



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Peter Lampinen

# Tarkemman puristin-heijarikairan prototyypin suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikka

Insinöörityö

21.02.2021

Tekijä Otsikko	Peter Lampinen Tarkemman puristin-heijarikairan prototyypin suunnittelu
Sivumäärä Aika	63 sivua + 3 liitettä 14.2.2021
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Ajoneuvotekniikka
Ammatillinen pääaine	Ajoneuvosuunnittelu
Ohjaajat	Lehtori Janne Nuotio Teknologia- ja myyntijohtaja Petri Koikkalainen, Geomachine Oy
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella ja valmistaa mittalaitteen prototyyppi, jota testataan tilaajan erillisessä geologisessa tutkimustyössä. Geologisen tutkimustyön tavoitteena on selvittää, voidaanko suunniteltavalla mittalaitteella saavuttaa maaperätutkimuksissa nykyisiä tarkempia mittaustuloksia mittauskäytäntöjä ja -standardeja muuttamatta. Opinnäytetyön tarkoituksena on myös valmistettavan prototyypin avulla perehtyä tuotteen suunnittelun ja valmistuksen käytäntöihin ja prosesseihin.</p> <p>Prototyypin suunnittelussa ja toteutuksessa hyödynnettiin tuotesuunnittelun prosesseja ja menetelmiä. Prototyypin suunnittelussa tarvittavat lähtötiedot kerättiin maaperätutkimuksissa käytössä olevista ohjeistuksista. Prototyypin testaukset suoritettiin maastossa maaperätutkimusvaunuilla ja kerätyt mittaustulokset analysoitiin vertaamalla maaperätutkimusvaunun tallentimen keräämiä tietoja valmistetun mittalaitteen keräämiin mittaustuloksiin.</p> <p>Opinnäytetyössä tarkastellaan prototyypin testausvaiheessa havaittuja virheitä ja epäkohtia ja etsitään ratkaisuja niiden korjaamiseen. Epäkohtien ja virheiden korjaamisen jälkeen prototyyppiä testataan uudestaan tilaajan osoittamissa testausympäristöissä. Prototyypin tuotettaessa tarkempia mittaustuloksia se on mahdollista siirtää tuotantoon.</p>	
Avainsanat	prototyyppi, tuotteen suunnittelu

Author Title	Peter Lampinen Designing accurate soil investigation equipment
Number of Pages Date	63 pages + 3 appendices 14 February 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive Engineering
Professional Major	Automotive Design Engineering
Instructors	Janne Nuotio, Senior lecturer Koikkalainen Petri, Technology and Sales Manager, Geom- achine Oy
<p>This bachelor's engineering thesis aim is to design, manufacture, and test a prototype. The prototype is to be used in the soil investigating method, functioning as a measuring device. The purpose of the prototype is to find out its feasibility to obtain more detailed measurements. The results from the measuring device are then collected and compared with current methods of today.</p> <p>The idea of the thesis is to enlighten the new product design and development process. The information needed to design the prototype is collected using guidelines made for the soil investigating standards, as the currently established methods in use. The relevant evaluation of the prototype to perform on a medium-heavy soil investigation rig.</p> <p>In the testing phase of the prototype will be detected defects. The faults are then corrected, and the prototype needs to test again. If more accurate results are being produced with the prototype it makes it a finished product.</p>	
Keywords	Prototype

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Tuotesuunnittelun aloittaminen	2
2.1	Markkina-analyysi	2
2.2	Markkina-analyysin huomiointi opinnäytetyössä	3
2.3	SWOT-analyysi	4
2.4	Markkinatutkimus	6
2.5	Markkinatutkimus ja riskien tunnistaminen opinnäytetyössä	8
2.6	Markkinoilla olevat vastaavanlaiset tuotteet	10
3	Aloituspalaveri	11
3.1	Tarkemman puristin-heijarikairan aloituspalaveri	11
3.2	Mittalaitteelle esitetyt vaatimukset	12
4	Prototyyppi ja siihen liittyvät menetelmät	13
4.1	Erilaisia prototyyppimenetelmiä	14
4.1.1	Yhden prototyypin menetelmä	14
4.1.2	Usean prototyypin menetelmä	15
4.1.3	Virtuaalinen prototyyppi	16
4.2	Opinnäytetyössä sovellettu menetelmä	18
5	Puristin-heijarikairaus	19
5.1	Puristin-heijarikairauksen suorittaminen	19
5.2	Tarkempi puristin-heijarikairaus mittalaitteella	22
6	Prototyypin suunnittelu	23
6.1	Mittalaitteeseen kohdistuvat voimat	23
6.2	Maaperätutkimuskoneen puomi ja työturvallisuus	24
6.3	Koneenkäyttäjän vastuu	25
6.4	Mittalaitteen akusto	25
6.5	Mittalaitteen osien suunnittelu ja komponenttien valinta	27

6.6	Jännitystä mittaavan voima-anturin asennus	28
6.7	Momenttia mittaavan voima-anturin asennus	29
6.8	Tallennin ja signaalinmuunninkortit	30
7	Prototyypin valmistaminen	31
7.1	Voima-anturien valinta	32
7.2	Voima-anturien ja signaalinmuunninkorttien toiminta	33
7.3	Momentin määritelmä	34
7.4	Kairaustankoihin kohdistuva jännitys	37
7.5	Etäisyysanturin valinta mittalaitteeseen	38
7.6	Kairausryöpyyden mittaaminen	39
7.7	Mittausohjelman toiminta	41
8	Toiminnallisuuden toteaminen	42
8.1	Mittalaitteen toiminnan varmistaminen testipenkissä	42
8.2	Mittalaitteen toiminnan todentaminen maaperätutkimusvaunuissa	43
8.3	Mittalaitteen toiminnan simulointi hydraulisessa puristimessa	44
9	Prototyypille haettava patentti	45
10	Prototyypissä havaittujen epäkohtien ja virheiden korjaaminen	46
10.1	Prototyypin testaaminen	47
10.2	Istukan kiinnityksen muutokset	48
10.3	Pystytuen lisääminen	51
10.4	Mittausohjelman päivittäminen	53
10.5	Kairausryöpyyden tarkkuuden parantaminen	53
11	Maaperätutkimuksen suorittaminen ja tulosten tarkastelu	53
11.1	Eroavaisuudet mittaustavoissa ja tuloksissa	54
11.2	Kairaustulosten yhdistäminen	55
11.3	Tulosten analysointi	56
12	Loppupäätelmät	58
	Lähteet	59
	Liitteet	

Liite 1. Kairauspöytäkirja 1

Liite 2. Kairauspöytäkirja 2

Liite 3. Riskien hallinta

## Lyhenteet

ANSI	American National Standards Institute
ISO	International Organisation for Standardization
OIML	Organisation Intenationale de Métrologie Légale
FDM	Fused Deposition Modelling
WLAN	Wireless Local Area Network
FEM	Finete Element Method
CSV	Comma Sparated Values

## 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön ensisijaisena tavoitteena on suunnitella mittalaitteen prototyyppi tarkempaan puristin-heijarikairaukseen. Puristin-heijarikairausta käytetään menetelmänä maaperätutkimuksissa, joissa tutkitaan maaperän kantavuutta. Puristin-heijarikairauksessa kohdemaina ovat ensisijaisesti niin kutsutun löyhän maaston maat, jotka sijaitsevat viimeisen jääkauden jäätikön muovaamilla alueilla kuten Pohjoismaissa. Mittalaitteen prototyyppiä testataan erillisessä geologisessa tutkimustyössä. Testaukset suoritetaan Geomachine Oy:n valmistamia maanperätutkimusvaunuja käyttäen. Opinnäytetyön tarkoituksena on myös valmistettavan prototyypin avulla perehtyä tuotteen suunnittelun ja valmistuksen käytäntöihin ja prosesseihin.

Suunniteltavan mittalaitteen käyttötarkoitus on Aalto-yliopistolla tehtävässä diplomityössä, jossa tutkitaan, voidaanko suunniteltavan mittalaitteen avulla saavuttaa maaperätutkimuksissa nykyisiä tarkempia mittaustuloksia mittauskäytäntöjä ja -standardeja muuttamatta. Tarkempien mittaustulosten ansiosta voidaan säästää rakennuskustannuksista esimerkiksi välttymällä paalutuksilta uusien asuinalueiden rakentamisessa tai vähentämällä maaperän täyttömääriä uusien teiden rakentamisessa.

Mittausmenetelmä uudella mittalaitteella poikkeaa nykyisin käytössä olevasta menetelmästä siten, että dataa kerätään maaperätutkimusvaunun kairaustankojen välistä. Perinteisessä puristin-heijarikairauksessa mittaustietoja kerätään maaperätutkimusvaunun istukan ja porapöydän kautta. Mittalaitteen asennuspaikan avulla selvitetään, onko mahdollista saada maaperän koostumuksesta ja sitä kautta maaperän kantokyvystä tarkempaa tietoa.

Opinnäytetyössä perehdytään tuotteen suunnittelun prosesseihin ja näkökulmiin, jotka huomioidaan mittalaitteen prototyypin suunnittelussa, testauksessa ja valmistuksessa. Kerättyjen tulosten pohjalta arvioidaan, täyttääkö uusi mittalaite sille asetetut kriteerit ja päästäänkö sen avulla puristin-heijarikairauksessa tilaajan toivomiin tarkempiin mittaustuloksiin.

## 2 Tuotesuunnittelun aloittaminen

Uuden tuotteen suunnittelu käynnistetään tarvekartoituksella. Tarvekartoituksessa esitetään avainkysymyksiä, joista ilmenee miksi kuluttajat tarvitsevat uuden tuotteen, mitkä ovat uudelle tuotteelle asetetut vaatimukset ja ominaisuudet. Selvitystyö aloitetaan perehtymällä siihen, mitä vastaavia tuotteita kilpailijoilla on jo tarjolla, ja miten kilpailijat ovat ratkaisseet tuotteeseen liittyvät haasteet ja ongelmat. Jotta näihin kysymyksiin saadaan vastauksia, täytyy suorittaa markkina-analyysi.

### 2.1 Markkina-analyysi

Uudelle tuotteelle suoritettavan markkina-analyysin ensimmäisessä vaiheessa määritellään ongelma, johon etsitään ratkaisuehdotuksia. Seuraavassa vaiheessa selvitetään, minkälaisia vastaavia tuotteita on markkinoilla ja miten niihin liittyvät ongelmat on ratkaistu. Markkina-analyysin jälkeen uuden tuotteen kehittäminen on yhä vasta aluillaan, sillä analyysissä ongelmat on vasta määritelty ja niiden ratkaisut on tunnistettu vain suurin piirtein. [1, s. 34.]

Markkina-analyysin päätavoitteena on tuottaa tietoa yrityksille asiakkaiden tarpeista ja sitä kautta luoda asiakkaiden tarpeita vastaava tuote. Markkina-analyysin onnistumisen edellytyksenä on markkinoilla vallitsevan tilanteen tunteminen. Markkinoilla vallitsevalla tilanteella tarkoitetaan, millaisia tuotteita kuluttajat tarvitsevat, käyttävät ja kuinka paljon kuluttajat ovat valmiita maksamaan tuotteista ja niiden käyttämisestä. Markkina-analyysissä voidaan myös perehtyä kilpailijoiden valmistamiin tuotteisiin, tuotteiden valmistuskustannuksiin ja -tapoihin sekä siihen, miten tuotteet voidaan valmistaa kilpailijoita kustannustehokkaammin. [1, s. 74–75.]

Markkina-analyysissä on hyvä perehtyä myös siihen, miten markkinat ovat reagoineet kilpailijoiden markkinoilla jo oleviin tuotteisiin ja niiden liikkeelle laskemiseen.

Markkina-analyysia suorittaessa tulee huomioida tuotteeseen mahdollisesti säädökset, kuten tiukentuvat päästödirektiivit ja koneturvallisuusmääräykset.

Seuraavaksi tulee selvittää, miten markkina-analyysin asettamiin kysymyksiin ja muihin huomioitaviin seikkoihin voidaan vastata. Kysymyksiin vastaaminen tulee aloittaa selvittämällä, mitkä ovat kilpailijoiden tuotteiden hyvät ja huonot ominaisuudet. Tuoteominaisuuksien ja epäkohtien selvittämisen jälkeen voidaan siirtyä konseptien luontiin. Konseptien avulla löydetään vastauksia etsittyihin ongelmiin ja kysymyksiin tehokkaasti, sillä niissä ongelmat rajataan aina yhteen tiettyyn osa-alueeseen taikka tuotteeseen tarkemman analysoinnin mahdollistamiseksi. [1, s. 74.]

Markkina-analyysin selvitystyön tulee edetä seuraavien vaiheiden kautta, jotta markkinatutkimuksesta saadaan mahdollisimman tehokas ja kattava [1, s. 74]:

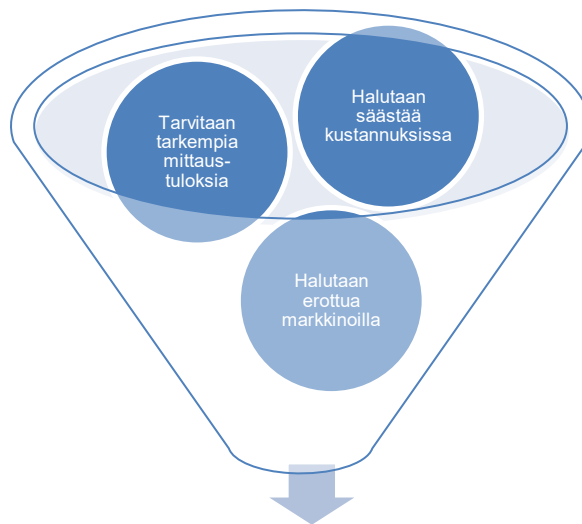
- Etsitään tai keksitään ongelma, joka ei ole vielä tiedossa taikka on jo olemassa.
- Etsitään ongelmaan mahdollisia ratkaisuita suorittamalla markkina-analyysi.
- Luodaan konsepteja esitettyyn ongelmaan.
- Karsitaan huonot konseptit pois.
- Esitetään ongelmaan ratkaisu.

