tuote on suojattu vieraita esineitä ja pölyä vastaan, kun perässä tuleva numero taas määrittää luokan kosteutta vastaan. Älypuhelin voi olla luokaltaan IP 68. Merkintä tarkoittaa sitä, että se kestää jatkuvaa upotusta vedessä määrättyssä syvyydessä. (11.)

Toinen numeroista voidaan korvata kirjaimella X, kuten IP X4 tai IP 4X. Tämä tarkoittaa, että kyseistä luokitusta ei ole määritelty tai sille ei aseteta vaatimuksia. Luokitukseen voidaan lisätä harvemmin käytettyjä vapaaehtoisesti kirjaimia. Merkintä IP X4AM tarkoittaa sitä, että sen vaaralliset osat on kosketussuojattu nyrkiltä sekä vesisuojaus on testattu laitteen ollessa käynnissä. (11.)

Standardi SFS-EN 60529 (12) määrittää vaatimukset IP-luokituksen testaamiseen ja sen merkintään. Testausta ja merkintää tarjotaan myös palveluna. IP-luokitusten määrittelyt on taulukoitu kattavammin liitteessä 1.

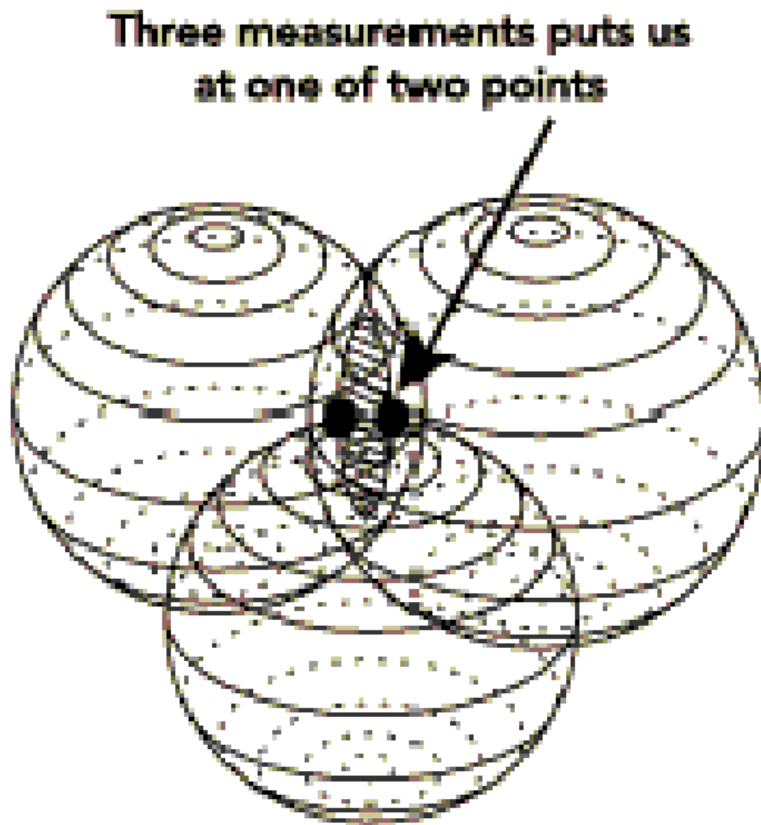
2.4 RF-tekniikka

Radiotekniikka on sähkötekniikan ala, joka käsittelee suurtaajuisia ilmiöitä ja viestintää radioaaltojen avulla (13). Radiotekniikan laitteiden komponentit voidaan jakaa karkeasti lähettäjiin ja vastaanottajiin. Komponentteja käytetään erilaisissa laitekokonaisuuksissa ja piirirakenteissa radiosignaalien käsittelyyn. Radiovastaanottimet käsittelevät valonnopeudella kulkevan sähkömagneettisen radiotaajuisen energian lopulta sellaiseksi tiedoksi, jota ihmisten aistit voivat helposti tulkita kuten ääni- tai kuvainformaatioksi. (14.)

GPS-paikannus

GPS-paikannusta, joka tunnetaan myös nimellä satelliittipaikannus, käytetään kohteiden paikantamiseen määrittämällä kohteen sijainti esimerkiksi karttapisteenä. Se on nykyisin hyvin yleinen paikannukseen käytetty tekniikka älypuhelimissa, aktiivisuusrannekeissa ja autonavigaattoreissa. Paikannustekniikkaa voidaan käyttää esimerkiksi nopeuden tai kierrosaikojen mittaamiseen urheilusuurituksien aikana. Satelliittipaikannus perustuu tarkkaan ajansiirtoon. (15.)

Satelliitit sisältävät atomikellon, jonka signaalia ne lähettävät maapallolle. Tämän signaalin ja vastaanottimen välinen aikaerotus voidaan muuntaa etäisyydeksi. Tarkkaan paikantamiseen tarvitaan neljän satelliitin lähettämää signaalia. Kolmea satelliittia käytetään muodostamaan kolmio, jolla saadaan paikoitettua sijainti maassa. Kolmiulotteiseen paikantamiseen tarvitaan neljäs sijaintitieto. Etäisyyksiä ei voi ajatella kaksiulotteisesti ympyröinä vaan ne täytyy kuvitella kolmiulotteisesti palloina kuten kuvassa 6. (16.)

