



Juho Saavalainen

## **UINNINMITTAUSJÄRJESTELMÄN KOTELOINNIN SUUNNITTELU, TOTEUTUS JA TESTAUS**

# **UINNINMITTAUSJÄRJESTELMÄN KOTELOINNIN SUUNNITTELU, TOTEUTUS JA TESTAUS**

Juho Saavalainen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2012  
Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu  
Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma, avopalvelun teknologia

---

Tekijä(t): Juho Saavalainen

Opinnäytetyön nimi: uinninmittausjärjestelmän koteloinnin suunnittelu, toteutus ja testaus

Työn ohjaaja(t): Jari Viitala

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2012

Sivumäärä: 35+18

---

Työssä suunniteltiin ja toteutettiin laitekotelo osaksi SET-uinninmittausjärjestelmän prototyyppiä. Suunnittelussa huomioitiin toimintaympäristön asettamat haasteet, käytettävyys sekä valmistusmahdollisuudet teollisessa tuotannossa.

Kotelo mallinnettiin hyödyntämällä AutoCAD 2010 -ohjelmistoa. 3D-mallinnuksesta tuotettiin fyysinen malli FDM Vantage SE -pikamallikoneella. Lopullinen prototyyppi valmistettiin polymeerihartsista tyhjiövalun avulla. Koteloon asennettiin mittausjärjestelmän keskusyksikkö. Kotelo kiinnitettiin mekaanisesti antennilevyyn, osaksi järjestelmäkokonaisuutta.

Laitekotelon toimivuutta testattiin monipuolisesti suunnittelussa määritettyjen vaatimusten kannalta. Testauksessa analysoitiin suunniteltua koteloitua ja järjestelmäkokonaisuutta omina kohtinaan. Testauksen pohjalta laadittiin parannusehdotukset ja pohdittiin mahdollista jatkokehitystä.

Työn tuloksena syntyi käytettävä laitekotelon prototyyppi, joka vastasi suurelta osin asettuja ennakkovaatimuksia. SET-uinninmittausjärjestelmän tuotteistamiseksi prototyyppi kuitenkin vaatii edelleen lisäkehitystyötä ja -testausta.

---

Asiasanat: laitekotelo, 3D-mallintaminen, tyhjiövalu, vesiurheilu, RFID

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
LYHENTEIDEN SELITYKSET	6
1 JOHDANTO	7
2 UINNINMITTAUSJÄRJESTELMÄ	9
2.1 Toimintaympäristö	9
2.2 Työn määritelmä	9
3 SUUNNITTELU	11
3.1 Vaatimusmäärittely	11
3.2 Näkemys toteutuksesta	12
3.2.1 Muoto ja rakenne	12
3.2.2 Kytcentöjen läpivienti sekä laitekotelon kiinnitys	13
3.2.3 Suunnittelu ruiskuvaluvalmistuksen kannalta	14
4 MALLINTAMINEN	17
4.1 CAD-mallinnus	17
4.1.1 Kotelon kansi	17
4.1.2 Kotelon pohjalevy	19
4.1.3 Telakointilevy	20
4.1.4 Valonjohteet	21
4.2 Pikamallinnus	22
4.3 Tyhjiövalu	23
4.3.1 Pikamallikappaleiden viimeistely	23
4.3.2 Muottien valmistus	24
4.3.3 Valaminen	25
4.3.4 Valukappaleen viimeistely	26
5 KALUSTAMINEN JA OSIEN KIINNITYS	27
6 TESTAUS	28
6.1 Laitekotelon testaus	28
6.2 Laitekotelon toiminta osana järjestelmää	30
6.2.1 Muotoilu ja mekaniikkasuunnittelu	30
6.2.2 Käytettävyys	31

6.3 Mittausjärjestelmän toimivuus	32
7 JATKOKEHITYSMAHDOLLISUUDET	33
8 POHDINTA	34
LÄHDELUETTELO	35
LIITE 1. SET-järjestelmä, testaussuunnitelma	
LIITE 2. SET-järjestelmä, testausraportti	
LIITE 3. Käytettävyystestaus, testauslomake	

## LYHENTEIDEN SELITYKSET

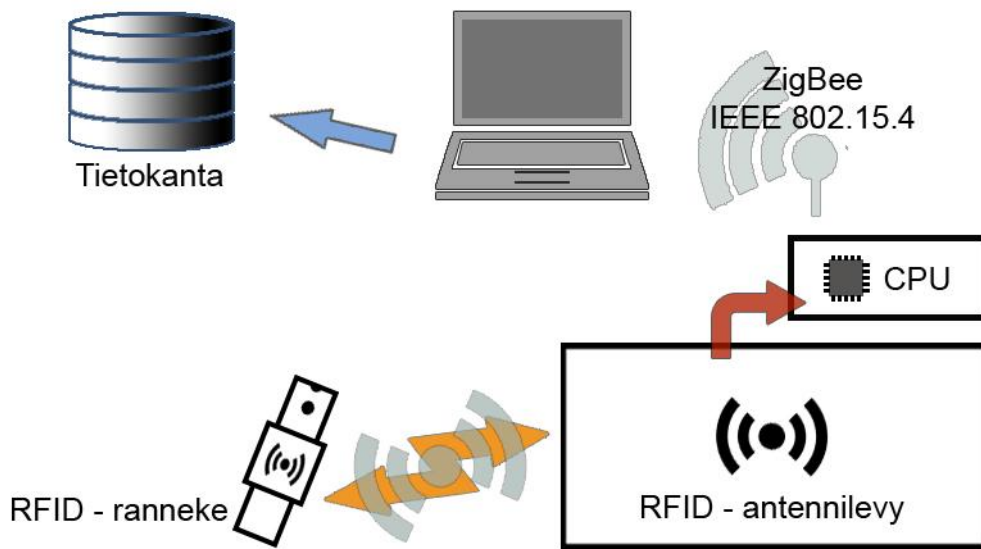
CAD	Computer Aided Desing, tietokoneavusteinen suunnittelu
IGES	Initial Graphics Exchange Specification, ns. neutraali tiedostofor- maatti
I/O	Input / Output, tiedon siirtäminen komponenttien välillä
RFID	Radio Frequency Identification, radiotaajuinen etätunnistus
SET	Swimming Exercise Technology, järjestelmän alustava tuotenimi
Tekes	Teknologian ja innovaatioiden kehittämiskeskus
Tukes	Turvallisuus- ja kemikaalivirasto
Tuli	Tutkimuksesta liiketoimintaa -ohjelma

# 1 JOHDANTO

Tämä työ käsittelee Swimming Exercise Technology -uinninmittausjärjestelmän prototyypin koteloinnin suunnittelua, toteutusta sekä toimivuuden testausta työssä asetettujen vaatimusten mukaisesti. Työn tilaajana toimii Hyvinvointiteknologian tutkimus- ja tuotekehityskeskus.

Idea uinninseurantajärjestelmästä syntyi keväällä 2007 Juho Saavalaisen ja Antti Säkkinen pohdittua mahdollisuutta hyödyntää RFID-teknologiaa kilpa- ja harrasteuinnin seurannassa. Ideaa ryhdyttiin kehittämään nykyiseen muotoonsa vuonna 2009 osallistumalla Tekesin Tuli-ohjelmaan (TULI – Tutkimuksesta liike-toimintaa 2008–2012. 2012), jonka kautta saatu rahoitus mahdollisti uinninseurantajärjestelmän ensimmäisen prototyypin rakentamisen.

Järjestelmän toiminta perustuu RFID-teknologiaan. Järjestelmän käyttäjällä on RFID-tunniste, joka lähettää ja vastaanottaa radiotaajuisia kyselyjä RFID-lähetin-vastaanottimelta. Sovelluksessa käyttäjä on uimari, jolla on mukanaan tunniste. Lähetin-vastaanotin sijaitsee altaan päätyyn asennettavassa levyssä ja laitekotelossa. Uimarin saapuessa altaan päätyyn tunniste aktivoituu ja lähettää halutun tiedon, joka luetaan ja lähetetään langattomasti tietokantaan. Saatujen tietojen avulla järjestelmä laskee käyttäjän kierrokset ja niihin kuluneen ajan. RFID-teknologia mahdollistaa useiden käyttäjien samanaikaisen seurannan. Järjestelmä koostuu käyttäjällä olevasta RFID-tunnisterannekkeesta, lähetin-vastaanotin-päätylevystä, päätylevyyn kiinnitettävästä keskusyksiköstä sekä siitä suojaavasta laitekotelosta. Keskusyksikkö vastaa tunnisteiden lukemisesta sekä tietojen lähettämisestä lähiverkon kautta tietokoneelle ja edelleen tietokantaan. (Kuva 1.)



*KUVA 1. Järjestelmäkokonaisuuden toimintaperiaate*



## **2 UINNINMITTAUSJÄRJESTELMÄ**

### **2.1 Toimintaympäristö**

Uimahalli, etenkin uima-altaan ympäristö, aiheutti monia vaatimuksia mekaniikalle. Laittekotelon tuli suojata elektroniikkaosia kosteudelta, turvata laitteen toiminnan kannalta olennaisten elektronisten kontaktien säilyminen sekä olla sähköturvallinen. Uima-altaan reunalla mekaniikkaosiin kohdistuisi myös tilan käyttäjästä ja kemikaaleista johtuvia mekaanisia rasituksia, joita kotelon tulisi kestää.

Ennen työn mekaniikkasuunnittelun aloittamista selvitettiin uima-allastiloja koskevat säädökset, jotka suunnittelussa tulee ottaa huomioon. Kansallisen Turvallisuus- ja kemikaaliviraston uima-altaita koskevasta Uima-altaat ja niiden varusteet (SFS-EN 13451) -standardista nousivat esille seuraavat pintamateriaaleja, kosketeltavia rakenteita sekä materiaalivalintoja koskevat kohdat: Pintamateriaaleissa ja kosketeltavissa olevissa rakenteiden osissa ei saa olla teräviä kulmia eikä ulkonemia. Kulmien tulee olla pyöristetty vähintään 3 mm:n pyöristys säteellä. Ulkonemia rakenteissa tulee välttää, sillä ne aiheuttavat käyttäjille kiinni juuttumisen ja loukkaantumisen vaaran. Allasosaston lattioiden pintamateriaalien tulee olla sellaisia, että ne vähentävät liukastumisvaaraa. Pintamateriaalien vaaleat värit lisäävät valoisuutta. Eri pintojen ja rakenteiden erottaminen toisistaan värien tummuuseron avulla helpottaa toimintaa. Riittävä valaistus ja vaaleat pinnat sekä rakennusosien ja varusteiden kontrastit helpottavat liikkumista ja toimimista pesuhuoneissa ja allasosastolla (koskee erityisesti heikkonäköisiä ilman silmälaseja). (Ohjeet uimahallien ja kylpylöiden turvallisuuden edistämiseksi. 2002, 5–6.) Edellä mainitut kohdat asettivat mekaniikan reunaehdot toimintaympäristön osalta. Muut reunaehdot määritettiin suunnittelun edetessä.

### **2.2 Työn määritelmä**

Työn ensimmäisenä kohtana oli suunnitella ja valmistaa uinninmittausjärjestelmän prototyypin kotelointi. Suunnittelun perustana oli järjestelmän toimivuuden takaaminen käyttöympäristössä, mekaaninen kestävyys sekä hyvä käytettä-

vyys. Laitetekotelon kustannustehokkuus sarjatuotannossa tuli myös ottaa huomioon. Alustavissa suunnitelmissa oli määritetty, että järjestelmän keskusyksikön koteloineen tulee olla kannettava, kiinnitykseltään kestävä ja riittävän yksinkertainen sekä akkuenergiaa käyttävä.

Toisena kohtana oli selvittää, täyttääkö toteutettu laitekotelo suunnittelussa määritetyt vaatimukset. Testauksissa haluttiin tarkastella suunnittelun onnistumista kahdesta näkökulmasta: laitekotelo omana kokonaisuutenaan sekä laitekotelon toimivuutta osana suurempaa laitekokonaisuutta. Saatujen tuloksien perusteella oli tarkoitus kehittää prototyyppiä kohti kaupallista tuotetta.

## 3 SUUNNITTELU

Suunnittelun tarkoituksena oli löytää mahdollisimman yksinkertainen, vaatimukset täyttävä ratkaisu. Suunnitelmia mekaniikan toteuttamiseen syntyi alusta asti useita ja ideat kehittyivät Tuli-hankkeen aikana. Lopullisen suunnan suunnittelu sai vaatimusten määrittelyn jälkeen. Tässä työssä suunnittelun tuloksista esitellään vain toteutunut versio.

### 3.1 Vaatimusmäärittely

Lopullinen suunnittelu aloitettiin tekemällä vaatimusmäärittely mekaniikan reunaehdoista. Vaatimukseen vaikuttivat käyttöympäristö, käytettävyys sekä kappaleen myöhemmän tuotannon valmistuskustannukset.

Käyttöympäristön osalta vaatimuksiksi määritettiin seuraavat kohdat:

- koteloinnin hyvä vedeneristyskyky
- käyttöympäristöä kestävä rakenne
- käyttöturvallisuus muotoilun, värien ja pintojen avulla.

Loppukäyttäjän suurimmaksi vaatimukseksi nousi käytettävyys:

- yksinkertainen asentaminen ja asennuksen purku
- kannettavuus
- selkeä palaute akkujen jäljellä olevasta tehosta
- palaute käyttäjälle RFID-tunnisteen lukemisesta
- turvallinen käyttö.