## 2.2 Markkina-analyysin huomiointi opinnäytetyössä

Markkina-analyysin visio suoritettiin Geomachine Oy:n toimesta, ja siinä ilmeni tarve valmistaa uuden mittalaitteen prototyyppi tarkempaan puristin-heijarikairaukseen. Prototyyppi valmistetaan Geomachine Oy:ssä Aalto-yliopistolla suoritettavaa diplomityötä varten markkina-analyysissä selvitettyjen vaatimusten mukaisesti. Mikäli uudella mittalaitteella saadaan maaperän koostumuksesta tarkempia mittaustuloksia kuin maaperätutkimusvaunussa nykyisin käytössä olevilla voima-antureilla, mittalaitteen prototyyppi voidaan jatkokehittää valmiiksi tuotteeksi.

Valmistettavan mittalaitteen visiointi on edennyt seuraavien vaiheiden kautta:

- Nykyisin käytössä olevalla mittaussmenetelmällä ei saada riittävän tarkkoja mittaustuloksia maaperätutkimuksissa.
- Tarvitaan uusi mittalaite, jolla parannetaan mittaustulosten tarkkuutta. Uuden mittalaitteen tulee olla kustannustehokas ja helposti valmistettava.
- Suunnitellaan uusi mittalaite, joka sijoitetaan kahden kairauatangon väliin. Uudella valmistettavalla mittalaitteella halutaan herättää alan markkinoiden huomiota.
- Karsitaan mittalaitteet, jotka edellyttävät erillisiä antureita.
- Valitaan paras konsepti, jonka jälkeen suoritetaan markkinatutkimus. (Kuva 1.)



## Tarkemman puristin-heijarikairan visiointi

Kuva 1. Suunniteltavan mittalaitteen visio.

### 2.3 SWOT-analyysi

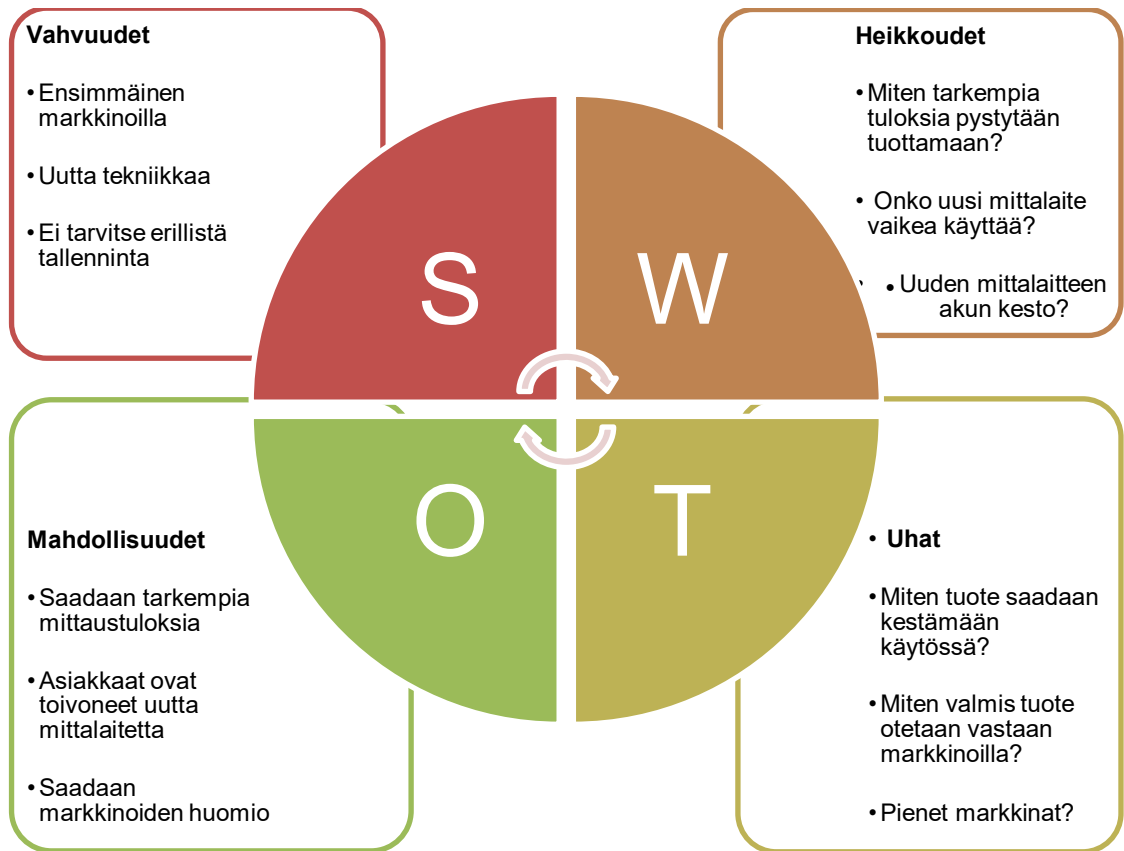
Markkina-analyysin tukemiseksi voidaan suorittaa SWOT-analyysi. SWOT on lyhenne, joka muodostuu englannin kielen sanoista Strengths, Weaknesses, Opportunities ja Threats. Suomeksi nämä tarkoittavat vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet ja uhat.

SWOT-analyysin suorittamisen tärkein tehtävä on riskien hallinta tunnistamalla mahdollisuudet ja uhat. Tämä antaa mahdollisuuden reagoida niihin nopeasti ja tehokkaasti. Analyysin avulla voidaan myös tunnistaa uuden kehitettävän tuotteen vahvuudet ja heikoudet, ja siihen pohjautuen heikoimmat ideat voidaan karsia markkina-analyysistä. [2, s. 1–2.]

Suunniteltavan mittalaitteen SWOT-analyysissä pureuduttiin seuraaviin kysymyksiin:

- Mitä lisäarvoa mittalaite tuo yritykselle?
- Mitä lisäarvoa mittalaite tuo kuluttajille?
- Miten valmis mittalaite otetaan vastaan markkinoilla?
- Kuinka paljon kuluttajat ovat valmiita maksamaan tarkemmasta mittalaitteesta?
- Miten kuluttajat tulevat käyttämään mittalaitetta?
- Kuinka pitkään mittalaitteen akku kestää?
- Onko vastaavaa tuotetta jo olemassa markkinoilla?
- Kuinka laaja on kohderyhmä, jolle mittalaitetta voidaan markkinoida?

Etsimällä vastauksia yllä lueteltuihin kysymyksiin pystyttiin paremmin hahmottamaan projektin laajuutta ja projektin toteuttamiseen liittyviä mahdollisia riskejä. SWOT-analyysin kautta saatiin myös alustavaa tietoa markkinatutkimuksen suorittamiseen tarvittavista resurssitarpeista. (Kuva 2.)



Kuva 2. Suunniteltavan mittalaitteen SWOT-analyysi.

## 2.4 Markkinatutkimus

Seuraavassa vaiheessa uuden tuotteen suunnittelussa suoritetaan markkinatutkimus, jonka tukena käytetään markkina-analysissä saatuja tuloksia. Markkinatutkimuksen tehtävänä on selvittää kehitettävän tuotteen mahdollisuus menestyä markkinoilla. Selvityksessä tutkitaan muun muassa, miten kilpailevat yritykset ovat ratkaisseet tuotteeseen liittyvät ongelmat.

Markkinatutkimuksessa etsitään vastauksia kysymyksiin, mitä tiedetään valmistettavasta tuotteesta sekä miten lähtötietojen avulla tuote voitaisiin valmistaa. Markkinatutkimuksessa tutkitaan markkina-analyyssissä ehdotettujen konseptien soveltumista suorittamalla konsepteihin riskianalyytit ja tekemällä vertailutaulukko syvällisemmin kuin SWOT-analyyssissä. Riskianalyyssissä tuotteelle luodaan ominaisuuksien mukaan pisteytysjärjestelmä.

Pisteytysjärjestelmää luodessa perehdytään suunniteltavan tuotteen konseptissa esitettyjen ominaisuuksien tärkeyteen, kuten esimerkiksi mittalaitteen koko, paino, mittatarkkuus ja hinta. Näin suoritetun selvityksen avulla pystytään päättämään, onko tuotetta mahdollista toteuttaa tilaajan toiveiden mukaisesti mekaanisesti taikka taloudellisesti. [1, s. 92–93.]

Markkinatutkimuksessa kuluttajat huomioidaan yksilöinä tai ryhmissä järjestettävien kyselyiden avulla. Kyselyissä esitetään kysymyksiä kuten, mitä ominaisuuksia tuotteelle halutaan lisäävän taikka poistettavan, tai millä tavalla nykyistä tuotetta tulisi muokata, jotta se palvelisi kuluttajien tarpeita paremmin. [1, s. 78–81.]

Markkinatutkimuksessa on tärkeää perehtyä myös juridisiin säädöksiin ja myönnettyihin voimassa oleviin patentteihin. On järkevä selvittää esimerkiksi se, onko uudelle kehitettävälle tuotteelle jo myönnetty patenttia, sillä voimassa oleva patentti voi muodostua ikäväksi ongelmaksi tuotteen kehittämisessä. Patentin rekisteröiminen on haasteellista sen takia, että patenttisuojassa tulee laitteen toimintaa kuvata hyvinkin tarkasti ja yksityiskohtaisesti. [1, s. 124–127.]

Markkinatutkimuksessa tulee selvittää myös koneturvallisuuteen liittyvät lainsäädökset ja asetukset, jotka vaikuttavat uuden tuotteen kehittämiseen. Uuden tuotteen kehittämiseen voivat vaikuttaa esimerkiksi dieselmootoreiden kiristyvät päästörajoitukset taikka käyttäjäturvallisuuteen liittyvät asetukset kuten esimerkiksi mittalaitteen paino ja laser säteen voimakkuus.

## 2.5 Markkinatutkimus ja riskien tunnistaminen opinnäytetyössä

Opinnäytetyössä suunniteltavan prototyypin markkinatutkimus on suoritettu Geomachine Oy:n toimesta etukäteen asiakkailta kerättyjen palautteiden perusteella. Asiakkaat ovat toivoneet tuotetta, joka vastaa ominaisuuksiltaan suunniteltavan prototyypin ominaisuuksia. Asiakkaiden esittämät toivomukset ovat ensisijaisesti liittyneet mittaus-tarkkuuden parantamiseen nykyisessä puristin-heijarikairauksessa.

Suunniteltavalla mittalaitteella on tarkoitus herättää huomiota alan markkinoilla, sillä vastaavanlaista tuotetta ei vielä löydy markkinoilta. Suunniteltava prototyyppi mahdollistaa asiakkaiden toiveet ja tuo heille lisäarvoa. Merkittävimpiä lisäarvoja asiakkaille tuottavat tarkempien mittaustulosten saaminen ja mittalaitteen siirrettävyys maaperätutkimusvaunujen välillä. Uuden mittalaitteen siirrettävyyden ansiosta maaperätutkimusvaunuun ei tarvitse enää asentaa erillisiä voima-antureita ja tallentimia.

Ennen suunnittelutyön aloittamista suoritettiin ominaisuuksien ja riskien kartoitus. Kartoituksessa tunnistettiin mittalaitteen tarpeelliset ominaisuudet ja suunnittelussa huomioidtavat riskit suunnitteluvirheiden minimoimiseksi. Virheiden minimoinnissa etsittiin ei-toivottuja ominaisuuksia, jotka syntyvät mittalaitetta käytettäessä ja vaikuttavat komponenttien valintaan. [1. s, 152–154.]

Ominaisuus- ja riskikartoitus suoritetaan markkinatutkimuksessa käytettävällä pisteytysmenetelmällä, jossa pisteytetään edut ja riskitekijät. Pisteytys tapahtuu seuraavasti:

- Esitetään tapahtuma, joka voi toteutua.
- Esitetylle tapahtumalle annetaan pistemäärä sen perusteella, kuinka suurella todennäköisyydellä se voi toteutua. Mitä enemmän pisteitä hypoteettinen tapahtuma saa, sitä suuremmalla todennäköisyydellä se voi toteutua. Pisteytys auttaa resurssien kohdentamisessa.
- Esitetään ratkaisuehdotus mainitun tapahtuman eli riskin välttämiseksi. Ratkaisuehdotus esitetään mahdollisimman yksinkertaisesti.

Myös tuotteen tarpeelliset ominaisuudet pisteytetään, ja se tapahtuu seuraavasti:

- Valmistettavalle prototyypille kirjataan tarpeelliset ominaisuudet.

- Kirjatut ominaisuudet pisteytetään resursointitarpeen perusteella. Suuremman pistemäärän saavat ominaisuudet, joihin tulee kohdentaa enemmän resursseja.

Menetelmän avulla prototyypin valmistus voidaan pilkkoa pienempiin kokonaisuuksiin, jollin työskentely on mahdollisimman yksinkertaista ja yksiselitteistä. Pisteytysmenetelmällä voidaan myös tarkastella tuotteen jatkokehitysmahdollisuuksia. Taulukosta selviää, mihin on hyvä käyttää enemmän resursseja tavoitteeseen pääsemiseksi. Tarkastelu on hyvä suorittaa prototyypin suunnitteluprosessin aikana, koska näin varmistetaan tilattavan tuotteen ominaisuuksien toimivuus.

Taulukkoa voidaan myös tarpeen vaatiessa käyttää revisiona uuden tuotteen valmistamiseen. Menetelmässä kerätään myös tietoa siihen, tarvitseeko tuotteeseen lisätä uusia ominaisuuksia tai poistaa redundanteiksi jääneitä ominaisuuksia. Ominaisuuksien lisäämistä tai poistamista tehdään kuluttajilta kerättyjen palautteiden perusteella.

Taulukkoon 1 on koottu suunniteltavan mittalaitteen riskejä ja ominaisuuksia. Taulukon punaiseen palstaan on kerätty riskit, jotka vaikuttavat turvallisuuteen tai mittalaitteen toimintaan. Vihreään palstaan on kirjattu ratkaisuehdotukset nimettyjen riskien minimoimiseksi. Tämä taulukko ei sisällä pisteytystä, koko taulukko on luettavissa liitteessä 3.

Taulukko 1. Suunniteltavan mittalaitteen riskien ja ominaisuuksien tunnistaminen.