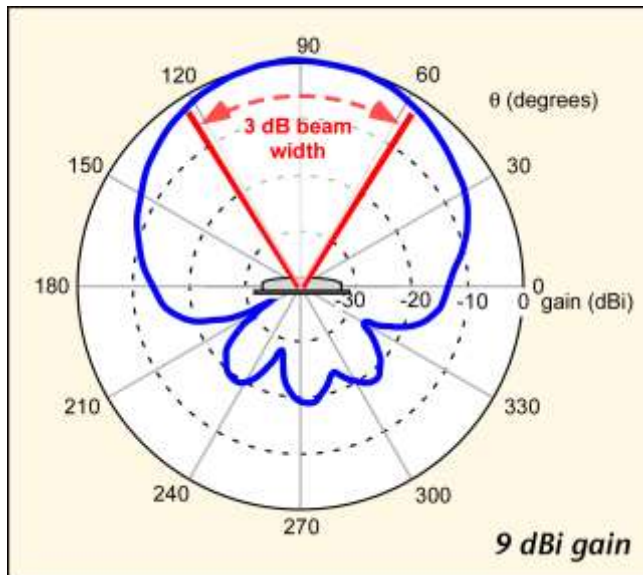


KUVA 6. Satelliittipaikannuksen periaatekuva (17)

Paikannuksen tarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä on useita. Signaalin vastaanottamisen edellytyksenä on suora yhteys taivaalle, ts. vastaanottimen ja satelliittien välinen näkyvyys on oltava esteetön. Signaalia voivat heikentää esimerkiksi puut, suuret rakennukset tai ilmakehän häiriöt. Satelliittijärjestelmän sisäiset virheet voivat olla satelliittien lähettämässä signaalissa, atomikellojen epäkunnossa tai satelliittien lentoratojen poikkeamisissa. Tyypillinen paikannustarkkuus tavallisissa kuluttajille suunnatuissa laitteissa on noin 5 metriä. (16.)

GPS-signaali on myös altis tahalliseksi tai tahattomalle ulkopuoliselle häirinnälle, kuten radioaallot tyypillisesti ovat. Maanmittauslaitoksen artikkelissa todetaan, että häirintälaitteita on mahdollista ostaa kuluttajana verkkokaupoista yksityisyyden suojan verukkeella. (15.)

Paikannukseen käytetyissä vastaanottimisissa on tyypillisesti antenni, joka vastaanottaa signaaleja eri suunnista. Kuvassa 7 esitetään poikkileikkaus antennista, josta voi nähdä sen signaalin toiminta-alueen, suunnat ja signaalin voimakkuuden.



KUVA 7. Poikkileikkaus antennin signaalin toiminta-alueesta (18)

Antenni on herkimmillään ylöspäin suuntautuvassa sektorissa, mutta se ottaa vastaan myös sivuilta ja jopa alhaalta päin tulevaa signaalia, kuten Markku Poutanen esittää (19, s. 253). Antennien valmistajat tekevät lähes poikkeuksesta tuotteistaan tekniset erittelyt, joista selviävät kunkin yksilöllisen antennin ominaisuudet, mukaan lukien signaalin toiminta-alue.

Bluetooth ja ANT+

Radiosignaalit toimivat erilaisilla lähettimen ja vastaanottimen välisillä etäisyyksillä. Kaksi lähietäisyydellä käytettävää tekniikkaa ovat bluetooth ja ANT+. Molemmat tekniikat toimivat luotettavasti noin 5 metriin saakka, vaikka signaali voi toimia pidemmälläkin etäisyyksillä olosuhteiden mukaan. Yleisesti tekniikat ovat ominaisuuksiltaan hyvin samankaltaisia. Ainoana merkittävänä erona on yhteyden muodostamisen periaate.

Bluetooth tarvitsee käyttäjän määrittelemän erillisen parittamisen laitteiden välillä, kun ANT+ tekee sen täysin automaattisesti. ANT+ muodostaa yhteyden nopeammin mitä lähempänä laitteet ovat toisistaan. ANT+ pystyy lähettämään dataa useille vastaanottolaitteille, kun taas bluetooth estää muiden laitteiden signaalin parittamisen jälkeen. Bluetooth-yhteys on vastavuoroisesti nopeampi, mikä mahdollistaa suurempien datamäärien sujuvamman lähettämisen. Molempia tekniikoita on rakennettu saman laitteen tai komponentin sisälle. Jää siis tekniikkaa käyttävän tahon tehtäväksi valita, kumpi vaihtoehtoista vastaa parhaiten vaatimuksia. (20.)

Faradayn häkki

Faradayn häkki on sähkötekniikassa käytetty termi. Häkkiä käytetään estämään sähkömagneettista säteilyä, jonka alkuperä voi olla laitteen ulko- tai sisäpuolella. Esimerkiksi television viritintä suojataan ulkopuolisella säteilyllä, kun taas mikroaaltouunin säteily eristetään sen sisäpuolelle. Metalli toimii hyvin sähkömagneettisen säteilyn torjumisessa, minkä takia se on häkissä yleisesti käytetty materiaali. Metallista tehty seinä tai kuori voi estää tehokkaasti esimerkiksi puhelimen lähettämiä radiosignaaleja. Häkin toiminta voidaan varmistaa siten, että häkki ympäröi suojattavaa laitetta koskematta siihen. Tämä voidaan toteuttaa eristävillä materiaaleilla kuten kumilla. (21.)

Vaikka häkkiä hyödynnetään usein suojaamiseen, voi sen käyttö olla tietyissä tapauksissa haitallista tai ei toivottua. Kun suunnitellaan laitteita, jotka käyttävät langattomia tekniikoita ja niiden rakenteissa on käytetty metalleja, on usein tarpeen vältellä häkin muodostumista. Tahattomia faradayn häkkeitä voi esiintyä esimerkiksi rakennuksissa, joissa puhelimella soittaminen ei ole mahdollista. Suunnittelussa häkin muodostumista voidaan mahdollisesti välttää varmistamalla radiosignaalin läpäisy materiaalivalinnoilla kuten muovilla, aukotuksilla ja komponenttien suuntauksilla. Tuotekehityksessä signaalien kattava testaus on perusteltua, kun laitteesta halutaan toimintavarma. (21.)