Valmistuskustannuksen kannalta vaatimuksena mekaniikan suunnittelussa tuli ottaa huomioon seuraavat ehdot:

- edullinen ruiskuvalumuotin valmistus
- helppo ja nopea kokoonpano
- vähän liikkuvia tai helposti hajoavia osia.

## 3.2 Näkemys toteutuksesta

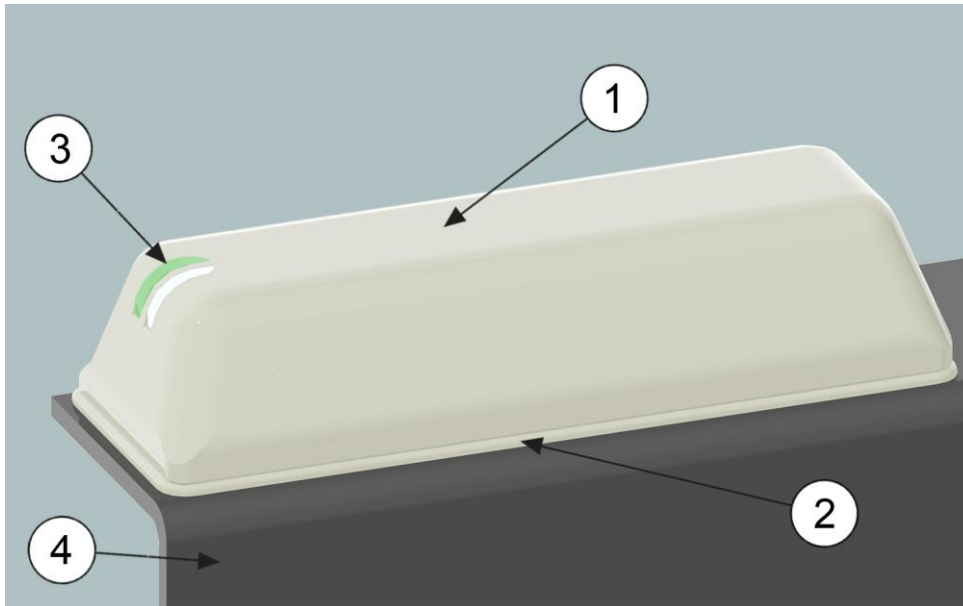
Tuleva toteutus hahmoteltiin mielessä ja kirjattiin paperille. Visioinnissa määritettiin suuntaa-antavasti kappaleen ominaisuudet: sijainti laitekokonaisuudessa, muoto, rakenne, materiaali, I/O-toiminnot sekä tarvittavat kiinnitykset. Lopullinen suunnittelu tapahtui CAD-ohjelmistolla kappaleen 3D-mallintamisen aikana.

Suunnitelmassa laitekotelo päätettiin sijoittaa uima-altaan reunalle, uimaradan pätyyn. Kotelo tuli kiinni telakointilevyn avulla mittausjärjestelmän päätylevyyn.

### 3.2.1 Muoto ja rakenne

Muodoksi valittiin matalaprofiilinen, viistetty suorakulmio, jonka kaikki ulospäin suuntautuvat reunat oli pyöristetty. Muodolla pyrittiin estämään veden ja kemikaalien makaamista kappaleen päällä sekä vähentämään tapaturmariskiä laitteeseen törmätessä.

Rakenne suunniteltiin koostumaan neljästä muoviosasta: telakointilevystä, kotelon kannesta, kotelon pohjalevystä sekä valonjohteista. Varsinaisen laitekotelon muodostivat kotelon kansi ja sen pohjalevy, jotka kiinnitettiin toisiinsa ruuvien ja tiivistysmassan avulla. Laitetekotelon sisään tuli lisäksi valonjohteet, jotka kiinnitettiin kotelossa olevaan aukkoon liimalla. Valonjohteen tarkoituksena oli johtaa keskusyksikön LED-merkkivalot käyttäjän nähtäväksi. Merkkivalot näyttivät onko laite päällä ja paljonko akkua on jäljellä, sekä antoivat ilmoituksen leimatusta etätunnisteesta. Materiaalina toimi alustavasti ABS-muovi tai muu vastaava, hyvin kemikaaleja kestävä, ruiskuvalettava materiaali. Seinämien vähimmäisvahvuudeksi arvioitiin 3 millimetriä. (Kuva 2.)



- |                    |                   |
|--------------------|-------------------|
| 1. Laitekotelo     | 2. Telakointilevy |
| 3. LED-merkkivalot | 4. Päätylevy      |

KUVA 2. Laitekotelon muoto ja rakenne

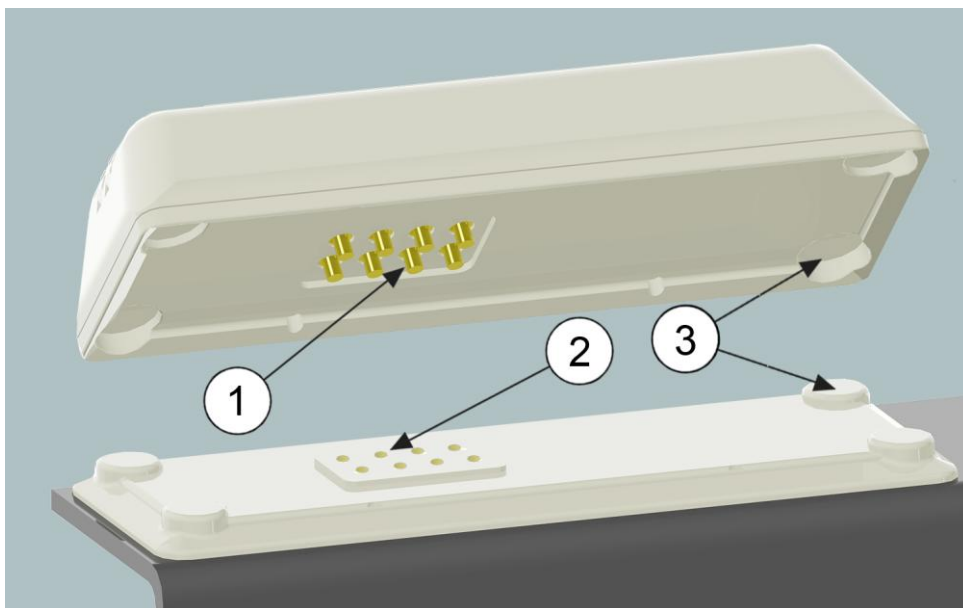
### 3.2.2 Kytcentöjen läpivienti sekä laitekotelon kiinnitys

Telakointilevyllä on kaksi tarkoitusta: pitää laitekotelo paikallaan sekä kytkeä päätylevyssä oleva lähetin-vastaanotin-antenni elektronisten kontaktien avulla keskusyksikköön. Alustavissa suunnitelmissa käytettiin antennikaapelia, joka kytkeytyi laitekotelon kyljessä olevaan valmisliittimeen. Ongelmaksi muodostui valmisliittimen mahdollinen kastuminen ja siten signaaliin tulevat virheet. Vedenpitävät valmisliittimet jätettiin suunnitelmista niiden korkean hinnan vuoksi. Työn ohjaajan kanssa pidetyssä suunnittelupalaverissa nousi esiin mahdollisuus toteuttaa kontaktit jousikuormitteisten mittakärkien (engl. Test Probe) avulla. Aiheeseen perehtymisen jälkeen päädyttiin tähän ratkaisuun. Mittakärjiksi valittiin INGUN Prüfmittelbau GmbH:n GKS 365. Mittakärjet, yhteensä 16 kappaletta, saatiin näytekappaleina Orbis Oy:n kautta. Mittakärkien tarkemmat tiedot on esitelty valmistajan datalehdessä. (INGUN GKS 365. 2012)

Laitekotelon kiinnittäminen telakointilevyyn muodostui aluksi ongelmaksi. Laitekotelo liikutetaan mahdollisesti useita kertoja päivässä. Tästä ja muista mekaanista rasitusta aiheuttavista syistä päädyttiin lopulta kokeilemaan kiinnitystä tehokkailla kiekkomagneeteilla. Kiinnityksestä vastasi kahdeksan neodyymi-

magneettia, neljä laitekotelon pohjalevyssä sekä neljä vastaavaa telakointilevyssä. Magneettien tehtävänä oli kiinnittää laitekotelo telakointilevyyn ja samalla painaa jousikuormitettuja mittakärkiä telakointiasemassa olevia kontaktipintoja vasten. Neodyymimagneeteiksi valittiin S-12-06-N-magneetit ja ne tilattiin Supermagnete.de-verkkokaupasta. Magneetit sijoitettiin suunnittelussa kappaleiden jokaiseen kulmaan, jotta syntyvä yhteen puristuminen jakautuisi tasaisesti.

Laitekoteloon suunniteltiin neljä kaksinapaista liitäntää, jotka toteutuisivat kahdeksalla mittakärjellä. Liitännät menivät seuraavasti: antenniliitäntä, keskusyksikön sähkövirtapiiriin kytkentä, akkujen latausliitäntä sekä varaliitäntä mahdolliselle lisäkytkennälle. Akun latauksen suunniteltiin tapahtuvan latausasemassa, joka on muodoltaan identtinen telakointilevyyn nähden. Latausta varten laitekotelo irrotettiin telakointilevystä ja siirrettiin latausasemaan. Latausaseman kytkentä mahdollisti akun lataamisen mittakärkien kautta. (Kuva 3.)



1. Jousikuormitteiset mittapäät
2. Kontaktipinnat
3. Magneettikiinnitys

KUVA 3. Kytkentöjen läpivienti sekä laitekotelon kiinnitys

### 3.2.3 Suunnittelu ruiskuvaluvalmistuksen kannalta

Ruiskuvalutuotteen suunnittelun tavoitteena on tuottaa toimiva tuote. Toimivuuden mittareita ovat valmistuksen ja kokoamisen eri työvaiheet ja niistä muodos-

tuvat kustannukset, käytettävyys, materiaalien ja rakenteen kestävyys, huollettavuus, viranomaisvaatimusten täyttyminen sekä kierrätettävyys. (Medac Oy. 2007.)

Suunnittelu aloitetaan tuotteen toimintojen määrittämisellä. Tämän jälkeen laaditaan valmistusmateriaalin vaatimusprofiili, joka koostuu tuotteen toimintojen ja käyttöympäristön asettamista vaatimuksista. Materiaali ja siihen soveltuva työmenetelmä valitaan saadun vaatimusprofiilin mukaisesti. (Medac Oy. 2007.)

Suunnittelua jatketaan mallintamalla kappale sekä suunnittelemalla sen valmistukseen käytettävä muotti. Ruiskuvaluvalmistuksen pääsääntöiset kustannukset syntyvät käytetyn materiaalin lisäksi tarvittavasta valuajasta, tuotteen kokoamisesta ja viimeistelystä. Valuaikaan vaikuttavat materiaalin paksuus sekä muotin rakenne. Mikäli valmistuskustannukset halutaan pitää alhaisina, on mallintamisessa pyrittävä yksinkertaisiin, säännöllisiin muotoihin ja yhtenevään kerros-paksuuteen. (Medac Oy. 2007.)

Ruiskuvalukappaleen kestävyttä voidaan lisätä suunnittelulla. Pyöritykset auttavat muovisulan virtausta muotissa ja lisäävät rakenteen lujuutta teräviin reunoihin verrattuna. Kestävyttä voidaan lisätä myös rivoilla, reunuksilla, kehyksillä ja harjanteilla. Samalla kyseisiä muotoja voidaan käyttää ohjaavina muotoina helpottamaan kokoonpanoa. (Medac Oy. 2007.)

Kappaleeseen tehdyillä päästöillä helpotetaan kappaleen poistamista muotista ja samalla pidennetään muotin käyttöikä. Valmistuksen kannalta ideaali tilanne on mallintaa kappale, jonka muotti aukeaa ainoastaan yhteen suuntaan, eikä siinä tarvita sivusuunnissa liikkuvia osia. Tällaista muottia kutsutaan luonnolliseksi muotiksi ja se on valmistuskustannuksiltaan edullisempi kuin useasta liikkuvasta osasta koostuva muotti. (Medac Oy. 2007.)

Suunnittelussa pyrittiin huomioimaan ruiskuvaluvalmistuksen vaatimukset. Mallinnettu laitekotelo mahdollistaa luonnollisen muotin käytön ja on rakenteeltaan riittävän yksinkertainen, kestävä sekä helposti koottavissa. Mallinnuksessa jou-

duttiin kuitenkin lisäämään kappaleiden välille suurempi mittatoleranssi, kuin mitä ruiskuvalutekniikka mahdollistaisi. Tämä johtui prototyypin valmistukseen käytettyjen menetelmien, pikamallinnuksen ja tyhjiövalun aiheuttamista mittavirheistä. Tarvittaessa toleranssia voitaisiin muuttaa lopullista teollista versiota varten pienemmäksi.