Tarkempi puristin-heijarikaira		
Tuote ominaisuudet/riskit	Mahdollinen tapahtuma	Miten vaikuttaa suunnitteluun
Käyttäjää katsoo lasersäteeseen vahingossa	Koneen käyttäjä katsoo lasersäteeseen	Laitetaan mittalaitteeseen varoitustarra
Laite asennetaan väärinpäin koneeseen	Kerrotaan käyttöohjeissa asennussuunta	Asennus-suunta kerrotaan käyttöohjeissa
Laite mittaa kairaustankojen välistä	Miten kiinnitetään maaperätutkimusvaunuun	Voimahäviöt minimoidaan
vääntömomentin huomiointi	Miten suunnitellaan siten, että saadaan tarkka tulos	Lisäomaisuus, joka on helppo toteuttaa. Tapaellinen puristin-heijari kairauksessa
Puristusvoiman huomiointi	-	Katsotaan maaperätutkimus vaunu luokan mukaan
Mittalaitteen paino	Täytyy saada käsivoimin paikalleen	Joudutaan asentamaan käsivoimin paikalleen
Alkun käyttöaika	Käytetään oikeaa akkukemialla	Akku mitoitetaan siten, että yksi akkupaketti toimii vähintään puolikkaan työpäivän
Voima-anturien tarkkuus	-	Valitaan voima-anturit oikeasta tarkkuusluokasta
Mittalaitteen korkeus	Täytyy mahtua kahden kairaustangon väliin	Kairatankojen korkeus otettava huomioon suunnittelussa
Mittalaitteen halkaisija	Täytyy mahtua pyörimään istukan ympäri	Mittalaitteen on mahdollista puomin ja istukan väliin pyörittää kairaustankojen kanssa
Maaperätutkimusvaunun valinta	Mihin kalustoon mittalaitte suunnitellaan	Suunnitellaan käytettäväksi mahdollisimman monelle maaperä tutkimusvaunu tyyppille
Voima-anturien suojaus	Voima-antureihin voi kohdistua suuria rasitus kuormia	Suunnitellaan mekaaninen sulake
Elektronikan yhteen sopivuus	-	Ulkoinen taho hoitaa mekatroniikan
Kairatankojen sopivuus mittalaitteeseen	suunnitellaan adapteri	Jätetään avoin kohta WiFi kommunikoinnille tai kotelo tulostetaan FDM-tekniikalla
Kommunikaatio mittalaitteelle	WLAN kommunikaatio ei saa olla metallia rungossa	Oltava langaton sillä mittalaitte pyörii kairaustankojen kanssa
Helppo huoltoisuus	-	Valitaan helposti ja nopeasti saatavia komponentteja
Langaton kommunikaatio	-	Avoninen osio joista signaali pääsee läpi
Helpposti valmistettava	-	Säätetään valmistuskustannuksissa
Käytettävyys	Oltava mahdollisimman yksinkertainen	On oltava helpokäyttöinen
Työmenetelmien huomiointi	Tulee selvittää miten menetelmä toimii	Mittalaitte irroitettava kallovarmistuksen ajaksi
Maaperästä kohdistuva puristusvoima	Maaperätutkimusvaunun puristusvoiman selvitys	Voima-anturi mitoitetaan oikein maaperätutkimus vaunu luokan mukaan
Maaperästä kohdistuva vääntövoima	Maaperätutkimusvaunun vääntövoiman selvitys	Voima-anturi mitoitetaan oikein maaperätutkimus vaunu luokan mukaan
Korkeuden mittaus	Laseranturille levy	Valitaan oikea etäisyysanturi käyttötarvikkeeseen
Ironaiset osat kuten luukut ja jms.	Ei irona-osa, jotka voivat hävitä maastossa	Mahdollisimman vähän ironaisia osia
Mekaaninen rikkouminen	Mittalaitte ei saa olla kiinnitettyä kallovarmistuksen aikana	Mittalaitte irroitetaan kairaustankoja nostessa

## 2.6 Markkinoilla olevat vastaavanlaiset tuotteet

Maaperätutkimusvaunuja valmistavia yrityksiä on maailmassa vähän, ja ne sijoittuvat Euroopan alueella Pohjois-Eurooppaan ja Italiaan. Tämä hidastaa tuotekehitystä, ja se tapahtuu pääasiassa kuluttajien ehdoilla.

Opinnäytetyössä suunniteltava prototyyppi on oletettavasti ensimmäinen suunniteltava mittalaitte, jolla voitaisiin tuottaa huomattavasti tarkempia mittaustuloksia. Vastaavasta tuotteesta tai vastaavan prototyypin suunnittelusta ei ole löytynyt viittausta. Tämä johtuu maaperätutkimusvaunujen markkinoiden kapeudesta ja hitaasta tuotekehityksestä.

Suunniteltava mittalaitte tulee herättämään alan toimijoiden huomiota, mikäli sen avulla pystytään saavuttamaan luotettavampia ja tarkempia mittaustuloksia kuin nykyisin käytössä olevalla menetelmällä. Alan toimijoiden huomio tulee kiinnittymään erityisesti siihen, että mittalaitte mittaa siihen kohdistuvia voimia kairaustankojen välistä. Tämä mittaustapa on markkinoilla vielä hyödyntämätön ja sitä myötä myös tuntematon.

### 3 Aloituspalaveri

Aloituspalaverin tarkoituksena on saada tuotteen suunnittelija ja tilaaja kokoontumaan yhteen. Palaverissä esitellään tilaajan tuoteideaa ja tilattavan tuotteen suunnitteluun, ominaisuuksiin, valmistamiseen ja käyttötarkoitukseen liittyviä vaatimuksia. Vaatimuksina voivat olla esimerkiksi tilattavan tuotteen toiminnallisuudet, ominaisuudet ja hinta. Palaverissä sovitut asiat dokumentoidaan prototyypin suunnittelua ja valmistusta varten. [1, s. 54.]

Aloituspalaverissä tilaaja päättää, miten tuotteen valmistus etenee. Tilaaja saattaa myös esittää toiveita konseptin muuttamiseksi, jotta uusi tuote vastaisi paremmin hänen tarpeitaan. Aloituspalaverin jälkeen siirrytään tuotteen prototyypivaiheeseen, jossa keskitytään tilaajan esittämiin tuotevaatimuksiin. Tuotevaatimukset selvitetään hyvin huolellisesti, jotta voidaan tuottaa mahdollisimman tarkka prototyyppi. Seuraavaksi siirrytään prototyypin suunnitteluvaiheeseen. [1, s. 55–56.]

Tapauksissa, joissa tilaajaa ei vielä ole, joudutaan etsimään tilaaja. Tilaajan tulee olla kiinnostunut valmistettavasta tuotteesta, jotta tuotteesta voidaan valmistaa prototyyppi ja mahdollisesti hakea sille patenttia. Esittelyn jälkeen tilaaja päättää, toteutetaanko yhteistyö. [1, s. 81–82.]

#### 3.1 Tarkemman puristin-heijarikairan aloituspalaveri

Tämän opinnäytetyön kohteena olevan tuotteen tilaajana oli Insinööritoimisto Lepistö Oy. Aloituspalaveri pidettiin Aalto-yliopiston tiloissa ja siinä tilaaja esitteli diplomityösuunnitelmaansa geotekniikan tohtoreille ja vastaanotettiin tietoa suunniteltavan mittalaitteen vaatimuksista. Tilaajan tarkoituksena on selvittää omassa tutkimustyössään, voidaanko suunniteltavan mittalaitteen avulla saavuttaa tilaajan ja geotekniikan tohtoreiden toivomat mittaustarkkuudet.

Tilaaja on esittänyt mittalaitteen puristusvoiman tarkkuudeksi 0,0294 newtonia ja kairausvyödyden rekisteröintitarkkuudeksi viittä millimetriä. Suunnittelijat olivat omassa kokouksessaan ennen aloituspalaveria analysoineet vääntövoiman mittaamisen lisäämistä

mittalaitteeseen ja tehnyt ehdotuksen sen lisäämiseksi. Vääntövoiman lisääminen mahdollistaa mittalaitteen keräämien ja maaperätutkimusvaunun tallentimeen rekisteröityjen tietojen tarkemman vertailun. Tilaaja hyväksyi muutosehdotuksen.

Mittalaitteen käytettävyydestä tilaajan kanssa sovittiin, että liiallisten rasitusten välttämiseksi mittalaite poistetaan maaperätutkimusvaunusta kairaustankoja ylös nostettaessa maaperästä. Ratkaisuun päädyttiin, koska kairauskaluston ylös nostaminen maaperästä on suuri rasitus maaperätutkimusvaunulle. Rasituksen aiheuttaa maaperässä oleva saven tartuntavoima, joka voi saada kairaustangot juuttumaan maaperään. Kairaustankojen juuttuessa maaperään niiden irrottamiseksi joudutaan käyttää maaperätutkimuskoneen hydraulikkakäyttöistä vasaraa.

Suunnittelun aloituspalaverissa lisäksi esivalittiin mittalaitteen akusto, voima-anturit, etäisyysanturi, signaalinmuunninkortit ja tallennin. Mittalaitteen elektroniikan ohjelmoinnissa päätettiin käyttää ulkopuolista tahoa, joka myös hyväksyy suunniteltavan mittalaitteen kanssa yhteen sopivat komponentit.

### 3.2 Mittalaitteelle esitetyt vaatimukset

Valmistettavalla mittalaitteella mitataan maaperän puristuslujuutta puristin-heijarikairausmenetelmällä. Puristin-heijarikairausmenetelmä on tänä päivänä epätarkka, koska siinä käytössä olevat voima-anturit ovat sijoitettuna siten, että puristavaa voimaa mittaava voima-anturi voi rekisteröidä epätarkkoja lukemia, maaperätutkimusvaunun maastoon asettumisen mukaan. Lisäksi menetelmässä leikkausvoimaa mitataan hydraulisten pumppujen kautta. Tällöin aiheutuu häviöitä, johtuen hydraulioöljyn lämpötilasta sekä hydraulisista pumpuista.

Mittalaitetta tulee pystyä käyttämään nykyisin käytössä olevien maaperätutkimusvaunujen kanssa. Yhteensopivuuden varmistamiseksi mittalaite suunnitellaan siten, että se asennetaan kahden kairaustangon väliin liitostappien avulla. Liitostapit ovat vaarnaruuvin tapaisia kiinnikkeitä, joiden avulla kairaustankoja jatketaan suorittaessa maaperätutkimusta. Pohjoismaissa on liitostapeissa käytössä kahta eri kierretyyppiä. Käytettävät kierretyypit ovat ANSI-standardin mukainen tuumainen kierre kooltaan 7/8" UNC ja ISO-standardin mukainen metrinen kierre kooltaan M20, josta valittiin yleisemmin käytössä

oleva tuumainen kierretyyppi. Lisäksi on olemassa adapterikairaustankoja, joilla voidaan muuttaa kairaustankojen kierteet yhteensopiviksi.

Mittalaitteelle asetetut vaatimukset olivat seuraavat:

- puristusvoiman mittaaminen
- kairausvyökyden mittaaminen
- tulee asentaa kahden kairaustangon väliin
- tulee olla siirrettävissä maaperätutkimusvaunusta toiseen
- plussana leikkausvoiman mittaaminen.

#### **4 Prototyyppi ja siihen liittyvät menetelmät**

Uudesta tuoteideasta valmistetaan prototyyppi, jota testataan ennen tuotantoon siirtämistä. Prototyyppi käsitteenä on vaikeaselkoinen, sillä sitä voidaan määritellä monella eri tavalla. Koneinsinöörit määrittelevät prototyypin niin, että se on uuden tuotteen fyysinen ilmentymä, jolla on jo tuotteen ulkomuoto, mitat, käyttötarkoitus, käyttötapa ja muut tuotteen toimintaan oleellisesti vaikuttavat ominaisuudet. [1, s. 291.]

Prototyypin avulla on tarkoitus hakea kehitettävän tuotteen ominaisuuksia, siksi prototyypin kehittämiseen on hyvä varata riittävät resurssit ja mahdollisuudet käyttöympäristössä testaamiseen. Testaustilanteissa testikäyttäjät ovat merkittävässä roolissa, sillä he edustavat tulevan tuotteen käyttäjiä. Testikäyttäjät antavat arvokasta palautetta myös prototyypin käytettävyydestä ja toimivuudesta, mihin pohjautuen prototyyppiä parannetaan vastamaan toivottua tuotetta. [1, s. 291–292.]

Prototyypin testaaminen valmistusprosessin jokaisessa vaiheessa on ensisijaisen tärkeää, sillä testauksessa voidaan havaita sellaisia epäkohtia ja virheitä, joita ei ole havaittu suunnitteluvaiheessa.

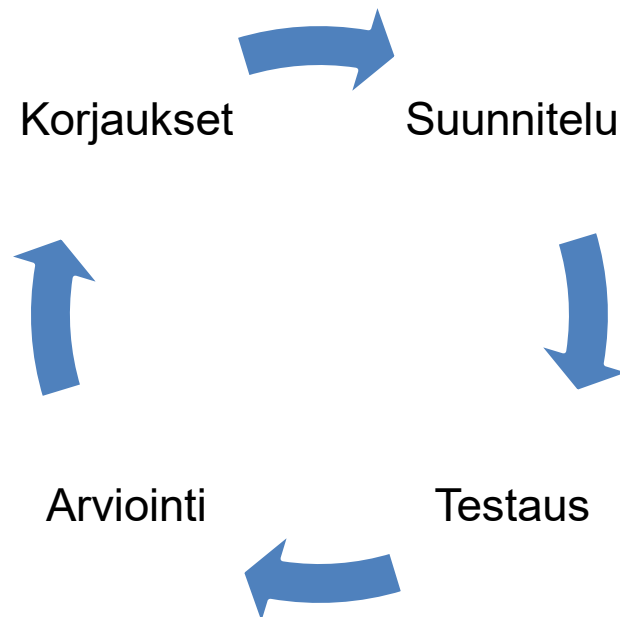
## 4.1 Erilaisia prototyypimenetelmiä

Prototyypin valmistamisessa ilmenee monia ennakoitavia haasteita. Ennen prototyypin valmistamista tulee päättää käytettävät resurssit ja työmenetelmät. Tulee myös päättää, valmistetaanko prototyypistä yksi tai useampi eri prototyyppi, joista tuoteistavaksi valitaan testauksissa parhaiten menestynyt. Prototyypin testaamiselle määritetään, miten prototyyppejä tullaan testaamaan, millaiset testauskriteerit prototyypille asetetaan, mikä taho suorittaa prototyypin testauksen ja millä aikataululla testaus toteutetaan. Prototyypin kehittämisessä ja valmistamisessa testauksen tärkeyttä tulee korostaa kaikissa työvaiheissa tavoitellun lopputuloksen saavuttamiseksi.