3 KOKOONPANON MEKAANIKKASUUNNITTELU

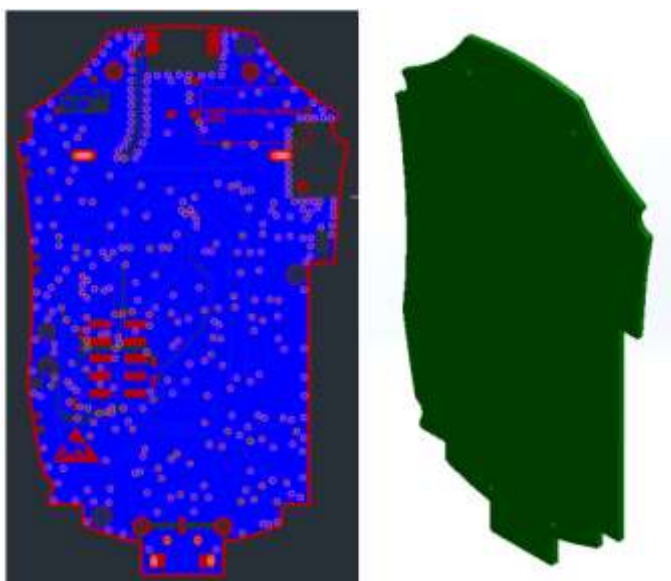
Työn aloituspalaverissa aihetta rajattiin ja tarkennettiin sekä sovittiin käytännöistä ja työskentelymenetelmistä. Suunnitteluvaiheen alussa järjestettiin kerran viikossa suunnittelu-palavereita, joissa seurattiin työn etenemistä, päätettiin teknisistä ratkaisuista sekä sovittiin tulevista tehtävistä.

Nopeusajastimen kokoonpanon mekaanisista komponenteista on käytettävissä 3D-mallit, joita on mahdollista hyödyntää mallintamisessa. Malleja ei voida muokata sellaisenaan Solidworks-ohjelmistolla, vaan ne toimivat ohjaavina elementteinä kokoonpanon mallintamisessa. Tällaisia malleja kutsutaan referenssimalleiksi.

3.1 Piirilevy

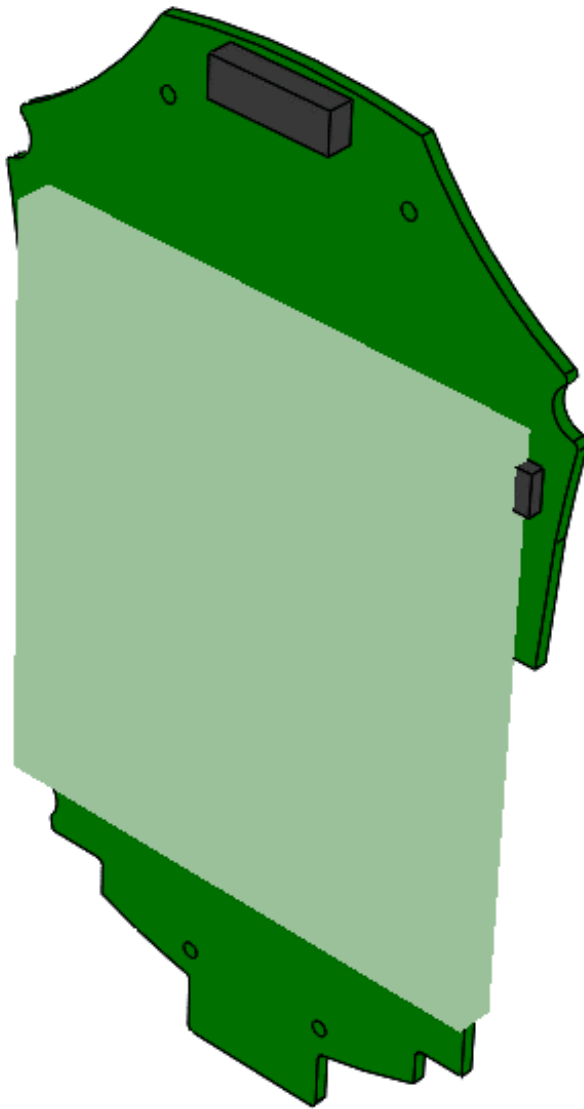
Mallinnustyö aloitettiin piirilevyn mallintamisessa, sillä piirilevystä ei ollut olemassa valmista 3D-mallia. Oleellisesti kuoren mekaniikkasuunnitteluun vaikuttavat piirilevyn komponentit ovat GPS- ja HR-antenni, näyttöpaneeli, näppäimet ja mikro-USB-portti. Pohjana piirilevyn mallintamiselle käytettiin yrityksen 2D-piirustuksia.

2D-malli muokattiin ensin tuomalla se AutoCad-ohjelmistoon ennen kuin se tuotiin Solidworksiin, jossa sen ääriviivoja muokattiin uudestaan ennen paksuuden lisäämistä. Piirilevystä poistettiin runsaasti tässä työssä tarpeettomia yksityiskohtia (kuva 8).