## 4 MALLINTAMINEN

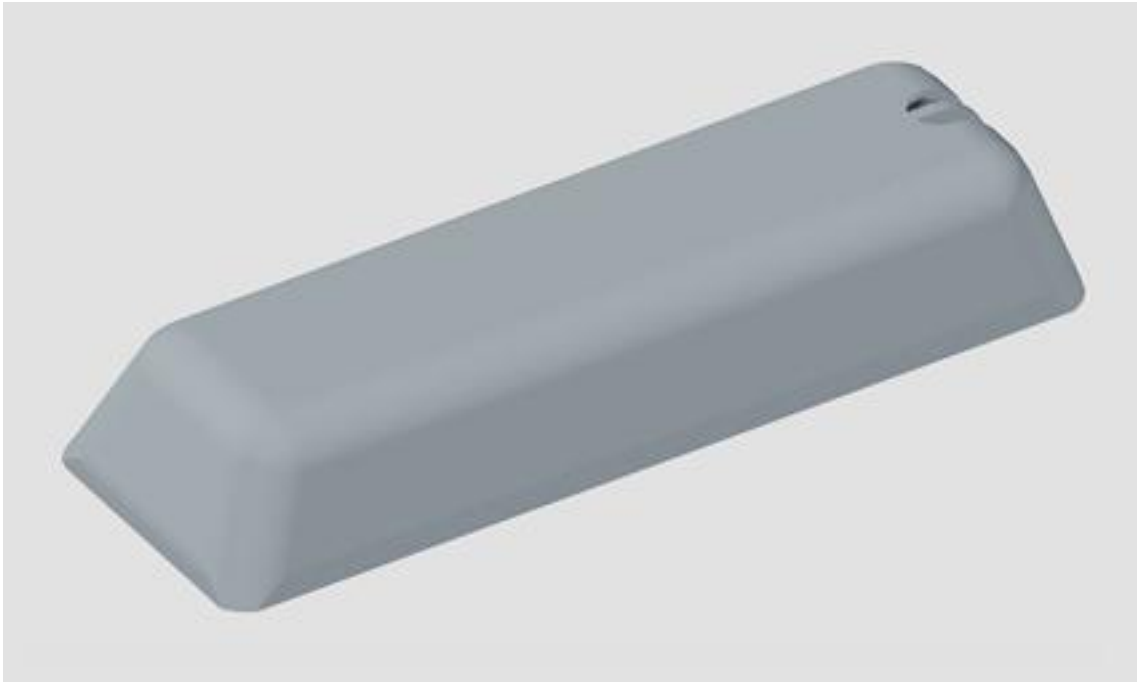
Suunnittelutyön jälkeen aloitettiin työn mallintaminen. Suunnitelman lopullinen muoto visiosta kolmiulotteiseksi malliksi saavutettiin AutoCAD 2010 -ohjelmiston avulla. Fyysiseksi, käsin kosketeltavaksi malliksi työ muodostui 3D-mallinnoksesta tehdyn pikamallin avulla. Lopullinen kappale valmistettiin tyhjiövalulla pikamallista saadun masterkappaleen avulla.

### 4.1 CAD-mallinnus

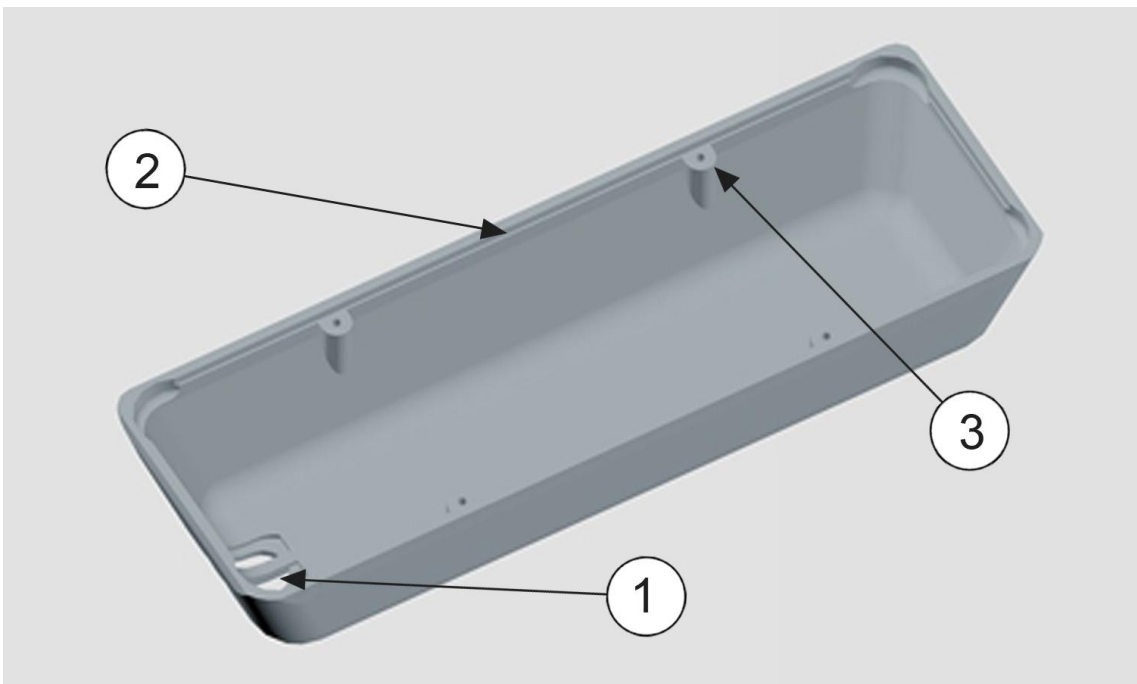
Suunnittelutyössä ja mallintamisessa käytettiin AutoCAD 2010 -ohjelmistoa. Laitekotelon osien mallintamista edelsi kotelon sisälle tulevien keskusyksikön osien mallintaminen. Mallinnuksen avulla komponenttien sijoittelu, kotelon todelliset mitat ja laitekotelon osien yhteensovittaminen olivat paremmin hahmotettavissa. Kappaleiden mallintaminen on selostettu tarkemmin alla. Teollista tuotantoa varten mallinnuksesta tehdään IGES-versio.

#### 4.1.1 Kotelon kansi

Kotelon kannen mallintamisen lähtökohtina olivat keskusyksikön tarvitsema tila sekä kestävä, pyöristetty muoto, joka ei keräisi tasoihinsa vettä. Laitekotelon leveyden määräsi päätylevyn reunan leveys, 70 mm. Kotelon pituus määräytyi siten käytettävästä leveydestä ja elektroniikan vaatimasta tilasta. Kappale mallinnettiin sivuilta viistetyksi ja kaikki näkyvät kulmat pyöristettiin (kuva 4). Muotoilulla pyrittiin välttämään teräviä kulmia, jotka saattaisivat aiheuttaa tapaturmia käyttöympäristössä. Kotelon toiseen pätyyn (kuva 5) tehtiin paikat valonjohteille (1). Sisäpuolelle mallinnettiin koko reunustan kiertävä huuliprofiili (2) pohjaleveytä varten sekä neljä paikkaa laitekoteloruuveille (3). Pääasiallinen kiinnitys syntyisi saumausmassalla. Kotelon pääsääntöiseksi seinävahvuudeksi valittiin 3,5 mm.



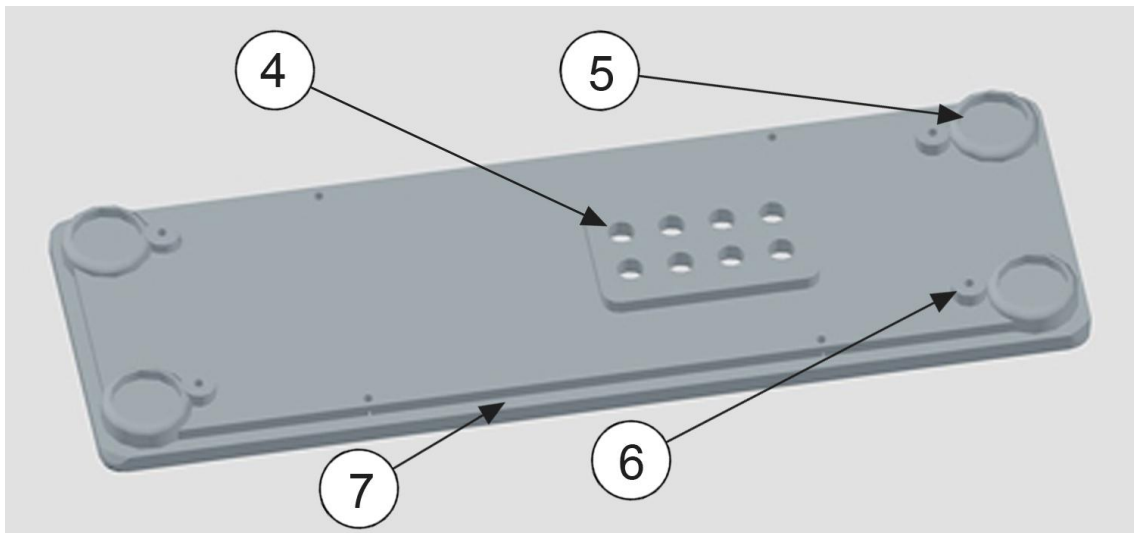
*KUVA 4. Kotelon kansi, ulkopuoli*



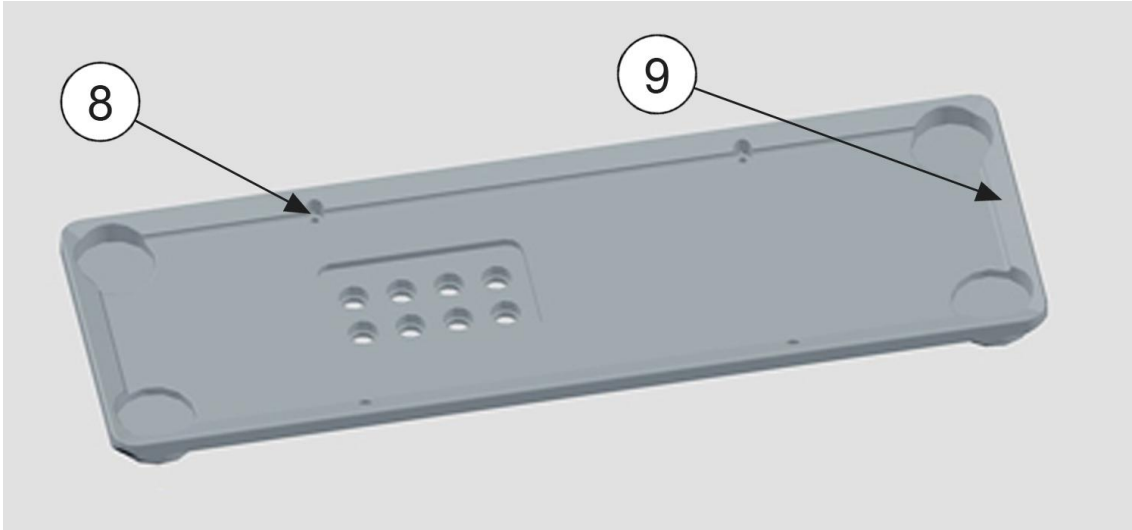
*KUVA 5. Kotelon kansi, sisäpuoli*

### 4.1.2 Kotelon pohjalevy

Laitetekotelon saatua suunnitellun muodon, eriytettiin alapuoli omaksi kappaleeksi. Pohjalevyyn (kuva 6) mallinnettiin paikat mittakärjille (4) sekä magneeteille (5). Sisäpuolelle tehtiin piirilevyn kiinnityskohdat (6) ja reunahuullos (7). Ulkopuolelle (kuva 7) lisättiin paikat laitekoteloruuveille (8) sekä jyrkkä reunaprofiili (9), joka yhdessä telakointilevyn kanssa estäisi veden pääsyä elektronisille kontaktipinnoille. Pohjalevyn materiaalipaksuus mahdollisti tarvittaessa tiivisteuran jyrsimisen ulkopinnalle, mikäli reunaprofiili ei yksin riitä estämään veden kulkeutumista kontakteille.