Prototyypimenetelmää valittaessa tulee huomioida eri tavalla toteutettavien menetelmien edut ja haitat, joiden perusteella tehdään prototyypin valmistamista koskevat päätökset. Seuraavaksi esitellään käytännöllisimmät menetelmät, joilla voidaan valmistaa uuden tuotteen prototyyppi.

### 4.1.1 Yhden prototyypin menetelmä

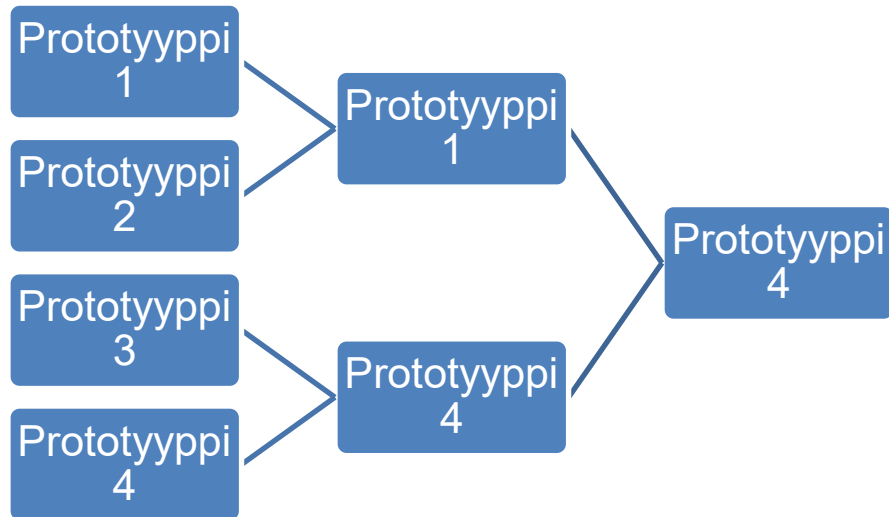
Yhden prototyypin menetelmässä suunnitellaan ja valmistetaan vain yksi prototyyppi, jota jatkokehitetään iteroimalla eli muuttamalla lähemmäksi valmista tuotetta. Tässä menetelmässä suunnittelijan ja prototyypin tilaajan tulee tarkkaan tietää, mitä laitteen toiminnalta toivotaan ja miten laitteen tulee toimia. Yhden prototyypin valmiiksi tuotteeksi kehittäminen tapahtuu iterointiversioiden kautta. Menetelmässä prototyyppiä muutetaan, kunnes siitä saadaan valmistuskelpoinen tuote (kuva 3). Prototyypin testaukseen on hyvä valita mahdollisimman laaja ryhmä testaajia, jotta testauksessa saadaan myös hyvin eroavaisia mielipiteitä prototyypin käytettävyydestä. Samanaikaisesti prototyypin käyttäjiltä kerätään arvokasta tietoa siitä, mitä he ajattelevat uudesta mahdollisesta tuotteesta ja mitkä asiat tulisi korjata ennen tuotteen myyntiin lanseeraamista. [3, s. 8–9.]



Kuva 3. Iteratiivisen prototyypin prosessi

#### 4.1.2 Usean prototyypin menetelmä

Usean prototyypin menetelmässä valmistetaan useita prototyyppejä, joista jatkoon valikoidaan testauksissa parhaiten suoriutuneet prototyypit. Jatkoon valitut prototyypit verrataan toisiinsa tuoteominaisuuksissa määriteltyjen kriteereiden perusteella ja lopulta parhaiten suoriutunut prototyyppi jatkokehitetään valmistettavaksi tuotteeksi. (Kuva 4.)



Kuva 4. Usean prototyypin prosessi

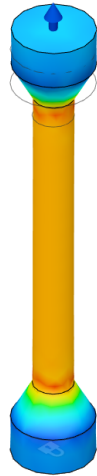
Menetelmän haittoina ovat suuret valmistuskustannukset ja resurssitarpeet. Tämä selittyy useamman samanaikaisen suunnitteluryhmän työskentelyllä. Suunnitteluryhmien avulla haetaan valmistettavaan prototyyppiin omaperäisiä ratkaisuja. Menetelmän kiistattomana etuna on joustavuus ja usean eri näkökulman ottaminen ongelmien ratkaisuun kehittäessä prototyyppiä. [3, s. 10–11.]

Prototyypin käyttäjät ovat myös useamman prototyypin mallissa vahvasti läsnä. Menetelmässä käyttäjiltä kerätään tarvittavia tietoja eri prototyyppien käytöstä ja kehitysehdotuksia ominaisuuksien ja toiminnallisuuden parantamiseksi. Testaajilta saatu palaute eri prototyyppien testaamisessa on tärkeää, sillä jatkokehittämisen kohteeksi valikoituu parhaaksi arvioitu prototyyppi.

#### 4.1.3 Virtuaalinen prototyyppi

Virtuaalinen prototyyppi on nimensä mukaisesti virtuaalinen malli, jota ei ole välttämättä tarkoitus valmistaa. Virtuaalinen prototyyppi valmistetaan ja testataan suunnitteluohjelmistolla. Testauksessa käytetyllä ohjelmistolla voidaan laskea esimerkiksi mallinnettujen mallien kestävyyttä jokaiselle komponentille, joiden oletetaan vaurioituvan käytettäessä prototyyppiä. Edellä kuvattua ohjelmistoa kutsutaan FEM-ohjelmistoksi. Virtuaalisen prototyypin testaamiseen käytetään myös dynamiikkasimulaation mahdollistavia ohjelmistoja. [3, s. 17.]

FEM-ohjelmistolla tapahtuvassa testauksessa tulee tietää, mitä voimia simuloitavaan kappaleeseen kohdistuu, muuten voimat joudutaan heuristisesti arvioimaan. Tämän jälkeen FEM-ohjelmistoon syötetään kappaleen kiinnityspisteet ja kohdat, joihin tiedossa olevat voimakomponentit vaikuttavat. Lähtötietojen määrittämisen jälkeen simuloidaan kappaleen rasitukset, minkä jälkeen tulkitaan saadut tulokset. Tuloksista voidaan päätellä, kestääkö kappale siihen kohdistuvat arvioidut rasitukset. (Kuva 5.); [3, s. 17.]



Kuva 5. FEM-ohjelmistolla testattu vetosauva.

Dynamiikkasovelluksella voidaan simuloida dynaamisia rasituksia, joita ajatellaan prototyyppiin kohdistuvan. Dynaamiset rasitukset ovat esimerkiksi mittalaitteen pudottaminen maahan ja maaperätutkimusvaunusta aiheutuva värinä.

## 4.2 Opinnäytetyössä sovellettu menetelmä

Tässä opinnäytetyössä valmistettava prototyyppi suunnitellaan yhden prototyypin menetelmällä ja virtuaalisen prototyypin avulla. Menetelmään päädyttiin, koska kyseessä on pieni yritys, jolla on isoihin kansainvälisiin yrityksiin verrattuna niukemmin resursseja käytävissä uuden tuotteen suunnitteluun, testaukseen ja valmistukseen. Valmistettavaa prototyyppiä käytetään Aalto-yliopistolla tehtävässä tutkimustyössä.

Valmistettavan prototyypin avulla on tarkoitus tutkia, onko uudella mittalaitteella mahdollista päästä tarkempiin mittaustuloksiin nykyisiä kairausohjeita muuttamatta. Prototyypillä saavutetut mittaustarkkuudet vertaillaan nykyisin käytössä olevan menetelmän mittaustarkkuuteen ja mikäli prototyyppi mahdollistaa tarkempia mittaustuloksia, prototyypistä voidaan valmistaa markkinoille myyntikelpoinen tuote.

Suunniteltuja prototyyppiversioita testataan ja simuloidaan aluksi virtuaalisina prototyypeinä. Virtuaalisten testausten jälkeen versioista valitaan toimivin, josta lopulta valmistetaan yksi konkreettinen prototyyppi.

Kuvassa 6 havainnollistetaan tuotesuunnittelun vaiheita, joiden kautta tässä opinnäytetyössä suunniteltavan prototyypin valmistaminen eteni. Prototyypin kehittämisen kulkua kuvataan tarkemmin luvussa 10, jossa perehdytään prototyypissä havaittujen epäkohtien korjaamiseen.



Kuva 6. Tuotesuunnittelun vaiheet.

## 5 Puristin-heijarikairaus

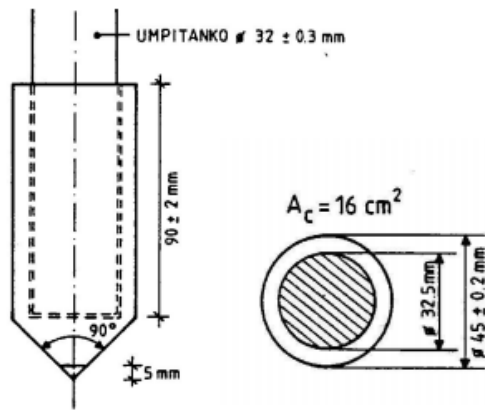
Suunniteltavan tuotteen onnistumisen kannalta suunnittelijan on hyvä tuntea käytössä olevat työmenetelmät ja henkilökohtaiset työskentelytavat, jotka voivat vaikuttaa mittaus- tulosten tarkkuuteen ja työturvallisuuteen. Mittalaite suunnitellaan tukemaan nykyistä puristin-heijarikairausmenetelmää.

Puristin-heijarikairauksessa maaperätutkimusvaunun kairaustankoihin muodostuu painetta niitä maahan puristettaessa. Saven leikkauslujuuden mittaaminen tapahtuu kairaustankoja pyörittämällä. Pyörittämisessä ja maahan painamisessa savesta aiheutuu kitkaa, joka ilmenee momenttina ja jännityksenä. Maaperätutkimusvaunuihin erikseen lisättävät kairaustangot kiinnitetään toisiinsa liitostappien avulla.

### 5.1 Puristin-heijarikairauksen suorittaminen

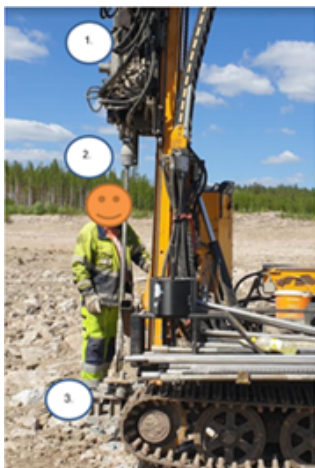
Puristin-heijarikairauksessa selvitetään maaperän kantavuutta painamalla ja pyörittämällä kairaustankoja maahan samanaikaisesti. Maaperävaunun istukka pyörittää kairaustankoja 12 kierrosta minuutissa, samalla painaen kairaustankoja maaperään vaki- onopeudella 20 mm/s. Puristin-heijarikairauksessa mitataan maaperän kantokykyä ja leikkausvastusta. [4, s. 63.]

Puristin-heijarikairaus aloitetaan asettamalla kairaustanko maaperätutkimusvaunun istukkaan, minkä jälkeen kairaustangon maahan osoittavaan kohtaan asennetaan kartion- muotoinen kärki (kuva 7). Tällöin maaperätutkimuskoneeseen asennettu kairaustangon kärki osoittaa tankolukkoa kohden. Kartionmuotoisella kärjellä on ennalta määritetyt mitat, jota käytetään jännityksen laskemisessa. Seuraavaksi selvitetään silmämääräisesti, tuleeko tehdä aloituskairaus. Mikäli tutkittavassa maastossa on isoja kiviä tai routakerros, aloituskairaus on tarpeen. Aloituskairaus suoritetaan pyörittämällä kairaustankoja samalla käyttäen maaperätutkimusvaunun hydraulista vasaraa, kunnes kairaustangon kärki on läpäissyt kovan pintakerroksen.



Kuva 7. Kairaustangon kärjen havainnointi [4, s. 62].

Maaperätutkimuksen tulee olla mahdollisimman katkeamatonta siitä huolimatta, että tutkimuksen aikana joudutaan lisäämään kairaustankoja. Uusi kairaustanko tulee lisätä silloin kun maaperässä olevan kairaustangon loppuosa on vielä tankolukon yläpuolella. Kairaustankojen lisääminen aloitetaan lukitsemalla tankolukko. Toimenpiteellä estetään maaperässä olevien kairaustankojen vapaa vajoaminen maan sisään. Seuraavaksi avataan maaperätutkimuskoneen istukka ja porauspöytä nostetaan ylös. Uusi kairaustanko ruuvataan tankolukossa kiinni olevaan kairaustankoon. Kiinnittäminen tapahtuu kierittämällä kairaustangot yhteen kairaustangoissa olevien liitostappien avulla. Tämän jälkeen uusi kairaustanko voidaan lukita istukkaan ja kairaustangot kiristetään toisiinsa istukkaa pyörittämällä. Lopuksi avataan tankolukko ja työskentelyä voidaan jatkaa. (Kuva 8.); [4, s. 69–70.]



- 1. Porauspöytä, johon heijari on kiinnitettyinä. Heijarin avulla suoritetaan aloituskairaus ja kalliovarmistus.**
- 2. Istukka, johon kairaustanko kiinnitetään**
- 3. Tankolukko, jota käytetään lisättäessä ja poistettaessa kairaustankoja.**

Kuva 8. Maaperätutkimusvaunun tärkeimmät osat maaperätutkimuksen suorittamiseksi.

Maaperätutkimusta jatketaan niin pitkään, kun on törmätty kallioon tai kiveen. Puristin-heijarikairaus tulee aina päättää kalliovarmistukseen hydraulisella vasaralla. Kalliovarmistuksen tavoitteena on varmistaa, että kairaustangon kärki on saavuttanut pohjakallion. Kalliovarmistus suoritetaan pudottamalla heijaripainoa istukan päälle, toisin sanoen hydraulista vasaraa käyttäen. Toimenpiteellä varmistutaan siitä, että kairaustangot eivät ole törmänneet tiiviiseen maakerrokseen, kiveen tai lohkareeseen. Hydraulisen vasaran voima murskaa kivet ja lohkareet ja saa kairaustangon lävistämään tiiviit maakerrokset.