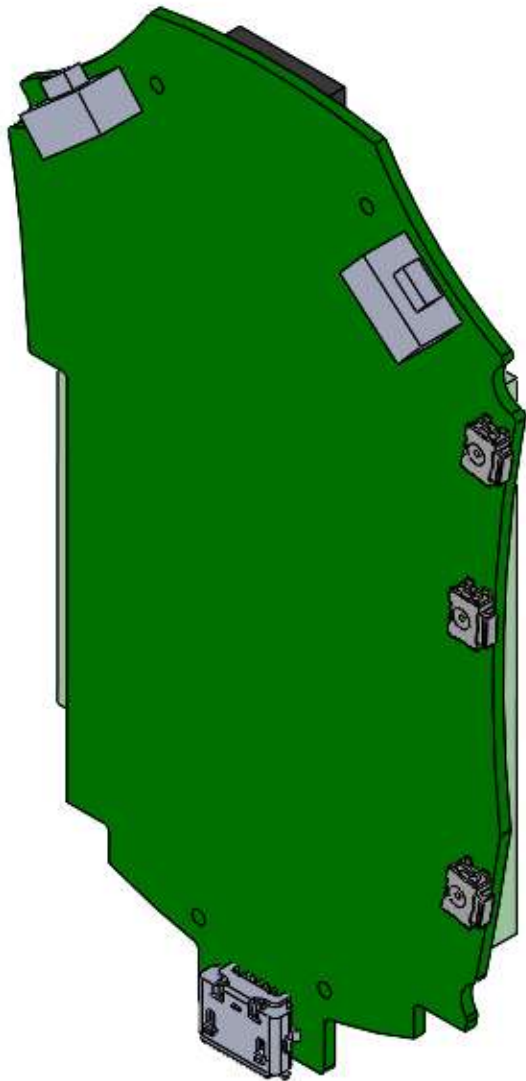
KUVA 8. Piirilevyn runkolevy

Piirilevyn elektronisien komponenttien kiinnityspisteet jätettiin referenssimalliin autta-
maan kokoonpanoon tulevien komponenttien paikoitusta. GPS- ja HR-antennit ovat geo-
metrialtaan suunnikkaita. Niiden mallinnus oli suoraviivaista: tarkastetaan komponenttien
teknisistä tiedoista ulkomitat ja paikoitus piirilevyyn. Näyttöpaneeli on vastaavasti suun-
nikas ja siten yksinkertainen mallintaa (kuva 9).



KUVA 9. GPS-, HR-antenni ja näyttö etupuolella

Piirilevyn takapuolelle mallinnettiin jäljelle jääneet komponentit: mikro-USB-portti ja näp-
päimet. Komponenteista oli saatavana valmiit 3D-tiedostot valmistajien sivuilla pois lukien
yläpuoliset napit. Napeista tehtiin yksinkertaistettu malli ulkomittojen mukaan (kuva 10).

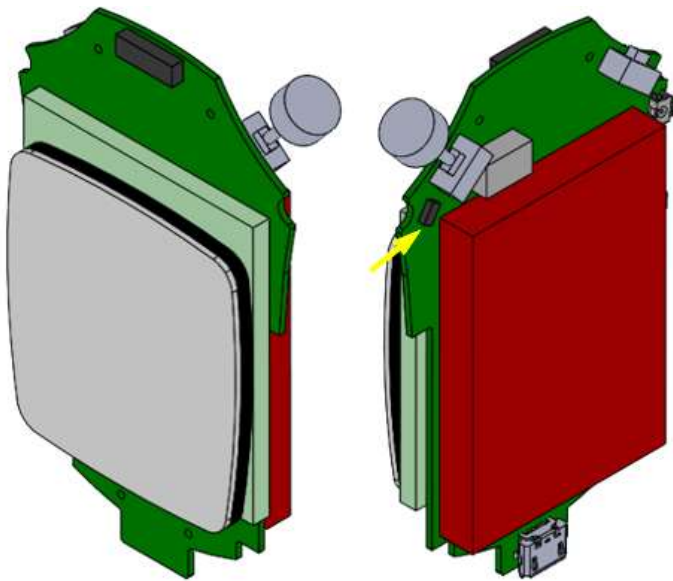


KUVA 10. Piirilevyn takaosa, painikkeet ja USB-portti

Toisen suunnittelupalaverin jälkeen piirilevyn malliin sovittiin lisättäväksi

- akku ja akkuliitin
- näytön linssi ja tiiviste
- näppäinmoduulien painikkeet
- mikro-USB-johdon malli liittimen sovitusta varten.

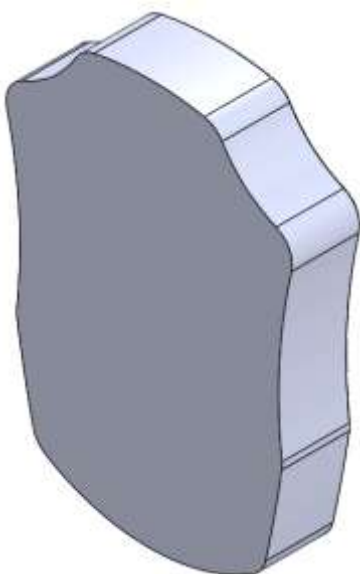
Komponentit toimivat ohjaavina elementteinä ajastimen kuoren mekaanisessa suunnittelussa. Katselmoinnin aikana huomattiin, että HR-antenni on väärällä puolella. HR-antennin korjattu sijainti piirilevyllä on osoitettu keltaisella nuolella kuvassa 11. Samassa kuvassa näkyy myös muita lisättyjä komponentteja kuten akku ja akun liitin, linssi sekä näppäimen painikeosa.