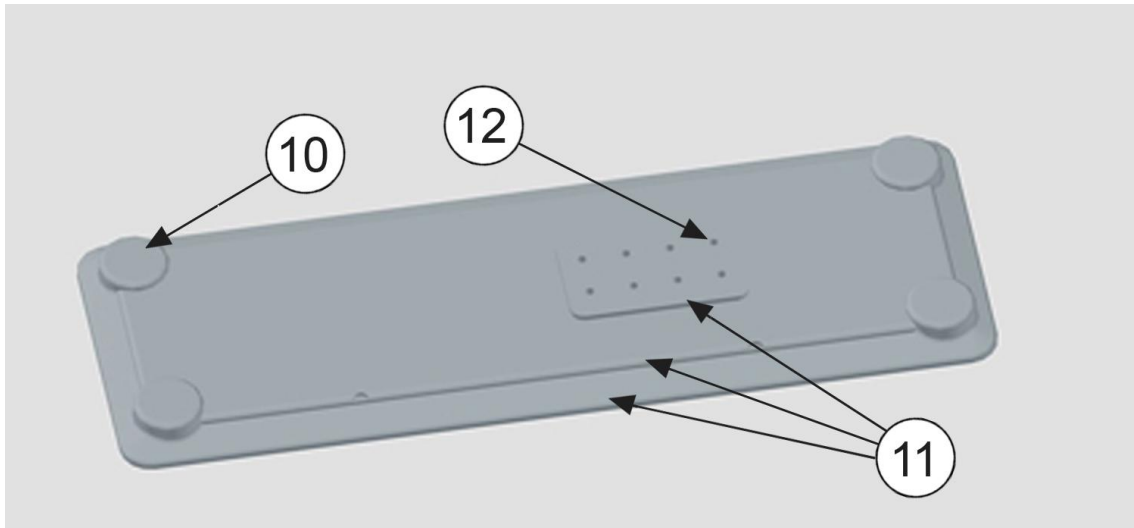
KUVA 6. Kotelon pohjalevy, sisäpuoli



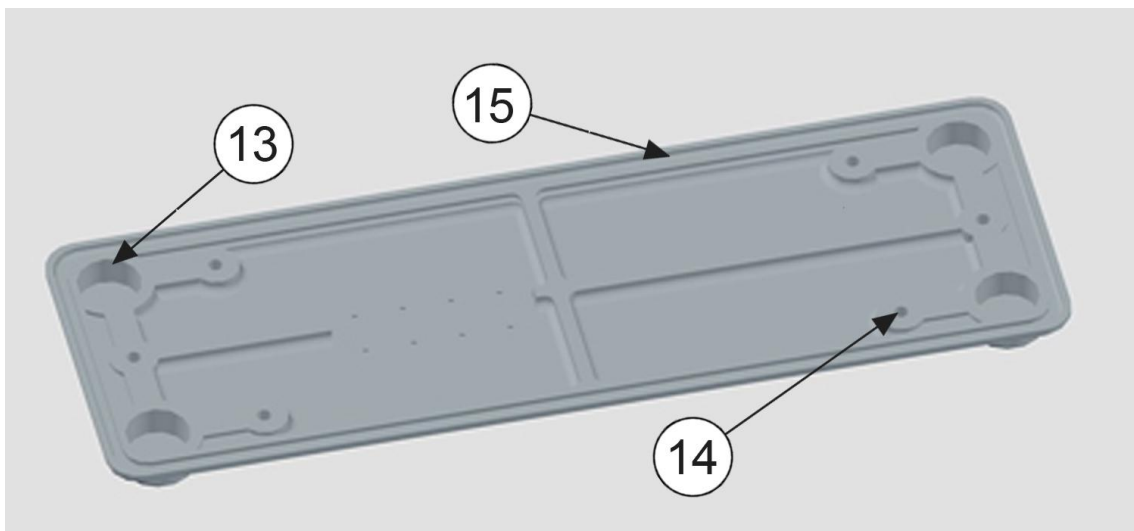
KUVA 7. Kotelon pohjalevy, ulkopuoli

### 4.1.3 Telakointilevy

Telakointilevy (kuva 8) mallinnettiin profiililtaan matalaksi ja pyöristeteksi. Suunnittelulla pyrittiin tekemään kappaleesta mahdollisimman esteetön laitekotelon ollessa irrotettuna. Kulmiin sijoitettiin ulkonemat magneeteille (10), joiden tarkoitus oli samalla ohjata laitekotelo tukevasti paikoilleen. Profiili muodostettiin kolmesta tasosta (11), joiden tarkoitus oli estää veden pääsyä elektronisille kontaktipinnoille. Kontakteja varten levyyn tehtiin kahdeksan reikää (12), jotka mitoitettiin mallinnusvaiheessa tarkoituksella halkaisijaltaan pieniksi. Ratkaisuun päädyttiin, koska suunnittelun tässä vaiheessa ei ollut varmaa tietoa käytettävien kontaktipintojen materiaalista tai mitoista. Levyn alapuolelle (kuva 9) mallinnettiin paikat magneeteille (13). Kappaleen kiinnittämiseksi päätylevyyn mallinnettiin kuusi reikää M4-ruuvien kiinnitystä varten (14) sekä tehtiin reunaa myötäilevä ura saumausmassalle (15).



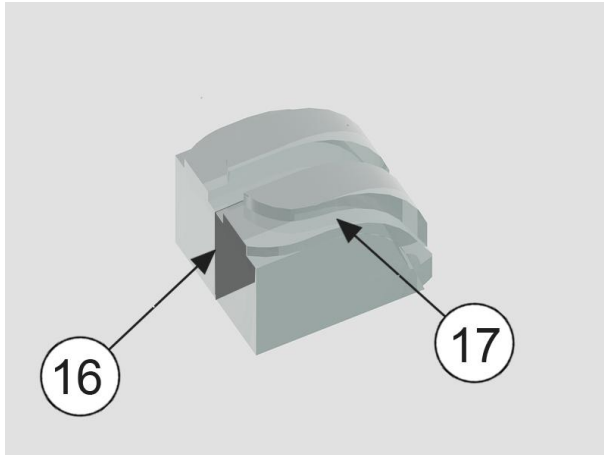
KUVA 8. Telakointilevy, ulkopuoli



KUVA 9. Telakointilevy, sisäpuoli

#### 4.1.4 Valonjohteet

Valonjohteiden (kuva 10) yläpuolen kaareva profiili mallinnettiin kotelon kannen profiilista. Kannesta läpitulevaa kohtaa kiertää leveä reunus (16), joka mahdollistaa tukevan ja tiiviin kiinnityksen koteloon. Valonjohteisiin jätettiin yläprofiilin alapuolelle riittävästi työstövaraa. Tämä mahdollisti riittävän varioinnin käytettävissä valaisuelektronikassa. Valonjohteet suunniteltiin kiinnitettäväksi yhteen ennen koteloon asennusta. Osien väliin tuli valoa läpäisemätön kalvo (17).



KUVA 10. Valonjohteet

## 4.2 Pikamallinnus

Pikamallinnuspalvelu tuotettiin Oulun seudun ammattikorkeakoulun Tekniikan yksikössä. Pikamallinnuslaitteena käytettiin FDM Vantage SE -konetta. Fused Deposition Modeling- eli FDM-laite rakentaa halutun kappaleen ruiskuttamalla sulaa rakennusmateriaalia kerroksittain, kappaleen ääriviivojen mukaisesti. Menetelmällä syntyvä kappale on tarkka malli 3D-CAD-mallinnoksesta, mutta se ei vastaa lujuudeltaan valettua kappaletta. Materiaaliksi valittiin musta PC-ISO, kerrostarkkuudella 0,127 mm. Valmiit pikamallit (kuva 11) olivat odotusten mukaiset. Mallien avulla voitiin todentaa kappaleiden ja elektroniikkaosien yhteensopivuus.



*KUVA 11. Kotelon kansi, kotelon pohjalevy ja telakointilevy pikamallinnettuina*

### **4.3 Tyhjiövalu**

Tyhjiövalulla tarkoitetaan kappaleen valmistamista valamalla tyhjiössä olevaan muottiin. Tyhjiön tarkoituksena on mahdollistaa muotin täyttyminen valuaaineella jokaista yksityiskohtaa myöten. Tyhjiövalun avulla on mahdollista toteuttaa valukappaleita yksittäisistä kappaleista piensarjoihin. Prototyypivaiheessa tyhjiövalumenetelmällä tuotetuilla kappaleilla päästään lähelle teollisesti valmistettujen kappaleiden materiaali- ja toimintaominaisuuksia. Valettuja kappaleita testaamalla saadaan tietoa kappaleen toiminnallisuudesta, mikä puolestaan mahdollistaa sarjatuotannon käynnistämisen esimerkiksi ruiskuvalumenetelmällä.

#### **4.3.1 Pikamallikappaleiden viimeistely**

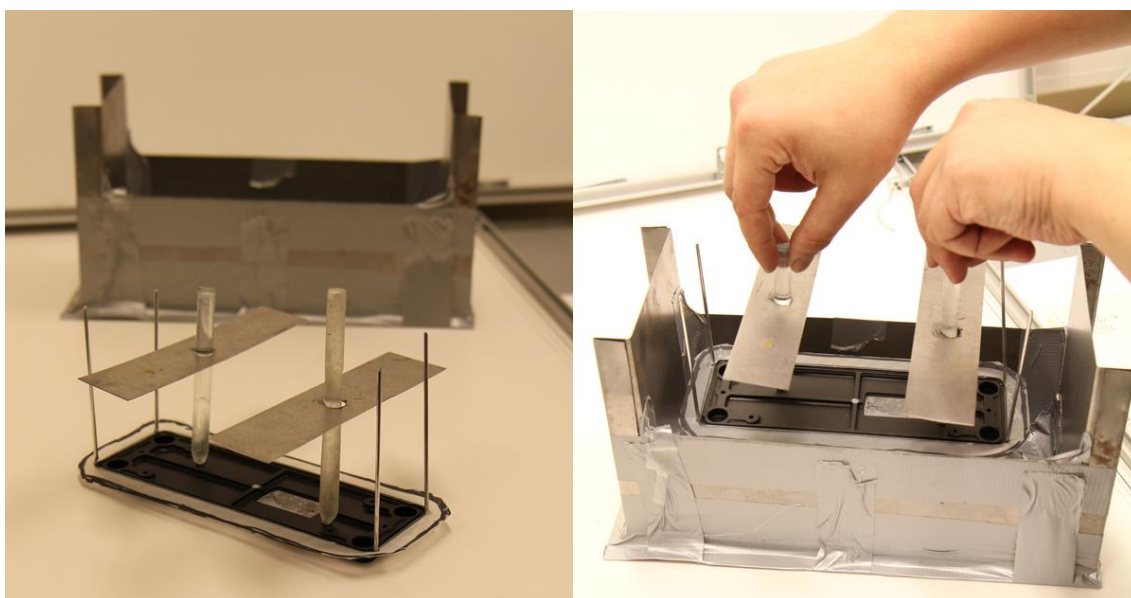
Ennen tyhjiövalumuottien valmistamista, pikamallikappaleiden näkyvät pinnat viimeisteltiin vastaamaan haluttua, tyhjiövalussa esiintyvää pintarakennetta. Lopulliseen prototyyppiin haluttiin saada mahdollisimman tasainen pintarakenne. Tämä vaati FDM-tekniikalla valmistettujen pintojen epätasaisuuksien poistamista. Työssä käytettiin CRC propaint -pohja- ja pintamaaleja sekä hiontapaperia karkeuksilla 240–1200. Tuloksena kappaleisiin syntyi haluttu, tasainen pinta. (Kuva 12.)



*KUVA 12. Pintakäsittelyllä viimeistellyt pikamallikappaleet*

### 4.3.2 Muottien valmistus

Muotti valmistettiin käyttämällä MTT Technologies GmbH:n VTV 750 -muottisilikonikumia ja viimeistellyistä pikamalleista tehtyjä masterkappaleita. Mallinnettaviin kappaleisiin kiinnitettiin Loctite 401 -pikaliiman ja Loctite 7471 -aktivaattorin avulla valu- ja ilma-aukkojen negatiivit. Valukanavan negatiivit valmistettiin päästään teroitetusta 10 mm halkaisijaltaan olevasta akryylitangosta. Ilma-aukkojen negatiivit valmistettiin alumiinisesta 2,5 mm:n hitsauslangasta. Kappaleet kiinnitettiin valukanavien negatiiveista metallista valmistettuun muottiastiaan peltiliuskojen avulla. (Kuva 13.)



*KUVA 13. Vasemmalla valukanavien ja ilma-aukkojen negatiivit sekä peltiliuskat kiinnitettyinä. Oikealla kappaleen sovittaminen ja kiinnittäminen muottiastiaan.*

Muottisilikoni valmistettiin sekoittamalla VTV 750 -muottisilikonikumi yhteen CAT 750 -katalyytin kanssa. Seoksesta poistettiin tyhjiövalukoneessa sekoitettaessa syntyneet ilmakuplat. Tämän jälkeen silikoniseos kaadettiin varoen muottiastiaan. Syntyneestä muotista poistettiin tyhjiövalukoneen avulla kaadon aikana syntyneet ilmakuplat. Tämän jälkeen muotti siirrettiin kovettumaan 70 celsius-asteiseen valu-uuniin kuudeksi tunniksi.



Kovettunut muotti leikattiin kahteen osaan kirurginveitsen ja muottilevittimien avulla. Avattaessa muotin leikkauspintaan muotoiltiin aaltokuvio. Kuvio tehtiin helpottamaan valamisen aikana tapahtuvaa muottipuoliskoiden yhteen kohdistamista. Muotista poistettiin pikamallikappale sekä valu- ja ilma-aukkojen negatiivit.

Muotit valmistettiin peräkkäisinä päivinä, käyttäen samaa muottiastiaa, lukuun ottamatta valonjohdetta, jolle valmistettiin oma valuastia.

Muotit onnistuivat hyvin, lukuun ottamatta kotelon pohjalevyn muottia: Valu- ja ilma-aukkojen negatiivien kiinnityksessä apuna käytetty Loctite 7471 -aktivaattori reagoi silikonin kanssa ja esti silikonin kovettumisen. Reaktion seurauksena muotin pinta muodostui epätasaiseksi. Sama reaktio toistui myös muissa muoteissa, mutta rajoittui kuitenkin ainoastaan valukanaviin ja ilma-aukkoihin. Ratkaisuna ongelmaan muotti valmistettiin uudestaan käyttämällä silikonin kanssa yhteensopivaa Loctite 770 -aktivaattoria. Muotti valmistui onnistuneesti.

### **4.3.3 Valaminen**

Valamisessa käytettiin Oulun seudun ammattikorkeakoulun tekniikan yksikön SAN-AI Sancron C-002 -tyhjiövalulaitteistoa sekä MTT Technologies GmbH:n SG 95- kaksikomponenttista polyuretaanihartsia. Väriaineena käytettiin Tikkurila Oy:n Temacolor-sävytyspastaa.

Muotit toimivat odotetulla tavalla ja valut onnistuivat suunnitellusti. Valetuista kappaleista tuli kestäviä eikä ilmakuplia tai pintavirheitä havaittu. Ennen valamista telakointilevy-muottiin kiinnitettiin M4-mutterit. Mutterit tulivat valussa telakointilevyn ruuvireikien ympärille ja jäivät tukevasti valumateriaaliin kiinni.