Maaperän vastusvoima kohdistaa kairaustankoihin jännitystä ja momenttia, joita maaperätutkimusvaunussa olevat voima-anturit rekisteröivät maaperätutkimusvaunun tallentimelle. Kerätyistä mittaustuloksista laaditaan kairauspöytäkirja, josta käyvät ilmi seuraavat asiat: tutkimuspaikka, tutkimuksen suorittaja(t), päivämäärä, alkukairauksen syvyys, kairausreiän tiedot, käytetty kairauskalusto ja kairauksen aikana tehdyt havainnot [4, s. 61–71]. Esimerkki kairauspöytäkirjasta liitteissä 1 ja 2.

Puristin-heijarikairauksesta tehdään kairausdiagrammi, joka muodostetaan tallentimeen kerätyistä tiedoista. Diagrammin X-akselin toiselle puolelle kerätään kairaustankoihin kohdistuvaa jännitysvoimaa koskevat mittaustiedot ja toiselle puolelle kairaustankoihin vaikuttavaa momenttia koskevat mittaustiedot. Diagrammin Y-akselille kerätään kairausreiän syvyystiedot. Lisäksi seurataan hydraulisen vasaran lyöntimääriä, ja ne kirjataan kairausdiagrammiin syvyystietojen kohdalle. Kairaustankojen pyörimisnopeutta seura-

taan sitä dokumentoimatta. Rekisteröidyistä tiedoista muodostuva diagrammi muodostaa kairausreiästä poikkileikkauksen, mikä helpottaa kairaustulosten tulkintaa. [4, s. 73–74]. Esimerkki kairausdiagrammista liitteissä 1 ja 2.

Maaperätutkimuksia suoritetaan, jotta saadaan selvitettyä maaperän kerrostyypit ja maaperän kantavuus. Kerättyjen tietojen avulla pystytään selvittämään muun muassa paaluttamisen tarpeellisuus uusien asuinalueiden ja tieverkostojen rakentamisessa taikka muussa yhdyskuntarakentamisessa.

Nykyisin käytössä olevassa puristin-heijarikairausmenetelmässä on liikaa muuttuvia tekijöitä kuten esimerkiksi maaperätutkimusvaunun voima-antureiden toiminnallisuuden varmentamisen ajankohta, hydrauliset moottorit ja hydraulisen öljyn lämpötila. Uudella suunniteltavalla mittalaitteella pyritään minimoimaan muuttuvat tekijät tuomalla voima-anturit mahdollisimman lähelle kairaustankoja. Tällöin voima-antureihin ei tarvitse suunnitella erilisiä mekanismeja, joista aiheutuu voimahäviöitä.

## 5.2 Tarkempi puristin-heijarikairaus mittalaitteella

Tässä opinnäytetyössä suunniteltavan mittalaitteen avulla on tarkoitus suorittaa tarkempaa puristin-heijarikairaus nykyisin käytössä olevaa menetelmää oleellisesti muuttamatta. Merkittävin ero menetelmien välillä on siinä, että tarkemmassa puristin-heijarikairauksessa ei saa tehdä aloituskairaus eikä kalliovarmistusta mittalaitteen kanssa. Mittalaite asennetaan kahden kairaustangon väliin, ja mittalaite tulee aina poistaa kairaustankojen välistä aloituskairauksen ja kalliovarmistuksen ajaksi. Näin estetään mittalaitteen voima-antureiden vaurioituminen.

Mittalaite kiinnitetään kahden kairaustangon väliin liitostappien avulla. Aluksi mittalaitteen molemmille puolille kiinnitetään liitostappi. Sen jälkeen toiseen liitostappiin kierretään kairaustanko, jonka avulla mittalaite asetetaan istukkaan kiinni. Tämän jälkeen istukka lukitaan ja mittalaitteen alapuolelle asennetaan seuraava kairaustanko. Lopuksi kairaustangot voidaan kiristää kiintolenkkiavaimella mittalaitteeseen kiinni. Mikäli tarvitaan adapteritankoja, ne tulee kiinnittää mittalaitteeseen ennen kairaustankojen asentamista paikalleen.

Ennen puristin-heijarikairauksen aloittamista tulee vielä suorittaa muutamat toimenpiteet. Mittalaitteen akusto asetetaan paikalleen ja mittalaite käynnistetään. Mittalaitteen voima-anturit taarataan mittalaitteen tallentimeen asennetun ohjelman asetuksissa. Tämän jälkeen syötetään mittalaitteen ohjelmalle tarvittavat lähtötiedot kuten kairauksen aloitussyvyys ja kairaustankojen pituudet. Näiden toimenpiteiden jälkeen tarkempi puristin-heijarikairaus voi alkaa.

Kairaustankojen lisääminen tapahtuu samalla tavalla kuin tavanomaisessa puristin-heijarikairauksessa. Tarkemmassa puristin-heijarikairauksessa kairaus päätetään aina poistamalla mittalaite kairaustankojen välistä, minkä jälkeen kalliovarmistus suoritetaan tavalliseen tapaan ja maaperässä olevat kairaustangot voidaan nostaa ylös.

## 6 Prototyypin suunnittelu

Prototyypin suunnittelu aloitetaan selvittämällä, miten mallinnettava mittalaite kiinnitetään maaperätutkimusvaunuihin ja mitä voimia mittalaitteeseen kohdistuu. Selvitystyössä kerätään tietoa maaperätutkimusvaunuihin asennetuista puomeista ja käytettävistä kairaustangoista. Mallinnettavaan mittalaitteeseen vaikuttavat voimat selviävät puristin-heijarikairauksen ohjeistuksesta ja maaperätutkimusvaunujen konekortista.

Selvitystyön jälkeen arvioidaan suunniteltavan mittalaitteen kokoa ja kiinnitystapaa suurpiirteisesti. Selvitetyt lähtötiedot kootaan hyvin tarkasti, sillä itse mallintaminen tapahtuu niihin pohjautuen.

### 6.1 Mittalaitteeseen kohdistuvat voimat

Mittalaitteeseen vaikuttavat voimakomponentit ovat jännitys, joka syntyy silloin kuin kairaustankoja painetaan maahan ja pyöritettäessä aiheutuva momentti. Nämä ovat huomioitavat voimakomponentit prototyypin suunnittelussa. Seuraavaksi selvitetään vaikuttavien voimakomponenttien suuruudet.

Voima, jolla kairaustankoja painetaan maahan, määräytyy maaperätutkimusvaunujen kairausluokan mukaisesti. Prototyyppi suunnitellaan käytettäväksi keskiraskaissa maaperätutkimusvaunuissa, jolloin kairaustankoihin kohdistuu maksimissaan 20 kN:n puristusvoima [4, s. 63]. Momentti vaikuttaa mittalaitteeseen kairaustankoja pyörittäessä. Momentti syntyy pyörivän kairaustangon kärjen leikatessa savea. Mittalaitteeseen vaikuttava maksimimomentti selvitetään maaperätutkimusvaunun konekortista, josta ilmenee istukan hydraulisen moottorin maksimivääntövoima. Voima-anturien vaurioituminen estetään valitsemalla mittalaitteeseen käyttötarkoituksen mukaiset voima-anturit.

## 6.2 Maaperätutkimuskoneen puomi ja työturvallisuus

Suunnittelussa tulee kiinnittää huomiota myös työturvallisuuteen ja mittalaitteen fyysisiin mittoihin. Työturvallisuus huomioidaan siten, että mittalaitteeseen ei suunnitella ulkonevia osia, jotka voisivat vahingoittaa käyttäjää. Ulkonevat osat voisivat vahingoittaa käyttäjää, sillä mittalaite pyörii kairaustankojen kanssa.

Mittalaitteen fyysisissä mitoissa on huomioitava maaperätutkimuskoneen puomin korkeus ja mittalaitteen halkaisija. Mittalaitteen korkeuteen vaikuttavat käytettävien kairaustankojen pituudet. Kairaustangot voivat olla pituudeltaan yhden, puolentoista ja kahden metrin pituiset. Puomin ollessa 2,7 metriä korkea mittalaitteen kanssa voidaan käyttää yhden metrin korkeita kairaustankoja, muuten mittalaitetta ei voida asentaa paikalleen. Mittalaitteen halkaisija lasketaan mittaamalla maaperätutkimusvaunujen porapöydän istukan ja maaperätutkimusvaunujen puomin välinen säde. Mittalaitteen tulee päästä pyörimään vapaasti kairaustankojen kanssa.

Mittalaite on muodoltaan sylinteri. Mittalaitteen koon arviointi tapahtuu seuraavasti. Puomin ja istukan välinen säde on 15 senttimetriä. Säde mitataan istukan keskipisteestä puomin lähimpään kohtaan. Mittalaitteen ollessa kiinnitettynä maaperätutkimuskoneeseen, mittalaitteen keskipiste ja istukan keskipiste ovat päällekkäin. Tämä tarkoittaa, että mittalaitteen säde saa olla maksimissaan 12,5 senttimetriä. Pienemmällä säteellä varmistetaan, että koneenkäyttäjän käsi ei jää mittalaitteen ja puomin väliin, sekä mittalaitteen yhteensopivuus eri puomistojen kanssa. Puomin korkeuden ollessa 2,7 metriä korkea joudutaan käyttämään kahta yhden metrin pituista kairaustankoa mittalaitteen ollessa asennettuna istukkaan. Täten mittalaite saa olla enintään 22 senttimetriä korkea.

Kairaustankojen kokorajoituksella varmistetaan mittalaitteen asentaminen maaperätutkimuskoneeseen. Lisäksi matalampi korkeus mahdollistaa niin kutsuttujen adapterikairaustankojen käyttämisen. Adapterikairaustangot ovat 20 senttimetrin korkeita välikappaleita, joilla sovitetaan yhteen tuuma- ja metrikierteiset kairaustangot. Adapteritangon päissä ovat erityyppiset kierteet, joiden avulla mahdollistetaan kahden erityyppisen kairaustangon käyttäminen.

### 6.3 Koneenkäyttäjän vastuu

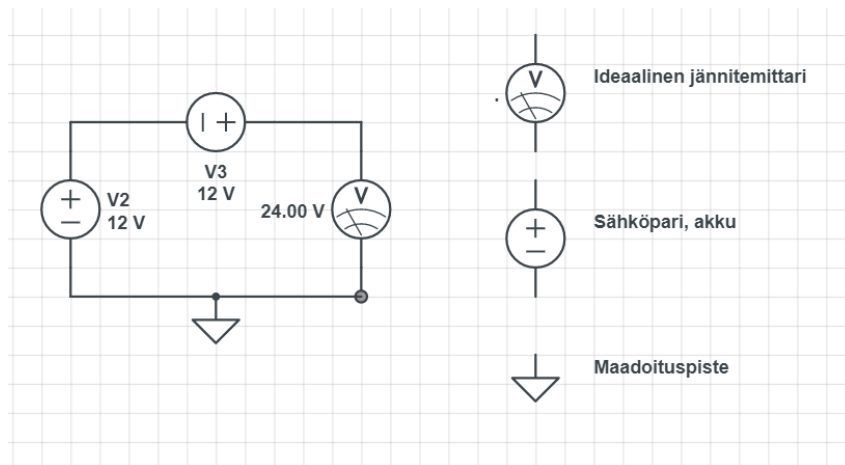
Koneenkäyttäjän vastuulla on poistaa mittalaite kairaustankojen välistä kalliovarmistuksen ajaksi ja silloin kun joudutaan tekemään aloituskairaus hydraulista vasaraa käyttäen. Toimenpiteet ovat välttämättömät, sillä mittalaitteen voima-anturit eivät kestä hydraulisen vasaran aiheuttamia suuria rasisitusvoimia. Mittalaitteessa on työturvallisuuteen vaikuttava laseretäisyysanturi. Valmiissa tuotteessa varoitetaan käyttäjää lasersäteestä varoitustarralla. Lisäksi koneenkäyttäjää suositellaan käyttämään lasersuojalaseja mittalaitteen kanssa työskennellessä.

### 6.4 Mittalaitteen akusto

Mittalaitteen jännitelähteenä käytetään kahta 12 voltin lyijyakkua. Akut kytketään sarjaan siten, että ne muodostavat akustoon 24 voltin nimellisjännitteen. Sarjaan kytkennässä (Kuva 9) nostetaan vain akkujen nimellisjännitettä, akun kapasiteetti pysyy kuitenkin samana. Mittalaitteen käyttöaika riippuu akun kapasiteetista. Akun kesto voidaan laskea kaavalla 1 [5, s. 37.; 6, s. 92.]:

$$\frac{Ah}{A} = h \quad (1)$$

- $Ah$  on akun kapasiteetti
- $A$  on mittalaitteen virran kulutus
- $h$  on akun käyttöaika



Kuva 9. Sarjaankytkentä havainnollistettuna.

Akusto yleensä suojataan alijännitesuojalla, jonka tehtävänä on estää tässä tapauksessa lyijyakun alipurkautumisen turvallisen minimijännitteen alle. Lyijyakkujen jatkuva alipurkautuminen ennen pitkään vaurioittaa akuissa olevia kennoja tehden niistä käyttökelvottomia.

Suunniteltavassa mittalaitteessa alijännitesuojan käyttäminen muodostuu käytännön ongelmaksi. Mikäli alijännitesuojaus aktivoituu maaperätutkimusvaunuilla työskennellessä, joudutaan porauspiste uusimaan.

Alijännitesuojan aktivoituessa puristin-heijarikairaus joudutaan keskeyttämään. Mittaus tulosten keräämisen näkökulmasta keskeytys saisi olla vain lyhytaikainen, mutta akkujen vaihtaminen kestää suhteellisen pitkään ja pitempiaikainen keskeytys vaatii porauspisteen uusimisen. Porauspisteen uusiminen on huomattavasti kalliimpaa kuin uusien lyijyakkujen hankkiminen vaurioituneiden tilalle. Näin ollen on järkevää mahdollistaa porauspisteen loppuun tutkiminen lyijyakkujen kustannuksella.