KUVA 11. HR-antennin sijainti

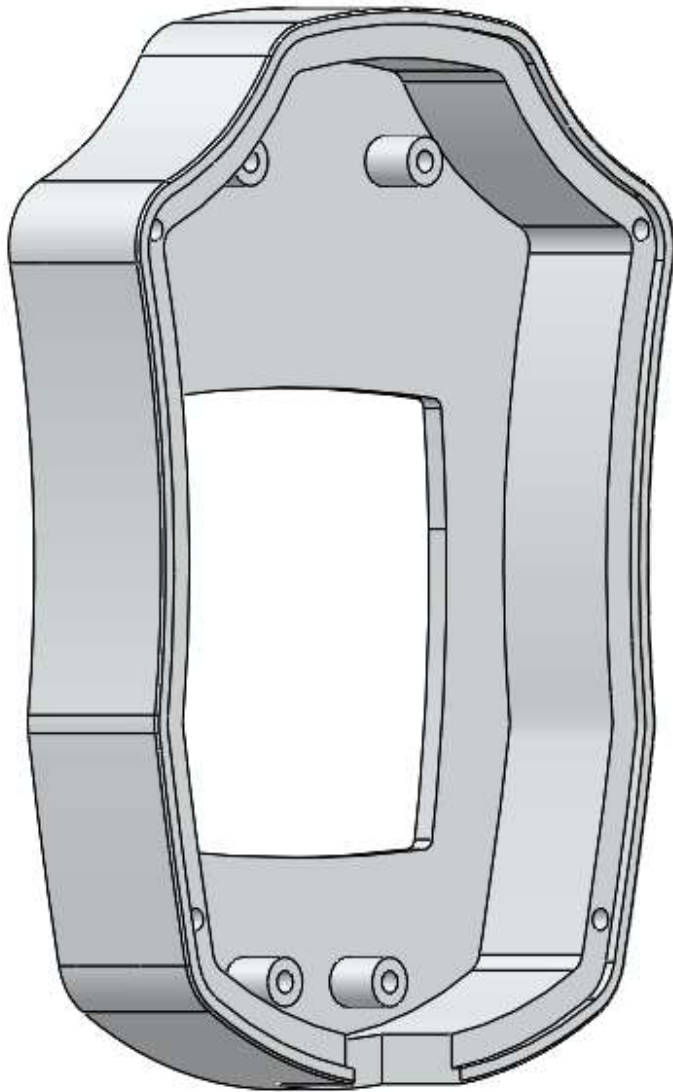
3.2 Kuoret

Kuoren mallintamisessa ohjaavina elementteinä toimivat aikaisempi muovinen malli sekä aiemmassa vaiheessa mallinnettu piirilevy. Kuoren ulkomuodon piirteet kopioitiin alkupe-
räisen tuotteen mukaisesti. Tässä työssä kotelorakenne muodostuu kahdesta osasta: näytöllinen A-kuori, joka on etupuo-
lella, ja B-kuori, joka sulkee rakenteen takana. A-kuo-
resta toteutetaan aluksi karkea versio, jotta toiminnallisuuksien testaaminen voidaan suo-
rittaa niin pian kuin mahdollista.



KUVA 12. A-kuoren aihio

Kuoreen mallinnettiin aukko näytölle ja mikro-USB liittimelle sekä ruuvikiinnityskohdat piirilevylle. B-kuorta varten A-kuoreen mallinnettiin upotus ja ruuvikiinnitykset. A-kuoren taakasan ulkoreunaan jäävä uloke sulkee B-kuoren sisäänsä. A-kuoren sisäpuolella olevat ruuvitornit, jotka ovat tarkoitettu piirilevyn paikoittamiseen ja kiinnittämiseen esitetään kuvassa 13.



KUVA 13. A-kuoren sisäpuoli

Mallinnettu kappale katselmoitiin seuraavassa suunnittelupalaverissa, jossa kerättiin korjattavat kohdat. B-kuoren kiinnitystä tarkennettiin. Näppäinten toiminnallisuutta varten A-kuoreen suunniteltiin reiät. GPS-, HR- antennoja ja mikro-USB:ta varten kuoreen suunniteltiin aukotukset. Aukkoihin mallinnettiin suojapalat, joiden materiaaliksi valittiin joustava muovi (kuva 14).



KUVA 14. Ensimmäisen prototyypin malli

GPS-aukon suojaan suunniteltiin huulokset siten, että se voidaan painaa sisäpuolelta kiinni. HR-aukon suoja suunniteltiin sopimaan sitä varten tehtyyn aukkoon. Sen kiinnityksen mekaniikkaan ei paneuduttu tarkemmin, koska tavoitteena on saada HR-signaali testattua. Mikro-USB-aukon suoja painetaan ulkopuolelta kiinni, sen jälkeen, kun piirilevy on kiinnitetty. Yksityiskohtaiseen suunnitteluun siirryttäisiin prototyypin testauksien jälkeen.

Malliin tehtiin lopuksi pyöristyksiä ulkoreunoille molemmille puolille. Tällä poistettiin tarpeettomia teräviä reunoja ja parannettiin kuoren ulkomuotoa. Tässä vaiheessa valmistusmenetelmien rajoitukset jätettiin tarkoituksella huomiotta, jotta työ etenisi seuraavaan vaiheeseen. Kuoren sisäpuolisten terävien reunojen pyöristys tullaan kuitenkin toteuttamaan myöhemmin niin, että se tukee valittavaa valmistusmenetelmää. Malli hyväksyttiin katselmoinnissa ja siitä luotiin tarjouspyyntömateriaalit.

4 PROTOTYYPIN VALMISTUS

Karkean suunnittelutyön jälkeen 3D-malleista valmistettiin pikamallit (kuva 15). Kokoonpanon mallista lähetettiin tarjouspyyntö 3D-tulostusta tekevälle yritykselle. Tarjouksesta käytiin kirjeenvaihtoa sähköpostitse, minkä jälkeen tarjous hyväksyttiin. Pikamallit valmistettiin muovista 3D-tulostamalla. Lisäävä valmistus tarjoaa lähes rajattomat mahdollisuudet geometrialla ja muodoille, eikä ainakaan yksittäisten erien kustannus ole kovin korkea.



KUVA 15. Ensimmäinen pikamalli

4.1 Muovinen pikamalli

Pikamallin rakennetta testattiin TimerGPS Oy:n toimitiloissa asentamalla kokoonpano, johon sisältyi piirilevykokonaisuus. Testauksen tuloksena kerättiin seuraavia havaintoja:

- Näyttöaluetta on mahdollista kasvattaa.
- Piirilevy törmää A-kuoreen HR-antennin puolella.
- Kuorien väliin tuleva tiivisteura ei tule sopimaan tähän versioon.
- B-kuori ei kiinnity paikalleen kuoren vähäisen paksuuden vuoksi.
- Antennien tulppien ja mikro-USB:n suojan välykset ovat riittäviä.

Testauksen tuloksia käytettiin suunnitelmissa 3D-mallin revisiointiin. A-kuoreen lisättiin paksuutta 1 mm tiivisteuran sovittamiseksi sekä upotus tarran kiinnitykseen. B-kuoreen

tehtiin akkua varten upotus. Näytön näkymäalueen koko pidettiin ennallaan. Piirilevyn ja takakannen ruuvikiinnityksiin ei tehty muutoksia.

4.2 Alumiininen pikamalli

Kokoonpanosta tilattiin seuraava pikamalli samalta toimittajalta kuin aiemmin. Alumiinisen pikamallin tarkoituksena on testata rakenteen lisäksi radiosignaaleja ja faradayn häkin käyttäytymistä ilmiönä. A- ja B-kuori valmistettiin alumiinista ja loput kokoonpanon osat joustavasta muovista. Kokoonpano asennettiin samalla tavalla kuten aiempi muovinen pikamalli. Näytön linssi ja akku liimattiin kaksipuolisella teipillä kuoriin.