#### **4.3.4 Valukappaleen viimeistely**

Ennen käyttöönottoa valetuista kappaleista poistettiin valussa syntynyt ylimääräinen materiaali jakotason, valukanavien ja ilma-aukkojen kohdalta. Toisiinsa kiinnitettävät kappaleet sovitettiin ja viimeisteltiin tarvittaessa yhteensopiviksi. Telakointilevyn pohjaan valuvaiheessa kiinnitettyjen mutterien sisäpinnalta poistettiin valuaines. Viimeistelytyössä käytettiin pienois-porakonetta, neulaviiloja, hiomapaperia sekä kierretyökälyä. Kappaleet sovitettiin istumaan toisiinsa tukevasti. Kotelon kannen ja pohjalevyn saumaan jätettiin tilaa saumausmassalle.

## 5 KALUSTAMINEN JA OSIEN KIINNITYS

Laitekotelon telakointi- ja pohjalevyn neodyymimagneetit kiinnitettiin paikoilleen kuumaliimalla. Kiinnitystapa valittiin mahdollistamaan helpon irrottamisen tarvittaessa. Magneetit sijoitettiin napaisuuden mukaan, siten että kiinnitettäessä kotelo telakointilevyyn oikeassa asennossa vastakkaiset magneetit vetävät toisiaan kohden ja väärin asennettuna hylkivät. Asennustavan uskottiin vähentävän mahdollisia virhetilanteita loppukäytössä.

Mittakärjet työnnettiin kiinni pohjalevyyn ja liitospinta tiivistettiin Casco silikoni-tiivistysmassalla. Piirilevy kiinnitettiin pohjalevyyn laitekoteloruuveilla ja mittakärkien liittimet tinattiin paikoilleen. Akut kiinnitettiin kotelon yläosaan kuumaliimalla samasta syystä kuin magneetit. Valonjohteet kiinnitettiin paikoilleen Loctite 401 -pikaliimalla. Toiseen valonjohteista kiinnitettiin vihreä LED-merkkivalo, jotka yhdistettiin piirilevylle hyppylangoilla. Toinen, kirkas LED-valo ohjattiin piirilevyltä lähelle tyhjää valonjohdetta.

Telakointilevyyn kiinnitettiin 3 mm:n kuparilangasta valmistetut liittimet, joista kaksi oli kytketty päätylevyn antennijohtoihin. Telakointilevy kiinnitettiin päätylevyyn kuudella M4-ruuvilla ja sauma tiivistettiin mittakärkien tavoin Casco silikoni-tiivistysmassalla. Kotelon ja pohjalevyn tiivistyksessä käytettiin edelleen samaa tiivistysmassaa. Sauman pitävyys varmistettiin neljällä Torx T6 -ruuvilla. Tiivistysmassan tarkoitus oli ensimmäisessä testivaiheessa korvata myöhemmin käytettävä tiivistysaine. Materiaalivalinnan oli tarkoitus mahdollistaa osien helppo irrottaminen mahdollisissa ongelmatilanteissa ja antaa kuitenkin samalla riittävä vesieristys. Tiivistysmassan ei ollut tarkoitus antaa lopputuotteessa käytettävän tiivistysaineen veroista mekaanisen rasituksen kestoja. Järjestelmän kalustamisen jälkeen todettiin toteutuksen onnistuneen suunnitelmien mukaisesti.

## 6 TESTAUS

Prototyypin testaus jaettiin kahteen osioon. Ensimmäiseksi testattiin laitekotelolle suunnittelussa määritettyjen vesieristysvaatimusten toteutumista. Tämän jälkeen testattiin laitekoteloa osana järjestelmäkokonaisuutta. Jälkimmäisessä testauksessa selvitettiin koteloinnin ja muiden järjestelmän osien käytettävyyttä, mekaniikan ja muotoilun onnistumista sekä järjestelmän yhteentoimivuutta. Lopuksi testattiin järjestelmäkokonaisuuden toimivuutta. Testauksen laaja-alaisuudesta johtuen on tarkemmat testaussuunnitelmat ja -tulokset selvitetty Testaussuunnitelma- ja Testausraportti-liitteissä (liitteet 1 ja 2).

### 6.1 Laitekotelon testaus

Laitekotelon varsinainen testaus aloitettiin osien paikalleen kiinnittämisen jälkeen. Testauksessa selvitettiin, kuinka tehokkaasti kotelointi estää veden kulkemisen kontaktipinnoille. Työssä käytettyjen mittakärkien ja telakointilevyn piirilevyn kontaktipintojen välillä tulee olla jatkuva kontakti. Käyttöympäristössä oleva kosteus ja kontakteille pääsevät vesiroiskeet saattaisivat haitata tai estää signaalin liikkumisen

Kotelon vedeneristyskykyä testattiin kahdella eri tavalla: standardinmukaisesti sekä käyttöympäristölle altistettuna. Standardinmukaisessa testauksessa hyödynnettiin SFS-EN 60529 + A1 -standardia, joka määrittää sähkölaitteiden kotelointiluokat. Koska kyseessä oli akkukäyttöinen pienjännitelaitte, työ ei vaatinut standardinmukaista kotelointia. Kuitenkin standardinmukainen testaus antoi viitteitä vastaavasta kotelointiluokituksesta ja IP-koodista. Standardinmukainen testaus mahdollisti myös testauksen toistettavuuden tarvittaessa. Kotelointiluokitus on esitelty taulukossa 1. (SFS-EN + A1: Sähkölaitteiden kotelointiluokat (IP-Koodi).)

**TAULUKKO 1. Koteloituokituksen tunnusnumeron määrittäminen (SFS-EN + A1: Sähkölaitteiden koteloituokat (IP-Koodi))**

**Koteloituokka**

Tunnusnumero	Lyhyt kuvaus	Määritelmä
0	Suojaamaton	–
1	Suojattu pystysuoraan tippuvalta vedeltä	Pystysuoraan pisaroina tippuva vesi ei aiheuta haittaa
2	Suojattu pystysuoraan tippuvalta vedeltä, kun koteloitu on kallistettu 15° asti	Pystysuoraan pisaroina tippuva vesi ei aiheuta haittaa, kun koteloitua kallistetaan enintään 15° mielivaltaiseen suuntaan pystyasentoon nähden
3	Suojattu satavalta vedeltä	Enintään 60° kulmassa satava vesi ei aiheuta haittaa
4	Suojattu roiskuvalta vedeltä	Kaikista suunnista roiskuva vesi ei aiheuta haittaa
5	Suojattu vesisuihkulta	Kaikista suunnista suuttimella ohjattu vesisuihku ei aiheuta haittaa
6	Suojattu voimakkaalta vesisuihkulta	Kaikista suunnista suuttimella ohjattu voimakas vesisuihku ei aiheuta haittaa
7	Suojattu lyhytaikaisen veteen upottamisen vaikutuksilta	Veteen lyhytaikaisesti upotettuun koteloitu ei tunkeudu haitallisessa määrin vettä standardisoidussa vedenpaineessa ja upotusajassa
8	Suojattu jatkuvan veteen upottamisen vaikutuksilta	Valmistajan ja käyttäjän sopimissa olosuhteissa, mutta ankarammissa kuin numerolla 7, veteen upotettuun koteloitu ei tunkeudu haitallisessa määrin vettä

Vedeneristyskyvyn testauksen toinen vaihe toteutettiin viemällä laite varsinaiseen käyttöympäristöön ja altistamalla se vesiroiskeille yhden tunnin ajan. Testin aikana Oulun lohettu ry:n kilpauintiryhmä harjoitteli samalla uima-altaan radalla.

Standardinmukaisen testauksen tulokseksi havaittiin laitekotelon kestävän hyvin ylhäältäpäin satavaa vettä sekä kohtalaisesti roiskeita. Pohjalevyn ja telakointilevyn väliin pääsi vettä, mutta sitä oli hyvin vähän tai ei lainkaan kontaktipinnoilla. Suihkuavalla vedellä suoritettussa testissä myös kontaktipinnat kastuivat täysin. Tästä huolimatta kontaktit säilyivät. Tilanne ei kuitenkaan ollut toivottu. Kotelon pohjalevyyteen lisättiin suunnittelun mukaisesti tiivisterengas ja testi toistettiin. Vesi ei läpäissyt tiivistettä ja kontaktit säilyivät kuivina.

Käyttöympäristöön sijoituvassa testauksessa tulokset olivat lähellä standardinmukaisen testauksen tuloksia: ilman tiivisterengasta kontaktit kastuivat, mutta järjestelmän toiminnot pysyivät päällä. Testauksessa havaittiin kuitenkin roiske-

veden määrä huomattavasti ajateltua pienemmäksi. Kontaktipinnat pysyivät kuivina testin ajan, vaikka pohja- ja telakointilevyn väliin muuten pääsi vettä. Testin lopuksi laitteen päälle roiskittiin huomattava määrä vettä, minkä seurauksena kontaktipinnat kastuivat.

Tuloksista voidaan päätellä prototyypin suunnittelun onnistuneen kestämaan käyttöympäristön normaalitilanteita, jotka edellyttävät koteloinnilta 3–4 -tason IP-luokitusta. Kuitenkin pahimman skenaarion varalle on mietittävä IP-luokituksen parantamista luokkaan 6–7, mikä onnistuu tiivisterenkaan tai vastaavan vettä eristävän ratkaisun avulla.

## **6.2 Laitekotelon toiminta osana järjestelmää**

Laitekotelon muiden ominaisuuksien testaus voitiin suorittaa vasta sen ollessa kiinnitettynä osaksi mittausjärjestelmään. Suunnittelun toimivuutta testattiin muotoilun ja mekaniikkasuunnittelun sekä yleisen käytettävyyden kannalta.

### **6.2.1 Muotoilu ja mekaniikkasuunnittelu**

Vaatimusmäärittelyssä (ks. 4.1) laitteelle määritettiin käyttöympäristön kannalta hyvän vedeneristyskyvyn lisäksi seuraavat vaatimukset: käyttöympäristöä kestävä rakenne sekä materiaalien, värien ja pintojen käyttöturvallisuus. Testaus suoritettiin vaatimusten muilta osin, pois lukien rakenteen kestävyys. Syynä tähän olivat lopullisen valmistusmateriaalin ja käytetyn valumateriaalin käyttäytymisen mahdolliset eroavaisuudet, jotka vääristävät testitulosten hyödyntämistä.

Koteloinnin muotoilun ja mekaniikkasuunnittelun onnistuneisuutta testattiin vaaratilanteiden syntyminen mahdollisuutta. Kotelo suunniteltiin irtoamaan telakointilevystä siihen kohdistuvan iskun ollessa riittävän suuri. Testauksessa selvitettiin kotelon irtoamiseen tarvittava työ.

Muotoilun avulla pyrittiin estämään koteloinnin päälle kertyvä vesi sekä siitä mahdollisesti aiheutuva liukastumisvaara. Testauksessa tutkittiin, paljonko vettä

jäi roiskeiden jälkeen laitteen pinnalle. Tämän lisäksi selvitettiin, muuttiko pinnalle jäänyt vesi kotelon pintaa vaarallisen liukkaaksi. Tulosten perusteella materiaali ei ole muuta ympäristöä liukkaampi. Saatu tulos on viitteellinen, sillä teollisen version pinta ja materiaalit saattavat toimia eri tavoin.

Koteloinnin vaalea väri suunniteltiin erottumaan selvästi tummasta kiinnityspinnastaan, mikä luo riittävän kontrastin kappaleiden välille. Suunnittelussa kontrastin tarkoitus oli pienentää näkörajoitteisten käyttäjien riskiä törmätä laitteeseen. Tehdyt havainnot osoittivat laitekotelon havaitsemisen taustastaan varsin helpoksi.

Testaustulokset muotoilun kannalta olivat seuraavat: laitekotelo irtosi telakointilevystä suoraan ylöspäin jousivaa'an näyttäessä 1,4 kg. Sivusuunnasta vedettäessä vaaka näytti 4,3 kg kotelon irrotessa. Magneetit mahdollistivat myös kotelon kiinnityksen joustamisen tärähdysten ja siihen kohdistuneiden kolausten aikana.

Koteloä kasteltaessa laitteen muotoilu poisti vettä tehokkaasti. Kotelon kannen ylimmälle pinnalle jäi sen pinta-alaan nähden 5–15 % makaavaa vettä. Vesi vähensi pinnan kitkakerrointa, mutta ei tehnyt sitä muita allastiloissa käytettyjä materiaaleja liukkaammaksi. Tiedon perusteella laitetta olisi turvallista käyttää.

## **6.2.2 Käytettävyys**

Kotelon suunnitteluvaiheessa pyrittiin luomaan vaatimusmäärittelyn mukainen, käyttäjäystävällinen käyttöliittymä. Kriteerit koskivat asennusta, näkyviä toimintoja sekä latausta. Testauksessa tutkittiin seuraavien vaatimusten toteutumista: yksinkertainen asentaminen ja asennuksen purku, palaute laitteen päällä olemisesta sekä palaute RFID-tunnisteen onnistuneesta lukemisesta. Testaus toteutettiin kahdeksan hengen käyttäjäryhmän avulla, joka koostui tekniikan alan opiskelijoita sekä uimavalmentajista. Testauksen jälkeen testihenkilöiltä kerättiin palautelomake (liite 3).

Testitulokset osoittivat käytettävyyden erittäin hyväksi. Laitekotelo ohjautui paikoilleen telakointilevyyn kytkettäessä. Väärin liittämistä ei tapahtunut, vaan laitteen magneetit hylkivät toisiaan ja samalla työnsivät koteloa pois telakointilevyistä. LED-valoilla toteutettuja palautteita pidettiin selkeinä. Laitteen päällä olemisesta kertova vihreä LED-valo syttyi välittömästi kytkettäessä kotelo paikoilleen. RFID-tunnisteen lukemista ilmaiseva kirkas välähdys oli selkeä, mutta pitkäaikaisessa käytössä ehkä liian voimakas. Asennuksen purku eli kotelon poistaminen telakointilevystä onnistui testeissä erittäin helposti. Kaikki testihenkilöt arvioivat käytettävyyden onnistumista asteikolla 1–5. Saatujen tulosten keskiarvoksi tuli 4,5.