Porauspisteiden korkeiden kustannusten takia akustolle ei laiteta erillistä alijännitesuojaa. Mittalaitteessa ei voida käyttää muita ulkoisia jännitelähteitä, sillä sähköjohdot takeruvat helposti kairaustankojen ja mittalaitteen ympärille.

## 6.5 Mittalaitteen osien suunnittelu ja komponenttien valinta

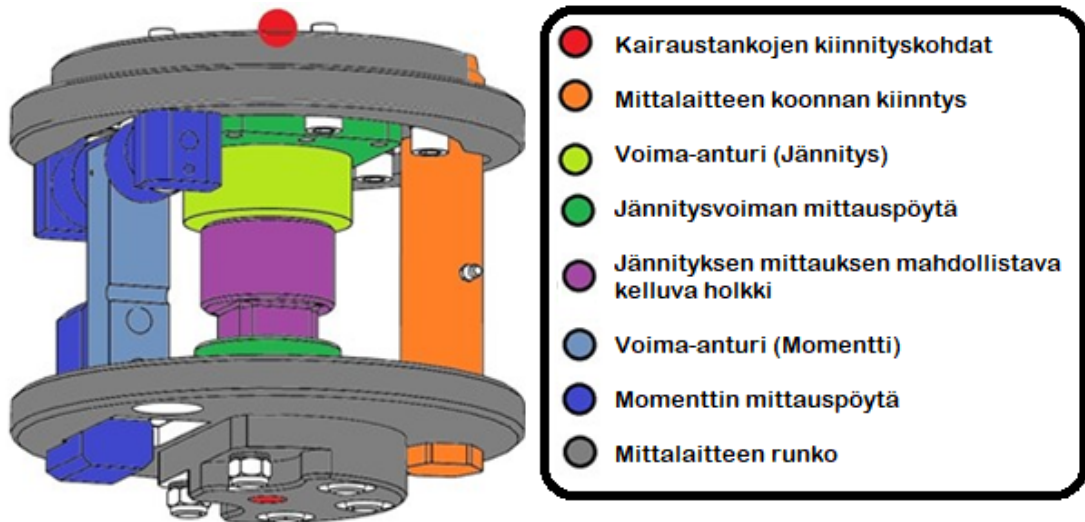
Mittalaitteen valmistettavista kappaleista tulee suunnitella mahdollisimman yksinkertaisia ja helposti valmistettavia. Helposti valmistettavat osat mahdollistavat alhaisemmat valmistuskustannukset, jotka puolestaan mahdollistavat edullisemmat myyntihinnat markkinoilla.

Valmistamisessa huomioitavat työvaiheet ovat metallintyöstökoneiden ohjelmointi ja käyttäminen, manuaalinen työstö ja viimeistelytyö. Yksinkertaisesti valmistettavat osat helpottavat kokoonpantavuutta ja nopeuttavat tuotteen valmistusprosessia.

Mittalaitteen suunnittelussa tulee huomioida valittavien voima-antureiden asennusohjeet, jotka löytyvät valmistajien käyttöohjeista. Mittalaitteessa jännityksen ja momentin mittaamiseen käytetään omia voima-antureita.

Kuvassa 10 havainnollistetaan mittalaitteeseen valmistettavat komponentit:

- 1 momentin mittauksen pöytä (sininen)
- 2 jännitys voimamittauksen pöytä (vihreä)
- 3 puristusmittauksen kelluvaholkki (liila)
- 4 mittalaitteen koonnan kiinnitys (oranssi)
- 5 mittalaitteen runko (harmaa)
- 6 mittalaitteen kotelo (ei ole havainnollistettu kuvassa 10).



Kuva 10. Mittalaitteen osien havainnekuva.

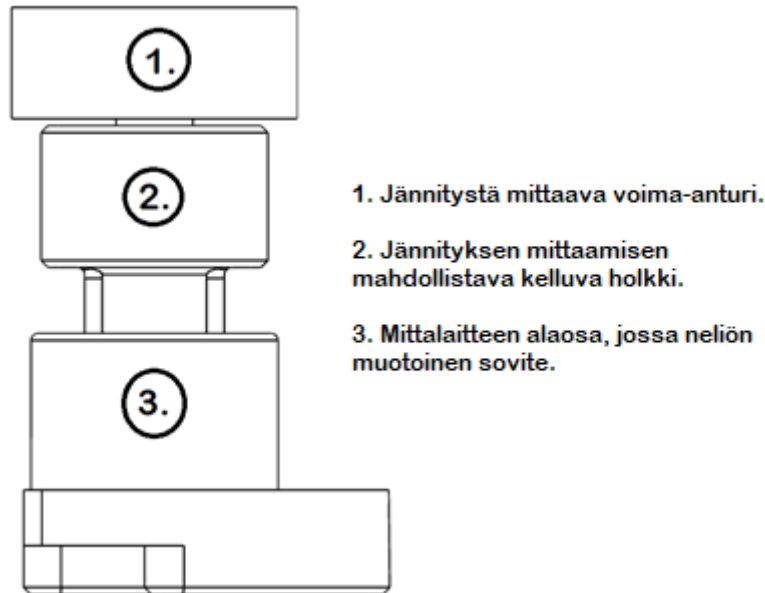
Mittalaitteen materiaaleiksi valitaan ruostumaton teräs ja muovi. Ruostumaton teräs on säänkestävää, joten sitä ei tarvitse erikseen suojata korroosiolta. Mittalaitteen kuoret valmistetaan muovista FDM-tekniikkaa käyttäen. Edellä mainitun tekniikan toimintaperiaate on yksinkertaistettuna seuraavanlainen: 3D-tulostin valmistaa kappaleen muovilangasta muokkaamalla sitä tietyssä lämpötilassa suunniteltuun muotoon kerros kerrokselta.

3D-tulostettuihin kuoriin päädyttiin, koska mittalaitteessa olevan tallentimen lähettämä WLAN-signaalin on läpäistävä mittalaitteen kotelo kommunikoinnin mahdollistamiseksi. Kommunikointi tapahtuu matkapuhelimella tai tablet-tietokoneella palvelimen välityksellä.

## 6.6 Jännitystä mittaavan voima-anturin asennus

Mittalaitteessa oleva jännitystä mittaava voima-anturi tarvitsee toimiakseen kelluvan ohjaimen, jotta se mittaisi painetta luotettavasti. Edellytyksenä on, että voima-anturiin kohdistuisi vain kairaustankoihin kohdistuva jännitys. Siihen ei saa kohdistua vääntövoimaa, sillä jännitystä mittaavaa voima-anturia ei ole suunniteltu mittaamaan momenttia. Maaperätutkimuskoneen muodostaman paineen tulee kohdistua kelluvan ohjaimen voima-

anturille kohtisuoraan. Ohjaimen tulee olla muodoltaan sellainen, että se ei pääse pyörimään. Mikäli ohjain pääsee pyörimään, se voi asettua epätasaisesti voima-anturille. Tämä vaatimus voidaan toteuttaa suunnittelemalla mittalaitteen yläpäähän neliön muotoinen sovite, johon kelluva holkki asennetaan. (Kuva 11.)

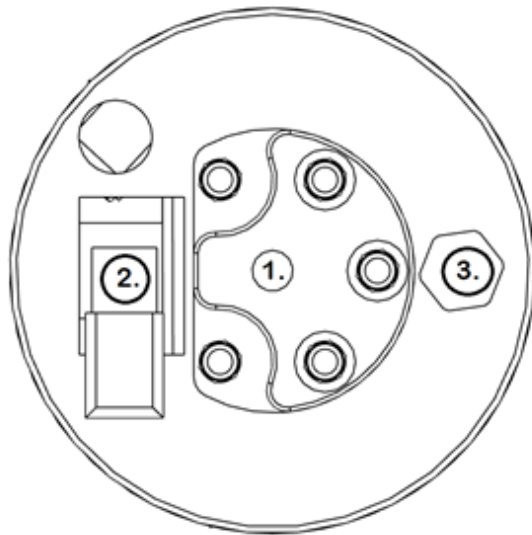


Kuva 11. Mittalaitteen kelluvan holkin kiinnitys.

### 6.7 Momenttia mittaavan voima-anturin asennus

Momenttia mittaavan voima-anturin paikan suunnittelussa tulee huomioida, että momentti kohdistuu voima-anturiin kohtisuoraan. Voima-anturin valinnassa on huomioitava myös mittalaitetta koossa pitävä tappi, sillä voima jakautuu niiden kahden välillä tasaisesti. Vääntömomenttia ne eivät kuitenkaan puolita, elleivät ne ole samalla säteellä momenttipisteestä. (Kuva 12.)

Kuvassa 12 havainnollistetaan momentin jakautumista kiinnipitävän holkin ja voima-anturin välillä.



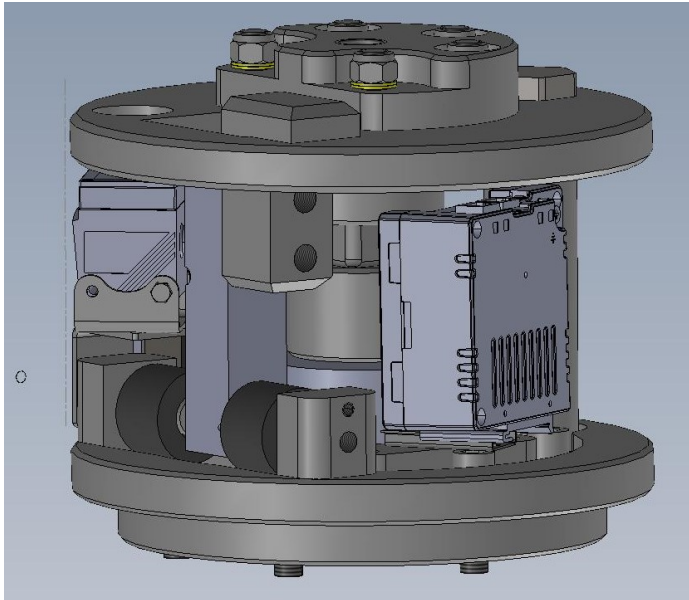
1. Kairaustangon kiinnityskohta
2. Voima-anturi (momentti)
3. Mittalaitetta kiinni pitävä tappi

Kuva 12. Vääntövoiman jakautumisen havainnollistaminen.

## 6.8 Tallennin ja signaalinmuunninkortit

Voima-anturien ja laseretäisyysanturin tuottamien tietojen tallentamiseksi tarvitaan yhtä monta signaalinmuunninkorttia kuin mittalaitteessa on voima- ja etäisyysantureita. Signaalinmuunninkortit yhdistetään samanaikaisesti tallentimeen, joka tulkitsee signaalinmuunninkorttien välittämän datan ja tallentaa ne muistikortille. Muistikortille tallennetut tiedot ovat tämän jälkeen siirrettävissä tietokoneelle jatkokäsittelyä varten.

Kuva 13 esittää mittalaitteen virtuaalisesti mallinnettua prototyyppiä. Kuvassa vaaleanharmaana näkyvät mittalaitteeseen valitut komponentit (laseretäisyysanturi, vääntö- ja kuormavoima-anturi ja tallennin), jotka mahdollistavat vääntö- ja puristusvoiman mittamisen ja mittaustietojen rekisteröinnin.



Kuva 13. Solidworks 2018 -3D-ohjelmalla mallinnettu mittalaite.

## 7 Prototyypin valmistaminen

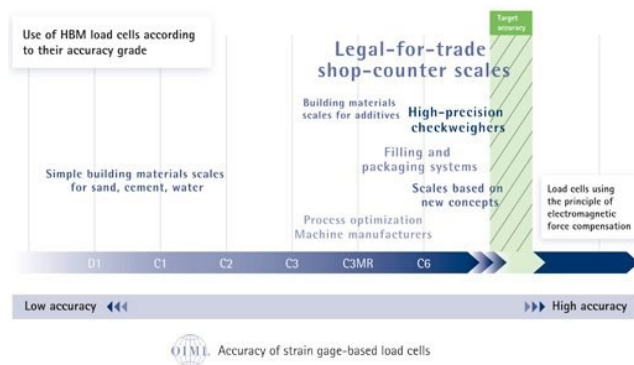
Prototyypin mallintamisen ja suunnittelun lähtötietojen selvittämisen jälkeen lasketaan mittalaitteeseen kohdistuvat fysikaaliset voimat eli momentti ja jännitys. Valmistettava mittalaite sisältää kaikki tarvittavat komponentit, erikseen maaperätutkimusvaunuihin asennettavia komponentteja ei tarvita.

Mittalaitteessa käytettävät voima-anturit mittaavat momenttia ja jännitystä, lisäksi mittalaitteessa etäisyyttä mitataan laseretäisyysanturilla. Antureiden keräämät tiedot käsitellään, joten anturit yhdistetään ensiksi signaalinmuunninkorttiin, joka on taas puolestaan yhdistettynä tallentimeen, joka rekisteröi ja tallentaa mittaustiedot. Kerätyistä tiedoista luodaan tämän jälkeen kairausdiagrammi.

## 7.1 Voima-anturien valinta

Mittalaitteessa käytetään OIML-standardin voima-antureita. OIML-standardin luokittelussa karkea mittatarkkuus ilmoitetaan kirjaimin A, B, C ja D. Luokittelussa täsmällisempi tarkkuus ilmenee kirjaimen perässä olevista numeroista 1–6. Esim. tarkkuusluokan C3 kirjain- ja numeroyhdistelmä kertoo suunnittelijalle, miten usein voima-anturit päivittävät mittaustuloksen ja kuinka tarkasti ne pystyvät toistamaan saadun mittaustuloksen. [7, s. 15–19.]

Kuva 14 esittää voima-antureiden luokittelua ja mahdollisia käyttötarkoituksia OIML-standardin mukaan.



Kuva 14. Voima-anturin tarkkuusluokat [8].

Voima-anturien valinta tapahtuu lasketun momentin ja jännityksen ehdoilla siten, että valettavien voima-antureiden mittaussuokan tulee vastata laskelmista saatuja arvoja. Mittaussuokalla tarkoitetaan voimaa ( $N$ ), johon voima-anturi on suunniteltu. Voima-anturin kestämisen varmistamiseksi mittaussuokka pyöristään ylöspäin seuraavaan lähimpään mittaussuokkaan. Mittalaitteessa käytetään tarkkuusmittaussuokan C3 voima-antureita.