Joustavat vaalean väriset muoviosat, jotka peittävät GPS-antennin ja mikro-USB-liittimen, kiinnittyivät painamalla. Piirilevy ja takakansi kiinnitettiin poraruuveilla. Kuoriosia ei ole pintakäsitlety, minkä vuoksi kappaleiden viimeistely näyttää keskeneräiseltä. Kuvasta 16 voidaan silti päätellä millainen vaikutus pintakäsittelyllä olisi kuoren ulkonäköön. Raepuhalluksella voidaan esimerkiksi muuttaa pinnan karheutta ja anodisoinnilla materiaalin väriä.



KUVA 16. Alumiiniset kuoret

Piirilevyn asemointi, tiivisteura ja antennien sijainnit ovat kuvassa 17. Tiivisteura on kuoren sisäpinnan ja ruuvikiinnitysten välissä ja se on mitoitettu käytettävissä olevan tiiviste-

profiilin mukaisesti. Tiivisteprofiili on joustavaa materiaalia. Tiivisteellä pyritään suojaamaan laitetta IP-luokituksen periaatteita noudattaen. Tiivistämisen toteuttaminen ja liittyvät muutokset toteutetaan yksityiskohtaisessa suunnittelussa testien jälkeen.



KUVA 17. Piirilevyn asemointi a-kuoreen

Metallikuorisen kokoonpanon asennusvaiheessa huomattiin useita kehityskohteita. Näyttöpaneelin ja linssin välinen tila jää väljäksi, eikä piirilevyn kiristys purista linssiä tarpeeksi A-kuorta vasten. Takakannen kiinnitykseen tarkoitetut neljä ruuvia eivät ole riittävät, vaan niitä täytyy lisätä 2–4 kappaletta. Tällä saavutetaan jäykempi kiinnitys ja parempi vesi-tiiveys. Väliaikaiseen kiinnitykseen tarkoitetut puuruuvit tulee korvata esimerkiksi M-kierteisillä ruuveilla. Ruuvivalintaan vaikuttaa ruuvin kannan koko, koska sillä on vaikutus B-kuoreen ja siihen tulevien reikien profiilin muotoon.

5 RADIOSIGNAALITESTIT

Radiosignaalien testausvaiheen välineinä käytettiin

- metallista prototyyppiä
- alkuperäistä nopeusajastinta kontrollitestinä
- syketesteriä ja sykellähetintä.

GPS-signaali testattiin käyttämällä laitteen sisäisiä testaus- ja diagnostiikkatoimintoja. Testausolosuhteet pyrittiin pitämään samana. Laite etsii GPS-testin aikana satelliitteja. Testi on hyväksytty, jos satelliittiyhteyksiä löytyy riittävästi.

GPS-testi toimi odotetusti muovista valmistetulla laitteella. Metallinen prototyyppi ei kuitenkaan löytänyt testin aikana satelliitteja. Vakaata yhteyttä ei saatu luotua myöskään harjoituksen aloittamiseen. Sykeantenni testattiin syketesterin ja -lähettimen avulla. Testeri simuloi sydämen sykkeen tuottamia sähköimpulsseja. Metallikuorinen prototyyppi asetettiin vastaanottamaan sykesignaalia. Testausetäisyyksinä käytettiin 1–20 metriä. Signaalia testattiin suoralla näköyhteydelle ja käyttämällä rakenteellisia esteitä, kuten rakennuksen ovea tai seinää. Sykellähetin antaa merkkiään 20 sekunnin päästä signaalin menettämisen jälkeen.

Epäilyksistä huolimatta metallinen prototyyppi sai luotua yhteyden lähes välittömästi sykellähettimen kanssa. Yhteys ei katkennut missään vaiheessa testin aikana. Laitteen käytöasennolla, etäisyysvaihteluilla tai esteillä ei ollut vaikutusta signaalin toimintaan. Sykkeen testauksen lopputulos oli samaan aikaan yllättävä ja tyhjentävä.

GPS-signaalia testattiin uudestaan muuttamalla laitteen kokoonpanoa lähes jokaista testiä varten. Tulokset vaihtelivat kokoonpanojen mukaisesti. Testauksilla saatiin poissuljettua toiminnallisia häiriötekijöitä ja niitä tehtiin niin monta kuin oli tarpeen. Joidenkin testien välissä tehtiin kontrollitestejä. Lopuksi osia muokattiin fyysisesti testejä varten esimerkiksi poistamalla niistä materiaalia. Testauksilla saatiin kerättyä riittävästi informaatiota seuraava vaihetta varten. Tulokset tallennettiin ja arkistoitiin.

Testien tulokset olivat vaihtelevia ja mielenkiintoisia. Tuloksien perusteella voidaan todeta, että kokoonpanon osia on suunniteltava uudestaan ja kokoonpanon osien vaikutus toisiinsa on merkittävä.

6 LISÄSUUNNITTELU JA -TESTAUKSET

Testien perusteella kehitystyölle saatiin selkeät suuntaviivat etenemistä varten. Tuotekehitystä jatketaan karkealla suunnittelulla. Jokaiseen kuorirakenteen osaan tullaan tekemään lisäsuunnittelua sekä muutoksia testauksien perusteella. Suunnittelun jälkeen osista tilataan seuraavat pikamallit, joilla tehdään lisätestejä ja tutkitaan muun muassa faradayn häkin toteutumista. Edellytys projektin onnistumiselle on edelleen radiosignaalin toimivuus.