### **6.3 Mittausjärjestelmän toimivuus**

Mittausjärjestelmän toimivuutta oli tämän työn suunnitteluvaiheessa tarkoitus tutkia perusteellisesti. Alkuasetelmat kuitenkin muuttuivat työn edetessä, eikä testauksissa käytetty elektroniikka vastannut laitejärjestelmän vaatimuksia. Laitekotelon sisään asennetusta keskusyksiköstä puuttui muun muassa latauksen mahdollistava elektroniikka sekä datan siirrosta vastaava elektroniikka. Tästä johtuen testaus rajoittui RFID-lukijalaitteen toiminnan tarkasteluun. Testauksen edetessä ilmeni antennin ohjauselektroniikan toiminnassa epävarmuutta, eikä testauksista saatu kattavia.

Mittausjärjestelmästä saatiin todennettua sen teoreettinen toimintamalli käytännössä. Järjestelmä toimii suunnitellusti, mutta seuraavaan prototyyppiin on mietittävä uusia materiaaliratkaisuja rakenteiden kestävyysparantamiseksi sekä taattava elektroniikan laadukkuus ja stabiliteetti.



## 7 JATKOKEHITYSMAHDOLLISUUDET

SET-uinninmittausjärjestelmän ensimmäinen prototyyppiversio osoitti mittausidean toimivuuden olevan riittävällä tasolla. Vaaditaan kuitenkin pidempikestoisia testauksia erilaisissa olosuhteissa sekä erilaisilla valmistusmateriaaleilla ja elektroniikkaratkaisuilla, jotta jatkokehitys johtaisi teolliseksi tuotteeksi saakka. Työ auttoi löytämään olemassa olevat ongelmakohdat ja antoi paljon arvokasta lisätietoa seuraavan vaiheen prototyypin suunnitteluun.

Työn aikana syntyi ajatus laitekotelossa käytettyjen mekaniikkaratkaisujen hyödyntämisestä myös muissa sovelluksissa, joissa tarvitaan helposti kiinnitettävää, kannettavaa sekä kontaktit säilyttävää kotelointia. Vastaavien ratkaisujen olemassa olo tulee tutkia ja pohtia, onko sovelluksella markkina-arvoa.

## 8 POHDINTA

Työn suunnittelun, toteutuksen ja testauksen laajuus oli tiedossa työhön ryhdyttäessä. Työn valmistuessa tulokset päätyisivät tekijän käytettäväksi. Tästä syystä vain yhden osa-alueen valitseminen työn kohteeksi ei tuntunut oikealta, sillä muut osa-alueet tulisi tehdä joka tapauksessa. Vaikutti myös siltä, että vain yhden osa-alueen tarkastelusta olisi vaikeaa saada riittävästi sisältöä.

Laiteteknelon suunnittelu sujui ongelmitta riittävän selvitystyön ja sen kautta saatujen vaatimusmäärittelyjen avulla. Kattava suunnittelutyö helpotti myös 3D-mallintamista. Mallin toteuttaminen onnistui ilman tarvetta myöhemmille muutoksille.

Tyhjiövalumuottien valmistus aiheutti ensimmäisen takaiskun, kun muottisilikoni reagoi käytettyyn pikaliiman aktivaattoriin. Uusi muotti valmistui kuitenkin päivän työskentelyn jälkeen. Itse tyhjiövalut onnistuivat odotusten mukaisesti ja vastasivat toivottua tasoa.

Jousikuormitteisten mittakärkien käyttö kontaktien aikaansaamiseksi osoittautui hyväksi ideaksi. Lopputoteutus onnistui suunniteltua paremmin. Myös magneettien käyttö laitteen kiinnityksessä toi toivotun tuloksen alun epäilyjen jälkeen. Molemmat toteutustavat ovat mukana jatkokehityksessä.

Työn edetessä eniten vastoinkäymistä ja päänvaivaa aiheutti heikosti tai ei lainkaan toimiva elektroniikka. Työ viivästyi tästä johtuen huomattavasti. Testaukset pyrittiin suorittamaan monipuolisesti ja huolella. Elektroniikka-ongelmien takia aikataulu alkoi muodostua kireäksi, jolloin testauksista oli jätettävä pois pitkän aikavälin testaukset. Toteutuneet testaukset antoivat kuitenkin riittävästi informaatiota työn tavoitteiden toteutumisesta.

Työ vaati resursseja, niin ajallisia kuin taloudellisia, suunniteltua enemmän. Vastaavasti se antoi paljon uusia näkökulmia ja ideoita uinnimittausjärjestelmän eteenpäin viemiseksi. Tilaajan edustaja oli prototyyppiin tyytyväinen.

## LÄHDELUETTELO

INGUN GKS 365. 2012. Saatavissa:

[http://www.ingun.de/media/pdf/ks/gks\\_en/gks-365-366-e.pdf](http://www.ingun.de/media/pdf/ks/gks_en/gks-365-366-e.pdf). Hakupäivä  
16.5.2012.

Medac Oy. 2007. Muovimateriaalit ja muottitekniikka: Muovituotteen suunnittelun perusteet. Luentomateriaali 4.–5.6.2007. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, täydennyskoulutus.

Ohjeet uimahallien ja kylpylöiden turvallisuuden edistämiseksi. 2012. Saatavissa:

<http://www.tukes.fi/Tiedostot/Tuoteturva/Kuluttajavirasto/9.%20Ohjeet%20uimahalli-en%20ja%20kylpyl%C3%B6iden%20turvallisuuden%20edist%C3%A4miseksi%20.pdf>. Hakupäivä 16.5.2012.

SFS-EN + A1: Sähkölaitteiden koteloituokat (IP-Koodi). Suomen standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 2000-11-06.

TULI – Tutkimuksesta liiketoimintaa 2008–2012. 2012. Saatavissa:  
<http://www.tekes.fi/ohjelmat/tuli>. Hakupäivä 16.5.2012.

OAMK		TESTAUSSUUNNITELMA		1 (10)	
Laatija(t) SAAVALAINEN JUHO	Tiedosto SET-testausraportti		Versio 0.1		
Hyväksynyt	Luotu 24.04.2012	Talletettu	Tulostettu		

# SET-JÄRJESTELMÄ

## TESTAUSSUUNNITELMA VERSIO 01

### DOKUMENTIN VERSIOHISTORIA

VERSIONRO	PÄIVÄMÄÄRÄ	MUUTOSPERUSTE	TEKIJÄ / HYVÄKSYJÄ
0.10	24.04.2012	Päivitetty testaussuunnitelma	Juho Saavalainen
0.01	24.04.2012	Dokumentin pohja	Juho Saavalainen

OAMK		TESTAUSSUUNNITELMA		2 (10)
Laatija(t) SAAVALAINEN JUHO	Tiedosto SET-testausraportti	Versio 0.1		
Hyväksynyt	Luotu 24.04.2012	Talletettu	Tulostettu	

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO	3
2 TESTATTAVAT OMINAISUUDET	4
2.1 LAITEKOTELON TESTAUS	4
2.2 LAITEKOTELON TOIMINTA OSANA JÄRJESTELMÄÄ	4
2.2.1 Muotoilu ja mekaniikkasuunnittelu	4
2.2.2 Käytettävyys	5
2.3 MITTAUSJÄRJESTELMÄN TESTAUS	5
3 TESTAUSMENETELMÄT	6
3.1 LAITEKOTELON TESTAUSMENETELMÄT	6
3.1.1 Sähkölaitteiden koteloituudet – standardin mukainen menetelmä	6
3.1.2 Altistaminen käyttöympäristölle – menetelmä	7
3.2 LAITEKOTELON MUOTOILUN JA MEKANIIKAN SEKÄ KÄYTETTÄVYYDEN TESTAUSMENETELMÄT	8
3.2.1 Koteloinnin kiinnitysmekaniikan testausmenetelmä	8
3.2.2 Koteloinnin muotoilun testausmenetelmä	8
3.2.3 käytettävyys	9
3.3.1 RFID-lukijalaitteen testausmenetelmä	10
3.3.2 mekaniikkaosien tarkastelu	10

OAMK		TESTAUSSUUNNITELMA		3 (10)
Laatija(t) SAAVALAINEN JUHO	Tiedosto SET-testausraportti	Versio 0.1		
Hyväksynyt	Luotu 24.04.2012	Talletettu	Tulostettu	

## 1 JOHDANTO

Tämä dokumentti sisältää SET-uinninmittausjärjestelmän testaussuunnitelman. Testaus on osa Tekniikan yksikön insinööriopiskelija Juho Saavalaisen opinnäytetyötä. Projektin kohteena on SET-uinninmittausjärjestelmän prototyyppi jonka avulla voidaan seurata uimalla liikuttua matkaa ja siihen käytettyä aikaa. Projektin tilaaja on Oulun seudun ammattikorkeakoulun Hyvinvointiteknologian tutkimus- ja tuotekehityskeskus.

Dokumentin tarkoitus on esittää testattavan järjestelmän eri testausmenetelmät. Dokumentti liitetään opinnäytetyön dokumentaatioon.

OAMK		TESTAUSSUUNNITELMA		4 (10)
Laatija(t) SAAVALAINEN JUHO	Tiedosto SET-testausraportti	Versio 0.1		
Hyväksynyt	Luotu 24.04.2012	Talletettu	Tulostettu	

## 2 TESTATTAVAT OMINAISUUDET

Testaus jaetaan kolmeen osioon, joissa laitekotelon sekä järjestelmäkokonaisuuden ominaisuuksia selvitetään erilaisista näkökulmista. Laitetekotelon osalta testataan vedeneristyskykyä sekä muotoilun ja mekaniikan toimivuutta. Järjestelmäkokonaisuuden osalta testataan käytettävyyttä loppukäyttäjän kannalta, lisäksi tutkitaan mittausjärjestelmän toimintaperiaatetta käytännössä.

### 2.1 Laitetekotelon testaus

Laitetekotelosta testataan mekaniikkasuunnittelun toimivuus, koskien koteloinnin vedeneristyskykyä. Koteloinnin suunnittelussa pyrittiin estämään veden pääsy kontaktipinnoille, sekä koteloinnin sisään asennettavaan keskusyksikköön. Alustavasti veden ja kosteuden eristäminen kontaktipinnoista toteutettiin laitekotelon profiilin avulla. Tarvittaessa kotelointiin asennetaan tiivisterengas, mikäli profiili ei yksin riitä. Tämän jälkeen testaus toistetaan. Koteloinnin keskusyksikön suojaus on toteutettu laitekotelon kansi- ja pohjalevyjen saumaan asennettulla tiivistemassalla. Koteloinnissa olevat aukot on tiivistetty, käyttäen samaa tiivistemassaa jousikuormitteisten mittapäiden osalta, sekä pikaliimaa kanteen kiinnitettyjen valonjohteiden osalta. Tutkitaan onko tehty saumaus riittävä.

### 2.2 Laitetekotelon toiminta osana järjestelmää

#### 2.2.1 Muotoilu ja mekaniikkasuunnittelu

Testattavan laitekotelon kiinnitys, käytön aikana irrotettavien osien välillä, on toteutettu magneettien avulla. Magneettien keskimääräiseksi vetovoimaksi on kappaletta kohti annettu 3,4 kg ideaalissa olosuhteissa. Koteloinnissa on käytet-

OAMK		TESTAUSSUUNNITELMA		5 (10)
Laatija(t) SAAVALAINEN JUHO	Tiedosto SET-testausraportti	Versio 0.1		
Hyväksynyt	Luotu 24.04.2012	Talletettu	Tulostettu	

ty kahdeksan magneettia, jotka muodostavat neljä, toisiaan puoleensavetävää paria. Testauksessa selvitetään, kuinka paljon työtä vaaditaan koteloinnin keskusyksikköosan irrottamiseksi telakointilevystä. Järjestelmän osien tulee suunnittelun mukaan irrota helposti, myös vahinkotilanteissa, pienentäen tapaturmariskiä.

Testauksessa selvitetään myös mallinnetun koteloinnin pinnalle, käytössä roiskuvan ja siihen jäävän veden määrää. Tutkitaan aiheuttaako makaavavesi liukastumisriskin kasvamista.

### 2.2.2 Käytettävyys

Prototyypin mahdollinen kehittäminen teolliseksi tuotteeksi, vaatii hyvän käyttöliittymän. Työssä testataan käyttöliittymän käytettävyyden onnistumista, mekaniikkasuunnittelun osalta. Selvitetään onko laitteen päälle ja poiskytkentä suunnitellun mukaista sekä ovatko toiminnasta kertovat palautteet riittävän selkeät. Palautteet on toteutettu käyttäen LED-valoja sekä valonjohteita.

### 2.3 Mittausjärjestelmän testaus

Testataan mittausjärjestelmäkokonaisuuden toimintaperiaatetta, testauksen mahdollistavien ominaisuuksien osalta. Prototyypissä käytetty elektroniikka mahdollistaa RFID-tunnistuksen toiminnan testaukseen käytetyillä komponenteilla. Testauksessa selvitetään lisäksi mekaniikkaosien muodostaman kokonaisuuden onnistumista, seuraavan vaiheen prototyypin kehittämisen kannalta.