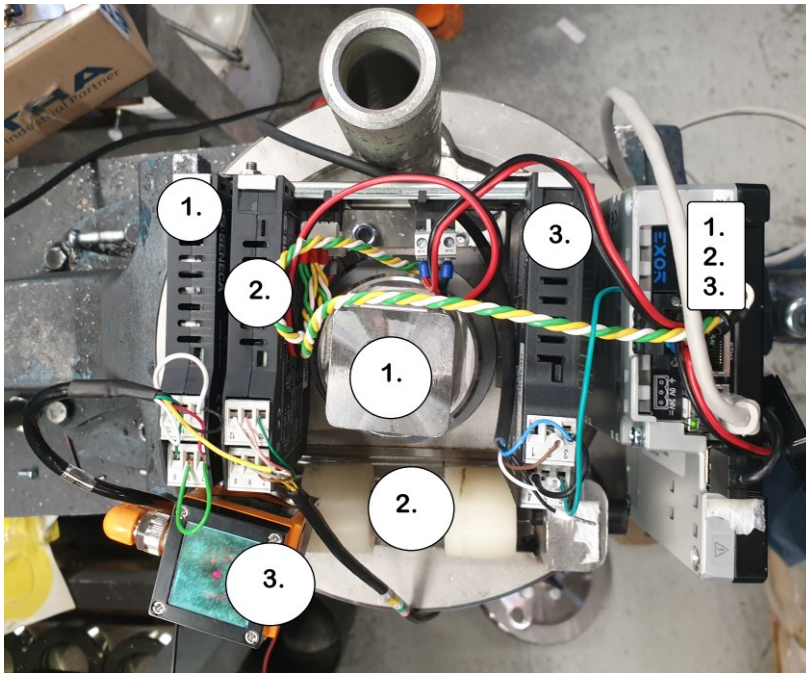
Tarkkuusmittausluokan määrittää voima-anturin saman mittaustuloksen toistaminen. Voima-anturi on sitä luotettavampi, mitä useammin se pystyy toistamaan saman mittaustuloksen. Voima-anturin valinnassa huomioidaan anturille suunniteltu käyttökohde. Mittalaitteeseen ei ole järkevää valita liian suuren mittaluokan voima-anturia. Liian suuren mittaluokan voima-anturit eivät pysty rekisteröimään pieniä kuorman muutoksia riittävän tarkasti, mikä on edellytyksenä tarkemmalle puristin-heijarikairaukselle.

## 7.2 Voima-anturien ja signaalimuunninkorttien toiminta

Voima-antureilla mitataan niihin kohdistuvia voimia kuten jännitystä ja momenttia. Voima-anturit muuttavat niihin kohdistuvat voimat sähköiseksi signaaliksi. Esimerkiksi yleiseen venymäliuska-anturiin kohdistuva voima aiheuttaa venymäliuskaassa resistanssin muutosta. Resistanssin muutos on niin pientä, että se pitää vahvistaa. Vahvistaminen tapahtuu signaalimuunninkortin avulla. [9, s. 3.]

Signaalimuunninkortti käsittelee voima-anturilta tulevan signaalin sitä vahvistaen. Vahvistamisen jälkeen signaalimuunninkortti lähettää tiedon tallentimelle, jonka ohjelma tulkitsee signaalimuunninkortin lähettämää tietoa ja käsittelee sitä [9, s. 3]. Tallennin kirjoittaa käsittelemänsä tiedon muistikortille, jotta se voidaan viedä analysoitavaksi erilliselle tietokoneelle. Tarkemmassa puristin-heijarikairauksessa käsitellään jännitystä, momenttia ja kairausvyvyttä koskevia mittaustietoja.

Kuva 15 havainnollistaa signaalimuunninkorttien ja tallentimen välistä kommunikointia. Tallennin on oikeassa kulmassa, laseretäisyysanturi on 3. kohdassa, momenttia mittaavan voima-anturin paikka on 2. kohdassa ja jännitystä mittaava voima-anturi on 1. kohdassa. Voima-anturit ja laseretäisyysanturi ovat yhteydessä omaan signaalimuunninkorttiinsa, jotka välittävät tiedon tallentimelle.



Kuva 15. Laseretäisyys- ja voima-anturien sekä tietokoneen kytkentä.

### 7.3 Momentin määrittely

Mittalaitteeseen vaikuttava momentti tulee laskea, jotta voidaan arvioida mittalaitteen vääntövoima-anturiin kohdistuvaa voiman suuruutta. Momentti voidaan määrittellä seuraavalla tavalla.

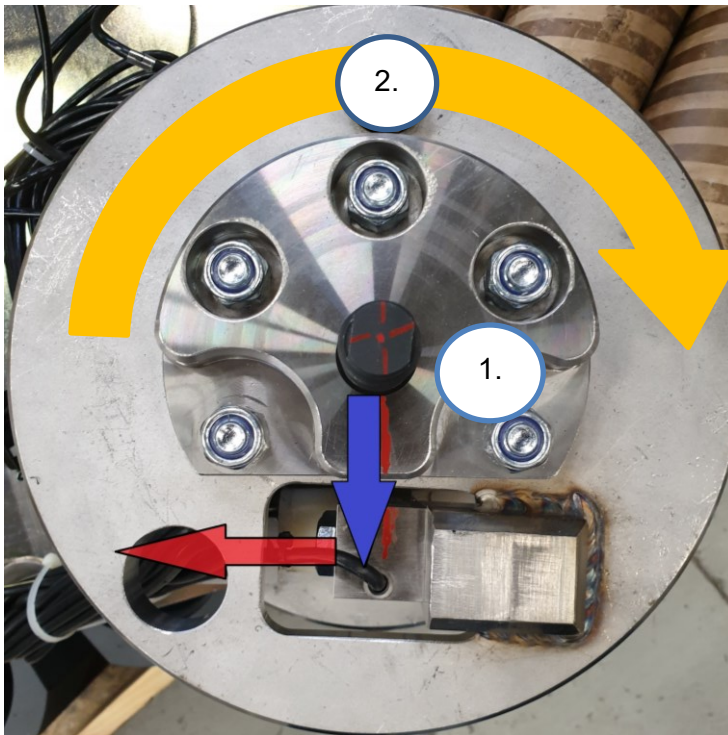
Momentti ( $M$ ) esiintyy vääntövaikutuksen seurauksena vivussa etäisyydellä ( $R$ ). Momentin suuruus on suoraan verrannollista vääntävän voiman ( $F$ ) ja vipuvarren kohtisuoraan etäisyyteen ( $R$ ). Täten voima voidaan laskea pisteeseen, johon vääntövoima-anturi sijoitetaan. Vääntövoimaa laskiessa huomioidaan mittalaitetta kiinni pitävä tappi, jonka ansiosta voima pisteellä ( $F$ ) puolittuu. Momentin laskemisen jälkeen valitaan

mittaustarkkuudeltaan ja voimaluokaltaan sopiva voima-anturi. Momentin laskemiseen käytetään sovellettua kaavaa 2 [6, s. 93].

$$F = \frac{1}{2} x \frac{M}{R} \quad (2)$$

- $M$  on momentti
- $F$  on pisteeseen kohdistuva voima
- $R$  on säde, jolla voima  $F$  vaikuttaa

Kuvassa 16 keltainen nuoli kuvastaa mittalaitteen pyörimistä ( $M$ ) ja sininen nuoli kuvaa sädettä ( $R$ ), jolla voima vaikuttaa mittalaitteen pyöriessä. Punainen nuoli osoittaa voiman suunnan ( $F$ ). Kuvan kohta 2. havainnollistaa mittalaitetta kiinni pitävää tappia, jonka ansiosta voima ( $F$ ) puolittuu. Kuvassa kohta 1. on paikka, johon kairaustanko kiinnitetään.

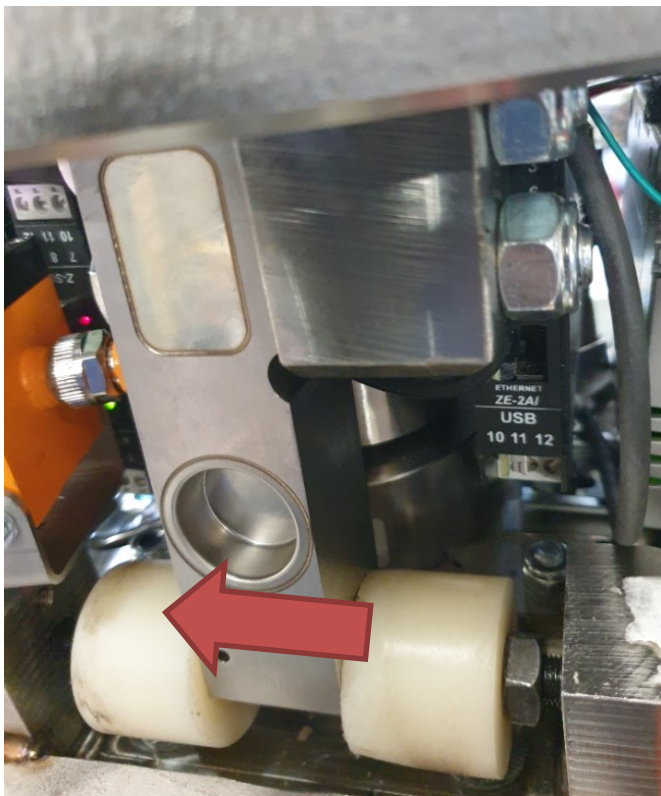


Kuva 16. Vääntömomentin havainnollistaminen.

Prototyypille lasketaan voima-anturiin kohdistuva voima, jotta voidaan valita oikea momenttia mittaava voima-anturi. Kairaustankoihin kohdistuva vääntövoima saadaan selville maaperätutkimusvaunujen konekorteista.

Laskenta tapahtuu voima-anturin säteen ja keskipisteen etäisyyden mittaamisella 3D-mallista. Kerätyistä lähtötiedoista lasketaan maksimivoima, joka vaikuttaa voima-anturin kohdalla. Maksimivoiman laskemisen jälkeen valitaan oikea vääntövoima-anturi valmistajien katalogista. Toimenpiteellä varmistetaan, että voima-anturiin kohdistuva voima on voima-anturille sopiva.

Kuvassa 17 punainen nuoli osoittaa voima-anturin asennussuuntaa. Anturi asennetaan vääntävän voiman suuntaisesti, jotta vääntövoima kohdistuu voima-anturiin kohtisuoraan. Näin vältetään sivuttaisvoimia, jotka vaurioittavat voima-anturin. Voima-anturi kiinnitetään mittalaitteen yläosassa olevaan vääntömittauksen pöytään koneruuveilla ja muttereilla.



Kuva 17. Vääntövoima-anturin toiminnan havainnollistaminen.

Valkoisten tyynejen tehtävänä on toimia tukena voima-anturille, jota vastaan vääntövoima-anturi mittaa. Tyynyt suunnitellaan siten, että niistä saadaan vääntövoima-anturille säädettävä vällys oikeiden mittaustulosten saamiseksi. Säättömekanismi toimii tyyneissä olevia koneruuveja käyttäen. Säädettävä vällys lukitaan kontramuttereilla, jotka estävät tyynejen löystymisen. Asennustapa mahdollistaa punaisen nuolen osoittaman voiman mittaamisen.

#### 7.4 Kairaustankoihin kohdistuva jännitys

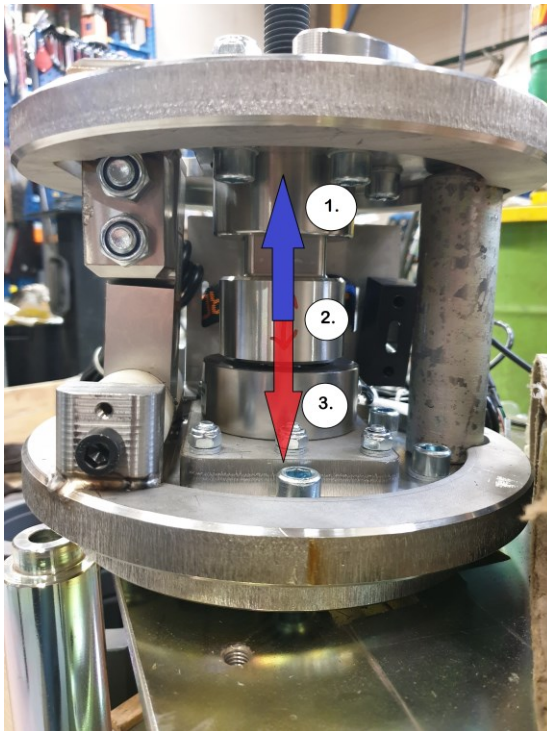
Mittalaitteeseen kohdistuu jännitystä silloin kuin kairaustankoja painetaan maaperään. Jännitys lasketaan kairaustankoon asetetun kartionmuotoiseen kärjen leveimmästä kohdasta. Maaperän aiheuttama vastustus synnyttää jännityksenä ilmentyvää voimaa. Jännityksen laskemiseksi käytetään alla esitettyä kaavaa 3. [6, s. 139.]

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3)$$

- $F$  on kuormittava voima
- $\sigma$  on normaalijännitys
- $A$  on poikkileikkauksen pinta-ala

Jännityksen laskeminen on yksinkertaisempaa kuin momentin laskeminen. Jännityksen suuruus määräytyy maaperätutkimusvaunujen kokoluokan mukaan. Tässä tapauksessa kairaustankoa painetaan maahan 20 kN:n vakiovoimalla ja kairaustangon kartionmuotoisen kärjen leveimmälle kohdalle on määritelty pinta-ala ( $m^2$ ). [4, s. 62–63.]

Kuvassa 18 kelluva holkki (2.) nimensä mukaisesti kelluu mittalaitteen kannessa olevan ohjaimen (1.) ja voima-anturin (3.) välissä. Edellä mainittu tarkoittaa, että holkkia ei ole kiinnitetty päistään kiinni. Kuvan punainen nuoli kuvastaa voimaa, joka syntyy kairaustankoa maahan puristettaessa ( $N$ ). Sininen nuoli puolestaan kuvastaa voimaa, joka vastustaa kairaustangon maahan painamista muodostaen painetta ( $MPa$ ).