Kun GPS-signaalin toimivuus on todennettu riittäväksi testauksilla, voidaan siirtyä yksityiskohtaiseen suunnitteluun. Tässä vaiheessa suunnitellaan kotelon rakenne vesitiiviiksi IP-luokitusten mukaisesti sekä tarkennetaan kuorirakenteen ulkonäköä ja muotoilua. Tuotteeseen valitaan käytettävä valmistus- sekä pintakäsittelymenetelmät ja suunnitelmiin lisätään niiden vaatimat muutokset. Tämän jälkeen tuotetta voidaan vielä testata kenttäolosuhteissa. Mikäli tuotekehitys etenee suunnitellusti, tuote päättyy lopulta tuotantoon.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä suunniteltiin, valmistettiin ja testattiin nopeusajastimen metallikuorinen prototyyppi. Tavoitteena oli tutkia metallisen materiaalin soveltuvuutta alun perin muovista valmistetussa laitteessa, jossa käytetään radiosignaaleja. Metallisella materiaalilla haluttiin myös parantaa laitteen kestävyyttä ja ulkonäköä. Testien perusteella tuotekehityksen jatkumiselle on selkeät edellytykset, ja metallia voidaan hyödyntää kuoren materiaalina, kun hyväksytään, että suunnittelukompromisseja voidaan joutua tekemään. Vaakalaudalla on laitteen käytettävyys ja sen kestoikä. Laitteen ulkonäöllä ei kuitenkaan ole merkitystä, jos se rikkoontuu ensimmäisestä vesipisarasta.

Alumiini materiaalina on hyvä valinta sen keveyden, edullisuuden ja korroosion kestävyysden vuoksi. Metallia aiheuttaa kuitenkin sähkömagneettisia häiriöitä. Ne pitäisi pystyä kiertämään suunnittelupöydällä. Toivoisin, että jossain vaiheessa tulisi tilaisuus tutkia myös vaihtoehtoisia materiaaleja kuten keramiikka. Keramiikan etuna on sen radiosignaalien läpäisevyys. Mielestäni keraamisella materiaalilla voidaan päästä lähes saman kaltaisiin ominaisuuksiin kuten metallissa. Toisaalta sen valmistaminen voi olla monta kertaa kalliimpaa alumiiniin tai muoviin verrattuna.

Karkean suunnitteluvaiheen aikana järjestettiin suunnittelupalavereita säännöllisesti, yleensä kerran 1–2 viikon välein. Niissä katselmoitiin tehty työ, päätettiin teknisistä ratkaisuksista ja sovittiin seuraavat tehtävät. Suunnittelutyö oli erittäin mielenkiintoista ja paikoin haastavaa. Haasteet toivat työhön motivaatiota ja intoa. Näin pienessä mittakavassa toimiminen oli uusi kokemus aiemmasta työkokemuksesta huolimatta. Oivalluksia on tapahtunut joka kerta, kun työ eteni. Innostus aiheutti välillä agendasta poikkeamista, mutta parhaat tulokset syntyvätkin hyvän ideointiprosessin kautta.

Mallinnustyö vaati yllättävän paljon tarkkuutta, vaikka koen olevani hyvin tarkka ja keskittymiskykyinen. Suunnittelupalaverit toivat selkeyttä ja päämäärää työn tekemiselle. Keskustelut olivat antoisia niin teknisesti kuin motivoitumisenkin kannalta. Mieltä askarruttaviin asioihin sai vastauksia, ja tehdystä työstä annettiin hyvää rakentavaa palautetta. Mallinnusteknisesti ajatellen 3D-mallin rakentamisessa kannattaa kiinnittää huomiota piirrepuun rakenteeseen ja sen keskinäisiä vaikutussuhteita. Sen huomaa parhaiten, kun mal-

liin tehdään muutoksia piirrepuun alussa suunniteltuihin piirteisiin. Pahimmassa tapaukset kaikki mallin piirteet joudutaan muokkaamaan uudestaan. Mallinnustaitoja voi kehittää mallinnussuunnitelman hahmottelussakin.

Pikamallien valmistaminen alihankintana oli sujuvaa. Suomessa on tarjolla erittäin osaa-
vaa palvelua, mitä tulee esimerkiksi 3D-tulostukseen. Tarjoukset oli osaavasti rakennettu ja monesti riitti, että tarjouspyyntömateriaalin liitteenä on kappaleiden 3D-mallit. Toimitus-
ajat ovat yleensä tulostettavissa malleissa lyhyitä, jopa 2 päivää. Joitakin katkoksia voi
kuitenkin esiintyä erinäisistä syistä. Tämän työn aikana sattui yksi toimituskatkos, joka
hieman hidasti hyvin kerättyä tekemisen momenttia. Tästä kuitenkin palaututtiin entistä
ehompana.

Metallista tulostettu pikamalli palveli hyvin sen käyttötarkoitusta. Sen laadullinen rakenne
ei ollut aivan riittävä, mutta uskon, että pintakäsittelyllä voidaan saada hyvä viimeistely
kappaleille. Kappaleessa oli joitakin poikkeamia, jotka ei vaikuttaneet kuitenkaan työhön.
Suunnittelulla voidaan näitäkin poikkeamia estää.

Projektin suurin haaste oli ajastimen alumiinikuoren ja radiosignaalien toiminnan varmis-
tus. Testaukset olivat onneksi kattavat, ja niiden avulla saatiin merkittävää lisätietoa ete-
nemisen suhteen. Mikä parasta, etenemisen vaihtoehtoja tuli useita. Testien avulla saa-
tiin haarukoitua ja poissuljettua ongelmakohtia.

Jatkossa suunnittelussa joudutaan tekemään kompromisseja esimerkiksi ulkonäköön.
Toisaalta suunnittelua ohjaavat kustannustehokkuus, valmistettavuus, asennettavuus,
käytettävyys. Suunnittelupöydälle tuodaan asteittain aiempaa yksityiskohtaisempaa
suunnittelua, jossa tarkennetaan rakenteellisia ominaisuuksia kuten vesitiiveys. Seuraa-
vana vaiheena todennäköisesti on valmistaa seuraava pikamalli, jolla voidaan varmentaa
radiosignaalien toiminta toistamiseen.

Vaikka työssä ei päästy aivan sinne, minne oli tarkoitus, on koko projekti ollut erittäin
antoisa ja tiivis tietopaketti. Työtä on helppo jatkaa tähän asti rakennetun aineiston avulla.
Uskon ja toivonkin, että yhteistyö jatkuu vastaisuudessakin. Työtä vielä riittää. Olen
varma siitä, mikäli työ etenee odotetusti, lopputuloksena on oiva lisä jo laadukkaaseen
tuoteperheeseen.