OAMK		TESTAUSSUUNNITELMA		6 (10)
Laatija(t) SAAVALAINEN JUHO	Tiedosto SET-testausraportti	Versio 0.1		
Hyväksynyt	Luotu 24.04.2012	Talletettu	Tulostettu	

### 3 TESTAUSMENETELMÄT

Testaukset suoritetaan käyttämällä erilaisia testausmenetelmiä. Käytetyt menetelmät on jaettu testattavien ominaisuuksien mukaan. Menetelmät on kuvattu alla.

#### 3.1 Laitekotelon testausmenetelmät

Laitekotelon vedeneristyskyvyn testauksessa käytetään kahta menetelmää: Standardinmukaista sekä sijoittamista käyttöympäristöön. Standardinmukaisessa hyödynnetään SFS-EN 60529 + A1 - sähkölaitteiden koteloitiluokat – standardissa esitettyjä testausmenetelmiä. Eristyskyvyn toinen testivaihe suoritetaan altistamalla laitteisto käyttöympäristölle määrätyksi ajanjaksoksi. Testausmenetelmät molempien testausten osalta on kuvattu tarkemmin omina kohtinaan.

##### 3.1.1 Sähkölaitteiden koteloitiluokat – standardin mukainen menetelmä

SFS-EN 60529 + A1 – standardi määrittää sähkölaitteiden koteloitiluokat, koteloinnin suojaavuuden perusteella. Suojausluokitus määräytyy koteloinnin tehokkuudesta 1) estää henkilöitä koskettamasta koteloinnin sisällä olevia vaarallisia osia, 2) estää vieraiden esineiden ja pölyn haitallisen tunkeutumisen koteloinnin suojaamiin käyttölaitteisiin ja 3) estää veden haitallisen tunkeutumisen koteloinnin suojaamiin käyttölaitteisiin. Tässä projektissa tutkitaan ainoastaan veden haitallisen tunkeutumisen – estokykyä, standardin lopussa määritettyjen testien avulla. Tulosten perusteella voidaan määrittää prototyypin koteloitua vastaava koteloitiluokka. Määrityksen tarkoituksena ei ole hakea kotelolle kyseistä suojausastetta, vaan arvioida standardisoitujen testien kautta työn suunnittelun on-

OAMK		TESTAUSSUUNNITELMA		7 (10)
Laatija(t) SAAVALAINEN JUHO	Tiedosto SET-testausraportti	Versio 0.1		
Hyväksynyt	Luotu 24.04.2012	Talletettu	Tulostettu	

nistumista. Standardisoitu testausmenetelmä voidaan toistaa tarvittaessa. Tämä on ensiarvoisen tärkeää prototyypin jatkokehitystä silmälläpitäen.

Testausvälineinä käytetään kaariputkea sekä 6,3 mm suuttimella tuotettua vesisuihkua. Kaariputki on sovellettu versio standardissa esitetystä laitteesta. Testaus suoritetaan testausehtojen mukaisesti. Tarkemmat kuvaukset testauslaitteista ja – testausehdoista ovat liitteenä (LIITE 1)

### 3.1.2 Altistaminen käyttöympäristölle – menetelmä

Testausmenetelmässä laitteisto sijoitetaan käyttöympäristöön ja altistetaan vesiroiskeille, 1 – 2 tunnin ajan. Altistaminen toteutuu kilpauintiryhmän harjoittellessa koteloinnin tiiviissä läheisyydessä. Laitteisto sijoitetaan uima-altaan reunalla, samalle radalle uimareiden kanssa. Uimareita pyritään saamaan 25 m altaaseen 5-7 henkilöä ja 50 m altaalle 10–14. Testaukseen osallistuvien uimareiden määrä ratkaisee vesiroiskeiden intensiteetin, joka testauksessa pyritään nostamaan korkeaksi. Uimareiden määrä testissä perustuu arvioituun harjoittelijamäärä maksimiin yhtä rataa kohti.

Testauksen aikana tutkitaan haitallisen veden pääsyä koteloinnin pohjalevyn ja telakointilevyn väliin ja kontaktipinnoille. Tulokset kirjataan ylös. Testin lopuksi kotelointi altistetaan mahdollisen suurelle määrälle vesiroiskeita uimareiden toimesta. Myös nämä tulokset kirjataan ylös.

OAMK		TESTAUSSUUNNITELMA		8 (10)
Laatija(t) SAAVALAINEN JUHO	Tiedosto SET-testausraportti	Versio 0.1		
Hyväksynyt	Luotu 24.04.2012	Talletettu	Tulostettu	

## 3.2 Laitekotelon muotoilun ja mekaniikan sekä käytettävyyden testausmenetelmät

### 3.2.1 Koteloinnin kiinnitysmekaniikan testausmenetelmä

Koteloinnin kiinnitysmekaniikka testataan tutkimalla sitä voiman määrää, millä kotelointi irtoaa telakointilevystä. Testaus suoritetaan nostamalla koteloa suoraan ylöspäin sekä työntämällä kotelointia sivulta. Mittauksessa käytetään jousivaakaa, jonka avulla kappaletta liikutetaan. Kappaleen irrotessa telakointilevystä, luetaan vaa'an antama tulos. Kirjataan ylös saadut tulokset. Tuloksista arvioidaan, kiinnityksen merkitystä tapaturmariskin osalta.

### 3.2.2 Koteloinnin muotoilun testausmenetelmä

Tutkitaan koteloinnin pintoihin kerääntyvää, makaamaan jäävää vettä. Menetelmässä kotelointia suihkutetaan ylhäältäpäin 15 sekunnin ajan, vedenpaineen ollessa 10 litraa/ minuutissa. Kastelemisen jälkeen, arvioidaan laitteen pintaan kerääntynyt veden määrä kotelon pinta-alaan nähden. Testi toistetaan 5 kertaa. Tulokset kirjataan ylös.

Tutkitaan veden aiheuttaman kitkakertoimen muutosta pinnassa ja verrataan saatua tulosta käyttöympäristön, laitetta lähellä sijaitseviin pintoihin. Käytännössä vertaus tehdään allastilojen kaakelointiin. Tulokset mitataan vertaamalla kivia pintoja sekä kasteltuja pintoja omina kohtinaan. Testauksessa käytetään 1 kg painoa sekä jousivaakaa. Painoa liikutetaan kappaleiden pinnassa. Mahdolliset kitkakertoimen muutokset luetaan vaa'asta. Mikäli laitteen pinnan kitkakerroin on suurempi allastilojen materiaaleissa esiintyvään kitkakertoimeen, voidaan laitetta pitää allastiloihin riittävän turvallisena.

OAMK		TESTAUSSUUNNITELMA		9 (10)
Laatija(t) SAAVALAINEN JUHO	Tiedosto SET-testausraportti	Versio 0.1		
Hyväksynyt	Luotu 24.04.2012	Talletettu	Tulostettu	

### 3.2.3 käytettävyys

Käytettävyyden testaus toteutetaan testiryhmän avulla. Testihenkilöille annetaan tehtäväksi asentaa kotelointi kiinni päätylevyyn, tutkia LED-valoilla annettuja palautteita, sekä purkaa asennus. Testausta varten toteutetaan testauslomake (LIITE 2), jossa testihenkilöt arvioivat laitteen käytettävyyttä. Testausta varten pyritään saamaan 5–10 testihenkilöä. Saadut tulokset analysoidaan.

OAMK		TESTAUSSUUNNITELMA		10 (10)
Laatija(t) SAAVALAINEN JUHO	Tiedosto SET-testausraportti		Versio 0.1	
Hyväksynyt	Luotu 24.04.2012	Talletettu	Tulostettu	

### 3.3 Mittausjärjestelmän testausmenetelmät

#### 3.3.1 RFID-lukijalaitteen testausmenetelmä

Selvitetään päätylevyissä sijaitsevan RFID-antennin luoma peittoalue, sekä sen vaikutukset RFID-tunnisteen lukuetaisyyteen. Testaus suoritetaan laboratoriossa, kuljettamalla RFID-tunnistetta kohti antennilevyä. Tunnisteen tullessa antennin peittoalueelle, laitteisto antaa tapahtuneesta palautteen valonvälähdyksenä. Palautteenannon kohdalla, mitataan etäisyys antennilevyyn, kyseisellä kohdalla. Testaus suoritetaan toistamalla mittauksia eri puolilta antennilevyä. Tunnisteen tulokulmaa antennilevyyn nähden voidaan mittauksissa muuttaa ja tutkia miten kulman muuttaminen vaikuttaa tulokseen. Tulokset kirjataan ylös.

Testaus toisinnetaan uima-altaassa. Koehenkilö ui kohti antennilevyä sekä siitä poispäin. Koehenkilö on varustettu kahdella RFID-tunnisteella, jotka on sijoitettu ranteeseen ja nilkkaan. Tutkitaan ehtiikö laitteisto rekisteröidä kääntyvän henkilön tunnisteen. Testaus suoritetaan käyttämällä kaikkia kilpauintilajien käännöksiä ja maaliintuloja. Testauksessa leimausten lukeminen pyritään tekemään eri puolille päätylevyä.

#### 3.3.2 mekaniikkaosien tarkastelu

Testauksen aikana tarkastellaan järjestelmän mekaniikkaosien käyttäytymistä. Tehdään huomioita toimivuudesta ja mahdollisista ongelmakohdista. Testaus suoritetaan käyttöympäristössä.

OAMK		TESTAUSRAPORTTI		1 (8)	
Laatija(t) SAAVALAINEN JUHO	Tiedosto SET-testausraportti		Versio 0.1		
Hyväksynyt	Luotu 24.04.2012	Talletettu	Tulostettu		

# SET-JÄRJESTELMÄ

## TESTAUSRAPORTTI VERSIO 01

### DOKUMENTIN VERSIOHISTORIA

VERSIONRO	PÄIVÄMÄÄRÄ	MUUTOSPERUSTE	TEKIJÄ / HYVÄKSYJÄ
0.10	28.4.2012	Testien tulokset	Juho Saavalainen
0.01	27.4.2012	Dokumentin pohja	Juho Saavalainen

OAMK		TESTAUSRAPORTTI		2 (8)	
Laatija(t) SAAVALAINEN JUHO	Tiedosto SET-testausraportti		Versio 0.1		
Hyväksynyt	Luotu 24.04.2012	Talletettu	Tulostettu		

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO	3
2 TESTAUSTULOKSET	4
2.1 LAITEKOTELON TESTAUS	4
2.2 LAITEKOTELON MUOTOILU JA MEKANIikka	5
2.2 JÄRJESTELMÄN KÄYTETTÄVYYS	6
2.3 MITTAUSJÄRJESTELMÄN TESTAUS	6
2.4 MEKANIikkaOSIEN KÄYTTÄYTYMINEN KÄYTTÖYMPÄRISTÖSSÄ	8

OAMK		TESTAUSRAPORTTI		3 (8)
Laatija(t) SAAVALAINEN JUHO	Tiedosto SET-testausraportti	Versio 0.1		
Hyväksynyt	Luotu 24.04.2012	Talletettu	Tulostettu	

## 1 JOHDANTO

Tämä dokumentti sisältää SET-uinninmittausjärjestelmän testaustulokset. Testaukset suoritettiin testaus suunnitelman mukaisesti. Testaus ja tuloksien esittely on osa Tekniikan yksikön insinööriopiskelija Juho Saavalaisen opinnäytetyötä. Projektin kohteena on SET-uinninmittausjärjestelmän prototyyppi jonka avulla voidaan seurata uimalla liikuttua matkaa ja siihen käytettyä aikaa. Projektin tiilaja on Oulun seudun ammattikorkeakoulun Hyvinvointiteknologian tutkimus- ja tuotekehityskeskus. Dokumentti liitetään opinnäytetyön dokumentaatioon.



OAMK		TESTAUSRAPORTTI		4 (8)
Laatija(t) SAAVALAINEN JUHO	Tiedosto SET-testausraportti	Versio 0.1		
Hyväksynyt	Luotu 24.04.2012	Talletettu	Tulostettu	

## 2 TESTAUSTULOKSET

Testaukset suoritettiin testaussuunnitelman mukaisesti omina kokonaisuuksinaan.

### 2.1 Laitekotelon testaus

Laitekotelosta testattiin mekaniikkasuunnittelun toimivuus, koskien koteloinnin vedeneristyskykyä. Testaukset vietiin läpi alkuperäisen suunnitelman mukaisesti, pois lukien SFS-EN 60529 + A1-standardin, kaariputken avulla toteutettavaa testausta. Kaariputken sijaan käytettiin 80 mm halkaisijaltaan olevaa, 36 reikäistä suihkupäätä, käytetyn vesimäärän ollessa standardin mukainen.

Standardinmukaisen testauksen tuloksiksi saatiin seuraavaa. Koteloinnin profiili estää suoran veden pääsemisen kontaktipinnoille, testattaessa suihkupään avulla, laitteen ollessa vaakasuorassa ja veden tullessa ylhäältäpäin +/- 60 asteen kulmassa. Testauksen aikana vettä nousi hieman kontaktien laiduille, kappillaari-ilmiön seurauksena. Vesi ei kuitenkaan päätenyt suoraan kontaktien välillä ja aiheuttanut häiriöitä.

Ruiskutettaessa vettä 6,3 mm suuttimella, 12,5 litraa minuutissa – paineella, kastuivat kontaktipinnat täysin. Testausta suoritettiin 3 minuutin ajan, kastellen pääsääntöisesti alaviistosta. Testauksen jälkeen kotelon pohjaan asennettiin kloropreenikumitiiviste. Tämän jälkeen testaus toistettiin. Testin aikana kaikki kontaktit säilyivät kuivina.