LÄHTEET

1. Hevosurheiluun kehitetyt valmennustuotteet. 2021. TimerGPS. Saatavissa: <https://ti-mergps.com/> . Hakupäivä 12.1.2021.
2. Eppinger, D. Steven – Ulrich, T. Karl 2003. Product design and development. Third edition. Singapore: McGraw-Hill/Irwin.
3. Kontio, Esa 2019. TK00BP67-3002 Tuotekehitystoiminta 10 op. Systemaattisen tuotekehityksen luennot syksyllä 2019. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
4. Lastuavat työtömenetelmät. Valmistajat.fi. Saatavissa: <https://valmistajat.fi/menetel-mat/lastuavat-tyostomenetelmat/>. Hakupäivä 10.2.2021.
5. Lindqvist, Markku 2017. 3D-tulostaminen yleistyy, mutta hitaasti Suomessa. Promaint. Saatavissa: <https://promaintlehti.fi/Laite-ja-korjaustekniikat/3D-tulostaminen-yleistyy-mutta-hitaasti-Suomessa>. Hakupäivä 5.1.2021.
6. Puukko, Pasi 2018. Lisäävä valmistus & 3D-tulostus. VTT. Saatavissa: <https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/JulkaisuMetatieto/Documents/EDK-2018-AK-186356.pdf>. Hakupäivä 6.1.2021.
7. Bruun, Markus – Hokkanen, Mikko 2016. Materiaalia lisäävä valmistus. D: Vapaamuotoisia julkaisuja – Free-From Publications 84. Mikkeli: Mikkelin ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/121718>. Hakupäivä 6.1.2021.
8. Hauge, Richard – Mansour, Saeed – Saleh, Naguib 2003. Design opportunities with rapid manufacturing. Assembly Automation vol 23, nro 4. S. 346–356.
9. Erilaisia pintakäsittelyjä. Valmistajat.fi. Saatavissa: <https://valmistajat.fi/menetel-mat/pintakasittely/erilaisia-pintakasittelyja/>. Hakupäivä 10.2.2021.
10. Anodisointi. Alumeco. Saatavissa: <https://www.alumeco.fi/asiantuntemus-ja-tek-niikka/pintakaesittely/anodisointi#>. Hakupäivä 11.2.2021.

11. IP-luokitus. 2020. Stek. Saatavissa: <https://stek.fi/perustietoa-sahkosta/sahkojarjestelmat/ip-luokitus/>. Hakupäivä 25.11.2020.
12. SFS-EN 60529:1992. 2013. Sähkölaitteiden kotelointiluokat (IP-koodi). Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.
13. Radiotekniikka. 2015. Wikipedia. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Radiotekniikka>. Hakupäivä 15.2.2021.
14. Radiotekniikka. 2010. URSA. Saatavissa: <https://www.ursa.fi/wiki/Radioastronomia/Radiotekniikka>. Hakupäivä 15.2.2021.
15. Satelliittipaikannus. Maanmittauslaitos. Saatavissa: <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/satelliittipaikannus>. Hakupäivä 5.10.2020.
16. Miten GPS toimii. 2017. Geokätköt.fi. Saatavissa: <https://xn--geoktk-8wa8n.fi/2017/02/miten-gps-toimii/>. Hakupäivä 5.10.2020.
17. Nurro, Janne. GPS – Global positioning system. Saatavissa: <http://www.oamk.fi/~timohei/TL522Z/tilthari/gps.html>. Hakupäivä 5.10.2020.
18. Antennas. 2014. ESA navipedia. Saatavissa: <https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Antennas>. Hakupäivä 4.11.2020.
19. Poutanen, Markku 2016. Satelliittipaikannus. Helsinki: Tähtitieteellinen yhdistys URSA.
20. Crandall, Tom 2018. Bluetooth smart vs ANT+ devices. Gear smashers. Saatavissa: <https://gearmashers.com/bluetooth-smart-vs-ant-devices/>. Hakupäivä 16.2.2021
21. Elektronikkari 2018. Faradayn häkki. Saatavissa: <https://elektronikkari.vuodatus.net/lue/2018/07/faradayn-hakki>. Hakupäivä 16.2.2021.

KIINTEÄT ESINEET JA PÖLY	VESI JA KOSTEUS
1: Suojaus suuria kappaleita vastaan, halkaisija yli 50 mm	1: Suojaus pystysuoraan tippuvalta vedeltä
2: Suojaus keskikokoisia kappaleita vastaan, halkaisija yli 12,5 mm	2: Suojaus pystysuoraan tai 15 asteen kulmasta tippuvalta vedeltä
3: Suojaus pieniä kappaleita vastaan, halkaisija yli 2,5 mm	3: Suojaus satavalta vedeltä (tulokulma +/- 60 astetta), ns. sateenkestävä
4: Suojaus erittäin pieniä kappaleita vastaan, halkaisija yli 1,0 mm	4: Suojaus vesiroiskeilta
5: Pölysuojattu. Jos pölyä pääsee laitteen sisään, se ei vaikuta laitteen toimintaan.	5: Suojaus joka suunnasta tulevalta vesisuihkulta
6: Täydellinen suojaus. Pölytiivis.	6: Suojaus joka suunnasta tulevalta voimakkaalta vesisuihkulta
	7: Kestää lyhytaikaisen (max 30 min) upotuksen veteen.
	8: Kestää jatkuvan upotuksen veteen (yli 30 min yli 1 metrin syvyydessä). Valmistaja määrittää tarkat olosuhteet jokaiselle laitteelle.

lähde:

Opas: Mitä IP-luokitus tarkoittaa. 2021. Gigantti. Saatavissa: <https://www.gigantti.fi/cms/ip-luokitus/opas-mita-ip-luokitus-tarkoittaa/>. Hakupäivä 12.1.2021.