Standardinmukaisen testauksen jälkeen koteloointi avattiin ja tutkittiin oliko sisälle päässyt vettä. Havaittiin kotelossa olevan hieman vettä. Vuotokohdaksi ha-

OAMK		TESTAUSRAPORTTI		5 (8)
Laatija(t) SAAVALAINEN JUHO	Tiedosto SET-testausraportti		Versio 0.1	
Hyväksynyt	Luotu 24.04.2012	Talletettu	Tulostettu	

vaiettiin valonjohteiden ja kotelon välinen sauma. Saumaus uusittiin ja kotelointi suljettiin. Uusia vuotokohtia ei ilmennyt.

Käyttöympäristössä suoritettu testaus toteutettiin Oulun lohett ry:n Kilpa 1 –ryhmän avulla. Testauksen aikana radalla harjoitteli 6 uimaria. Testaus kesti 1 tunnin ajan. Testauksessa kävi ilmi että käyttöympäristössä syntyviä vesiroiskeita syntyi odotettua vähemmän ja niistä harva osui kotelointiin. Kontaktit säilyivät kuivina testauksen ajan. Testauksen lopuksi uimareita pyydettiin tuottamaan hetkellisesti mahdollisimman paljon roiskeita koteloon päin. Kotelointiin kohdistui vettä arviolta 20–30 litraa testaukseen käytetyn minuutin aikana. Kaikki kontaktit kastuivat.

Molemmissa testauksissa kontakteille pääsi vettä. Tästä huolimatta jousikuoritteiset mittapäät säilyttivät kontaktit ja järjestelmä pysyi toiminnassa. Kontaktipintojen havaittiin kuitenkin lämmenneen huomattavasti kosteuden seurauksena.

## 2.2 Laitekotelon muotoilu ja mekaniikka

Kiinnityksen osalta selvitettiin koteloinnin irrottamiseen tarvittava voima, N. Testaus suoritettiin vetämällä kotelointi irti telakointilevystä jousivaa'an avulla. Testauksessa saatiin seuraavat tulokset. Suoraan ylöspäin suuntautunut veto, antoi jousivaa'alla tuloksen 1.4 kg. Tämä vastaa n. 13,7 N voimaa. Sivusuunnasta vedettäessä, vaaka antoi 4.3 kg, voiman ollessa n. 42,2 N.

Käyttöympäristössä roiskuvan ja koteloinnin päälle jäävän veden aiheuttamia pinnan lepokitkakertoimen muutoksia testattiin vetämällä muovipintaista, 3530 g painoa jousivaa'alla koteloinnin pintaa pitkin, pinnan ollessa sekä kuiva että kasteltu. Vertailupintana käytettiin uima-altaan reunan kaakelointia. laitekotelon ja muovin väliseksi lepokitkakertoimeksi,  $\mu$ s saatiin: kuivana 0.6 ja vedellä liu-

OAMK		TESTAUSRAPORTTI		6 (8)
Laatija(t) SAAVALAINEN JUHO	Tiedosto SET-testausraportti	Versio 0.1		
Hyväksynyt	Luotu 24.04.2012	Talletettu	Tulostettu	

kastettuna 0,5. Kaakelin ja muovipinnan välillä vastaavat kertoimet olivat: kiviä 0,8 ja vedellä liukastettuna 0,4. Tuloksista voidaan päätellä kotelon pinnan olevan käyttöympäristöönsä nähden, riittävän pitävä.

## 2.2 Järjestelmän käytettävyys

Testaus suoritettiin suunnitelman mukaisesti. Testikäyttäjien osalta testaus jäi vajaaksi. Testiin osallistui 8 koehenkilöä. Toisaalta testiin vastanneista kaikki olivat yksimielisiä järjestelmän käytettävyydestä. Testilomakkeesta saatujen tietojen perusteella, käytettävyyden voidaan mekaniikan osalta nähdä onnistuneeksi. Alla on esitelty testaustulosten analysoinnit ja keskiarvot.

Asteikolla 1-5, kuinka vaikeaa/helppoa laitteen onnistunut kytkeminen oli. Keskiarvo 5,00.

Asteikolla 1-5, kuinka vaikeaa/helppoa laitteen onnistunut kytkeminen oli. Keskiarvo 4,75.

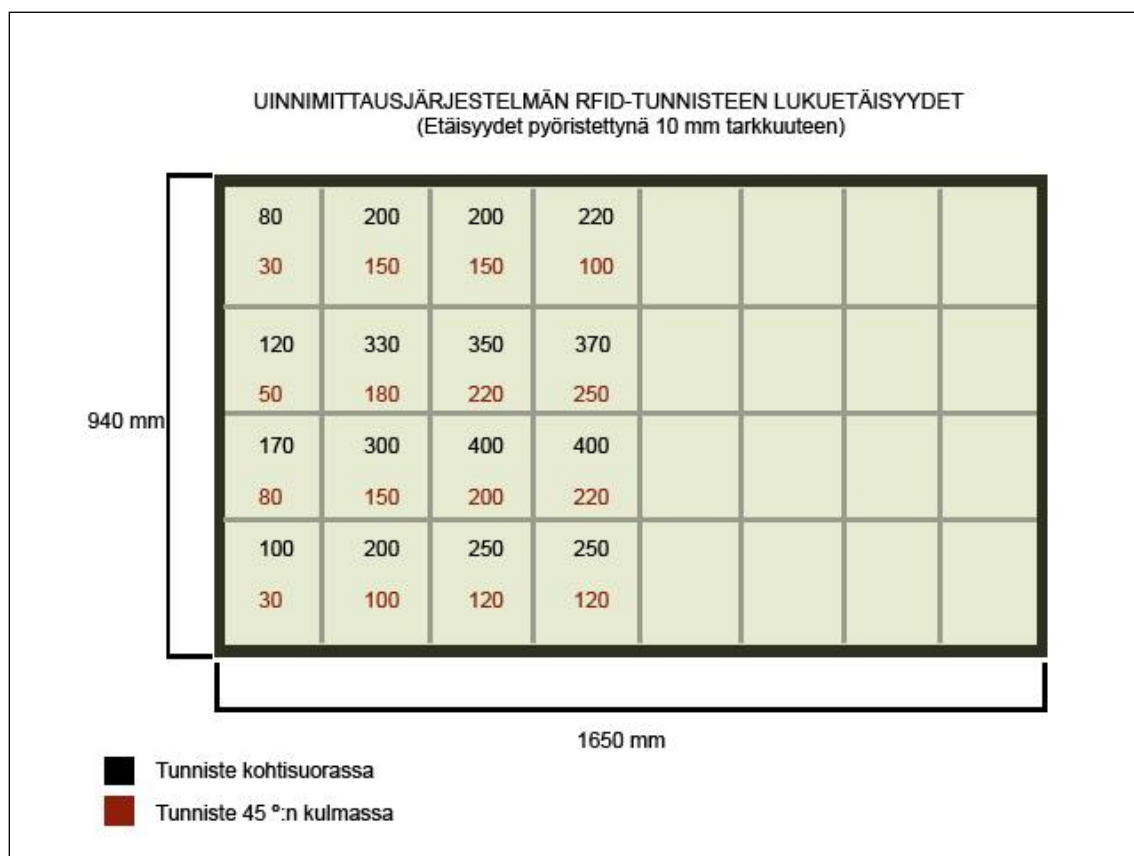
Kaikki testihenkilöt havaitsivat järjestelmän toiminnasta kertovat palautteet. Palautteet havaittiin selkeiksi. Päällä/pois päältä – palaute sai keskiarvon 5,00. RFID-tunniste – palaute havaittiin hieman heikommin, keskiarvon ollessa 4,625. Testauksessa testihenkilöitä olisi pitänyt ohjeistaa näyttämään tunnistetta tietyssä asennossa, tiettyyn kohtaan antennilevyä. Testauksen aikana osa käyttäjistä piti tunnistetta väärässä asennossa, jolloin lukemista ei tapahtunut. Myös antennikentässä olevat aukkokohdat aiheuttivat virhetilanteita. Kaikkiaan palautteet koettiin toimiviksi.

Testauksen päätteeksi kysyttiin käyttöliittymäkokonaisuudelle arvosanaa välillä 1-5. Käyttöliittymän yleisarvosanan keskiarvoksi muodostui 4,75. Tulosta voidaan pitää erittäin hyvänä.

OAMK		TESTAUSRAPORTTI		7 (8)
Laatija(t) SAAVALAINEN JUHO	Tiedosto SET-testausraportti	Versio 0.1		
Hyväksynyt	Luotu 24.04.2012	Talletettu	Tulostettu	

## 2.3 Mittausjärjestelmän testaus

Testattiin RFID-laitteiston toimintaa. Aluksi tutkittiin antennirakenteen muodostamaa peittoaluetta, mittaamalla RFID-tunnisteen lukuetaisyyksiä. Testauksessa antennilevy jaettiin 0,2 m x 0,2 m kokoa oleviin ruutuihin. Jokaisesta ruudusta mitattiin lukuetaisyys tunnisteen ollessa kohtisuorassa antennikenttään nähden sekä kallistettuna 45 °:n kulmaan. Testaus suoritettiin antennilevyn toiselle puoliskolle, puoliskoiden ollessa teoreettisesti identtisiä. Tulokset on esitelty alla



olevassa kuvassa (KUVA 1).

KUVA 1. RFID-tunnisteen lukuetaisyydet.

OAMK		TESTAUSRAPORTTI		8 (8)
Laatija(t) SAAVALAINEN JUHO	Tiedosto SET-testausraportti		Versio 0.1	
Hyväksynyt	Luotu 24.04.2012	Talletettu	Tulostettu	

Käyttöympäristön osalta testaus suoritettiin suunnitelman mukaisesti. Järjestelmä toimi odotetusti: kaikki päätylevyyn suoritettut käännökset ja maaliintulot, yhtä käännöstä lukuunottamatta, saatiin luettua. Antennilevyyn kohdistuneita leimausyrityksiä suoritettiin 36 kappaletta. Neljä maaliintuloa sekä neljä käännöstä, jokaista kilpauintilajia kohden. Leimaamatta jäänyt käännös tapahtui antennin peittoalueen reunalle, RFID-tunnisteen ollessa 90° kulmassa antenniin nähden. Käytetty tekniikka ei mahdollista tunnisteen lukemista tässä kulmassa.

## 2.4 Mekaniikkaosien käyttäytyminen käyttöympäristössä

Mekaniikka osat toimivat testauksen aikana riittävällä tavalla, mahdollistaen testauksen läpiviennin. Päätylevyn kiinnitys ei ollut riittävä ja testauksen aikana päätylevyä jouduttiin tukemaan manuaalisesti. Kiinnityksen osittaista pettämistä selittää käytetyn päätylevyn ainevahvuus ja siitä johtuva keveys. Testauksessa suoritettut käännökset nostivat päätylevyä ylöspäin, mikä aiheutti vaurioita ripustuksessa.

Laitetekelo pysyi hyvin hyvin kiinni päätylevyssä, pois lukien päätylevyn kiinnityksen pettämisestä johtunutta päätylevyn nousemista ja äkillistä putoamista, minkä seurauksena laitekotelon kiinnitys irtosi. Testauksen jälkeen kuparisissa, telakointilevyn kontaktipinnoissa havaittiin voimakasta hapettumista. Järjestelmä ei kytkeytynyt päälle ennen kuin hapettumat oli mekaanisesti poistettu.

OAMK		TESTAUSRAPORTTI		9 (8)
Laatija(t) SAAVALAINEN JUHO	Tiedosto SET-testausraportti	Versio 0.1		
Hyväksynyt	Luotu 24.04.2012	Talletettu	Tulostettu	

## Tehtävänanto

1. Kytke järjestelmän kotelo-osa päätylevyyn
2. Järjestelmä antaa palautteen, kun laitteisto kytkeytyy päälle. Mitä tapahtui?
3. Tarkasta laitteen toiminta viemällä RFID-ranneke päätylevyn eteen.
4. Järjestelmä antaa palautteen, kun RFID-tunniste luetaan. Mitä tapahtui?
5. Poista järjestelmän kotelo-osa päätylevystä

## Palaute

1. **Asteikolla 1-5, kuinka vaikeaa/helppoa laitteen onnistunut kytkeminen oli?** (Ympyröi vastauksesi)

Vaikeaa  
1                      2                      3                      4                      Helppoa  
5

2. **Asteikolla 1-5, kuinka vaikeaa/helppoa laitteen onnistunut poiskytkeminen oli?**

Vaikeaa  
1                      2                      3                      4                      Helppoa  
5

3. **Havaitsitko järjestelmän antamat palautteet?**

Laitteen ollessa päällä:      Kyllä              Ei

RFID-tunnisteen luku:      Kyllä              Ei

4. **Kuinka selkeitä järjestelmän palautteet olivat?**

Päällä/Poispäältä -palaute

Epäselkeä  
1                      2                      3                      4                      Selkeä  
5

RFID-tunniste -palaute

Epäselkeä  
1                      2                      3                      4                      Selkeä  
5

5. **Minkä numeron antaisitte käyttöliittymällä?**

1                      2                      3                      4                      5

- 1 = hylätty, laitteessa liikaa kriittisiä suunnitteluvirheitä  
2 = heikko, laitteeseen tehtävä suuria muutoksia.  
3 = hyvä, laitteeseen tehtävä pieniä muutoksia  
4 = kiitettävä, laitteeseen voisi tehdä pieniä parannuksia.  
5 = kiitettävä. Ei parannettavaa.

6. **Ilmenikö käyttöliittymän osalta mitään kehitettävää?** Vapaasana. Tämän kohdan täyttäminen ei ole pakollinen. Tarvittaessa jatka sivun kääntöpuolelle.