1. Mittalaitteen kannessa olevan kelluvan holkin ohjain.
2. Kelluva holkki, joka painautuu kuormavoima-anturia vasten.
3. Voima-anturi, joka kiinnittyy mittalaitteen pohjaan.

Kuva 18. Puristusvoiman havainnollistaminen.

Kelluva holkki suunnitellaan siten, ettei se pyöri pysty akselinsa ympäri. Holkin pyöriminen estäisi sen tasaisen asettumisen voima-anturille mittalaitetta siirrettäessä ja kuluttaisi voima-anturin ja holkin metallia. Voima-anturin valmistaja on ilmoittanut materiaaliksi ruostumattoman teräksen. Kelluvan holkin materiaalin tulee olla samaa kuin voima-antureissa käytetty materiaali, jotta voidaan hallita lämpölaajenemista. Tällöin komponentit laajenevat tai supistuvat yhtä paljon vallitsevan lämpötilan muuttuessa.

### 7.5 Etäisyysanturin valinta mittalaitteeseen

Etäisyysanturi päätettiin asentaa mittalaitteeseen, jolloin maaperätutkimusvaunuihin ei tarvitse asentaa ulkoisia antureita. Mittalaitteessa oleva etäisyysanturi pyörii mittalaitteen kanssa kairaustankojen mukana, joten sen tulee mitata kairausvyvyttä langattomasti. Näin ollen vaihtoehtoina ovat ultraääni- tai laseretäisyysantureita.

Ultraäänietäisyysanturia ei voida käyttää mittalaitteessa pölyisissä olosuhteissa esiintyvän häiriöherkkyyden vuoksi. Ultraäänianturin toisena heikkoutena on, ettei se tunnista etäisyyksiä tietyiltä tasopinnoilta kuten kiiltäviltä ja sileiltä pinnoilta.

Kairaussyvyyden mittaamiseen valitaan laseretäisyysanturi, koska se soveltuu käyttötarkoitukseen ultraäänianturia paremmin. Laseretäisyysanturin valinnassa huomioidaan sen mittaustarkkuus ja se, tarvitseeko anturi erillisiä prismoja toimiakseen. Laseretäisyysanturi on sijoitettava siten, että koneenkäyttäjä ei vahingossa voi katsoa lasersäteeseen työskennellessään mittalaitteen kanssa esimerkiksi asentaessaan uutta kairaus tankoa paikalleen. Valmiissa tuotteessa tulee käyttää varoitustarraa ja ohjeistaa käyttäjää käyttämään suojalaseja. Kuva 19 esittää mittalaitteeseen asennettua laseretäisyysanturia.



Kuva 19. Laseretäisyysanturi asennettuna mittalaitteeseen.

## 7.6 Kairaussyvyyden mittaaminen

Kairausreiän syvyys kertoo, mihin syvyyteen kairaus on päätetty. Tarkempaa kairaussyvyyden mittaamista tarvitaan eri maalajien vaihtelevuuksien havainnollistamiseen. Tarkemmassa puristin-heijarikairauksessa kairaussyvyyden mittaamiseen käytetään mittalaitteessa olevaa laseretäisyysanturia, joka mittaa syvyyttä langattomasti. Laseretäisyysanturin valinnassa perusteena on, että se tuottaa tarkan mittausdatan ja toimii

häiriötä myös pölyisissä ympäristöissä mahdollistaen katkeamatonta ja häiriötöntä kairausvyöden mittaamista.

Perinteisessä puristin-heijarikairauksessa kairausreiän syvyystieto rekisteröidään pulssianturilla, joka mittaa korkeutta porapöydän puomissa olevan mittaketjun avulla. Maaperätutkimusvaunujen tallentimesta saatu syvyystieto on mittalaitteen tutkimustarkkuudelle epätarkkaa, johtuen pulssianturin epätarkkuudesta. Pulssianturin epätarkkuus taas johtuu siitä, että toimiakseen mittaketjun kanssa siihen on asennettava hammasratas, jolloin pulssianturin tarkkuus on vain mittaketjun hammasväli. Pulssianturin rekisteröinti- nopeus ei myöskään riitä tarkemman puristin-heijarikairauksen suorittamiseksi.

Kuvan 20 sininen nuoli osoittaa maaperätutkimusvaunujen istukkaan, johon mittalaite kiinnitetään. Oranssi nuoli osoittaa mittalaitteeseen ja vihreä nuoli havainnollistaa, että etäisyys mittalaitteen ja istukan välillä on muuttumaton. Kuvassa punainen nuoli osoittaa tankolukkoa, jonka läpi kairaustangot asetetaan maaperätutkimuksia tehdessä.



Kuva 20. Maaperätutkimusvaunu ennen maaperätutkimuksen aloittamista.

Laseretäisyysanturin asentaminen ei ole mahdollista niin, että se mittaisi ylöspäin. Tämä johtuu siitä, että mittalaitteen ja maaperätutkimusvaunujen istukan välinen etäisyys on muuttumaton. Laseretäisyysanturin mittaussuunta on näin alaspäin, mikä aiheuttaa työturvallisuusriskin. Uutta kairaustankoa asettaessa mittalaitteen alapuolelle käyttäjä voi vahingossa katsoa suoraan lasersäteeseen, koska lasersäteen sammuttaminen uutta kairaustankoa asennettaessa ei ole ohjelmallisesti mahdollista. Tätä työturvallisuusriskiä voidaan minimoida ohjeistamalla koneenkäyttäjää käyttämään suojalaseja mittalaitteen kanssa työskennellessä ja käyttämällä mittalaitteessa laserisäteestä varoittavaa varoitustarraa.

### 7.7 Mittausohjelman toiminta

Mittalaitteen tallentimeen on asennettu mittausohjelma, jotta mittalaitteen kanssa voidaan työskennellä. Mittausohjelmaa käytetään matkapuhelimen tai tablettitietokoneen internetselaimella WLAN-verkossa. Ennen tarkemman puristin-heijarikairauksen aloittamista tehdään mittalaitteen ohjelmassa vaadittavat aloitustoimenpiteet.

Mittalaitteen ohjelmassa ensin taarataan mittalaitteen voima-anturit eli voima-anturit nolataan. Seuraavaksi ohjelmaan syötetään puristin-heijarikairaukselle tarvittavat lähtötiedot. Tarvittavat lähtötiedot ovat työn nimeäminen, tarkemman puristin-heijarikairauksen aloitussyvyyden ja käytettävien kairaustankojen pituuden määrittäminen. Tämän jälkeen voidaan tarkempi puristin-heijarikairaus aloittaa. Ohjelma rekisteröi tiedot voima-antureihin kohdistuvista voimista ja kairaustangon kärjen syvyydestä. Lisäksi ohjelma osaa ilmoittaa akuston varaustason, jotta käyttäjä osaa arvioida mittalaitteen käytössä olevaa toiminta-aikaa.

Kuva 21 havainnollistaa mittausohjelman käyttöliittymää, jota käytetään tarkemmassa puristin-heijarikairauksessa. Näyttö kertoo akkujen varaustason, puristus- ja vääntövoiman sekä aloitus- ja kairaussyvyyden.



Kuva 21. Mittausohjelman toiminta havainnollistettuna.

## 8 Toiminnallisuuden toteaminen

Luotettavan toiminnan varmistamiseksi mittalaitteen toimintavarmuus tulee säännöllisesti todentaa. Toimintavarmuudella mittalaitteen antamia tuloksia verrataan jäljitettävissä oleviin vertailukelpoisiin tuloksiin. Mittausten luotettavuuden kannalta on tärkeää suorittaa mittalaitteen toiminnallisuuden varmistaminen aina samalla tavalla. Valmistettavalle mittalaitteelle ei ole kalibrointistandardia, joten täytyy kehittää normi, jolla mittalaitteen luotettavuus varmistetaan. Kehitettävässä normissa tulee olla mahdollisimman vähän muuttuvia tekijöitä ja suoritettavia työvaiheita, jotta mahdollisilta virheiltä vältyttäisiin.

### 8.1 Mittalaitteen toiminnan varmistaminen testipenkissä

Testipenkissä suoritettavan testauksen tavoitteena on todentaa mittalaitteeseen asennetun elektroniikan kunto ja voima-antureiden antamien lukemien luotettavuus. Tarkkojen ja luotettavien mittaustulosten saamiseksi mittalaite on hyvä testata testipenkissä kerran vuodessa. Testattavan mittalaitteen ilmoittamista lukemista luodaan pöytäkirja, joka tallennetaan yrityksen järjestelmään laadunvalvonnan mahdollistamiseksi.

Testaaminen suoritetaan asettamalla 10 kilogramman painoja mittalaitteen päälle toinen toisensa jälkeen aina sataan kilogrammaan asti. Asetetuilla painoilla simuloidaan maaperän aiheuttamaa kairausvastusta. Asetettujen painojen aiheuttamaa voimaa verrataan mittalaitteen ohjelman antamiin lukemiin.

Maaperässä olevan saven aiheuttamaa momenttia simuloidaan momenttiavaimella 100 Nm voimalla. Momenttiavaimen käyttö on yksinkertaista ja se mahdollistaa toiminnan varmistamiseksi asetetun tarkkuuden. Toivottuun tarkkuuteen päästään, kun momenttiavaimen ilmoittama arvo vastaa mittalaitteen antamaa arvoa. Luotettavan mittaustuloksen saavuttamiseksi koko prosessi tulee toistaa kolme kertaa. Toistamisella varmistetaan, että mittalaitteella saadaan luotettavia ja ennen kaikkea toistokelpoisia lukemia. Mikäli mittalaitteen tuottamat mittaustulokset poikkeavat vaaditusta tarkkuudesta, poikkeaman syy tulee selvittää. Ensimmäisenä on hyvä tarkastaa, ovatko mittalaitteen voima-anturit kiillautuneet tai voima-anturit muutoin vaurioituneet. Sen jälkeen tarkastetaan, onko momenttiavain säädetty oikeaan lukemaan, ja ovatko mittalaitteen päälle asetetut painot massaltaan oikeat. Lopuksi tarkastetaan vielä mittalaitteen ohjelman lähdekoodin toiminta. Edellä mainitut tarkastustoimenpiteet toistetaan vielä kaksi kertaa toiminnan varmistamiseksi.

Testipenkissä luotettavaksi todettu mittalaite voidaan siirtää koekäytettäväksi maaperätutkimusvaunuihin.

## 8.2 Mittalaitteen toiminnan todentaminen maaperätutkimusvaunuissa

Mittalaitteen testipenkissä suoritettua toiminnan varmistamista täydennetään kairausreikää simuloivilla testausmittauksilla. Tämä tapahtuu asettamalla maaperätutkimusvaunujen tankolukon alle testauslevy, jota vasten kairaustankoja painetaan. Testauslevyn tarkoituksena on estää kairaustankojen painuminen maaperään. Testauslevyissä on voima-anturi, joka ilmoittaa kairaustankoihin kohdistuvan voiman. Voima-anturin ilmoittamat lukemat voidaan verrata mittalaitteen lukemiin.

Testauslevyn asettamisen jälkeen käynnistetään maaperätutkimusvaunuissa oleva tallennin ja aloitetaan kairaustankojen puristaminen testauslevyä vasten. Testauksen jäl-

keen vertaillaan mittalaitteen, maaperätutkimusvaunujen tallentimen ja testauslevyn antamia tuloksia. Mittalaitteen antaessa vertailukelpoisia tuloksia voidaan siirtyä mittamaan maastoon.

### 8.3 Mittalaitteen toiminnan simulointi hydraulisessa puristimessa

Mittalaitteen toimintaa voidaan simuloida hydraulisessa puristimessa, jossa jännitystä mittaavaan voima-anturiin kohdistetaan tasaista voimaa. Suoritetun testauksen perusteella tämän menetelmän käyttöä ei kuitenkaan suositella, koska voima-anturin vaurioitumisen vaara hydraulisessa puristimessa on liian suuri. Voima-anturien vaurioituminen johtuu siitä, että hydraulisessa puristimessa voiman säätäminen tapahtuu paineenrajoitusventtiilin avulla, jonka toiminta on epätarkka.

Kuvassa 22 prototyyppiä testataan hydraulisessa puristimessa, jossa simuloidaan mittalaitteen päälle testipenkissä asetettavia painoja.



Kuva 22. Mittalaitteen testaus hydraulisessa puristimessa.

## 9 Prototyypille haettava patentti

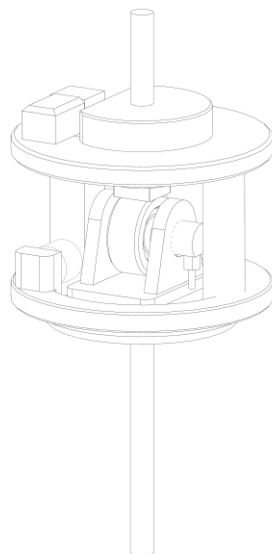
Prototyypin osoittaessa potentiaalia sille voidaan hakea esimerkiksi patenttia. Patentin tulee olla myönnettynä ennen lopullisen tuotteen lanseeraamista markkinoille. Prototyypin patentoinnilla saavutetaan kilpailijoihin nähden etulyöntiasema, jonka säilyttämiseksi prototyypin tuotesuojahakemus on hyvä jättää suunnitteluprosessin viimeiseen vaiheeseen. Näin prototyypistä voidaan nopeasti kehittää myyntivalmis tuote. [10, s. 4.]

Patentoinnin edellytyksenä on, ettei keksintöä ole aikaisemmin esitetty julkisesti taikka keksinnön ratkaisu ei ole alan ammattilaiselle itsestään selvää. Keksintö ei myöskään saa olla sarja olemassa olevien komponenttien yhdistelmä, ellei lopputulos ole yllättävää. Ennen patenttihakemuksen jättämistä tulee tarkkaan arvioida, onko esitetty patentoinnin kohde välttämättä edes patentoitavissa. Patentointi ei onnistu, jos keksintö on jo patentoitu taikka patentoinnin kohde ei täytä patentoinnin ehtoja. Mahdollisilta ongelmatilanteilta voidaan välttyä selvittämällä ennen patenttihakemuksen jättämistä, onko patentointi mahdollista ja onko vastaavanlaisia patenteja jo myönnetty. [10, s. 5.]

Tuotesuojan keksinnöllisyyteen tulee vastata patenttihakemuksessa hyvin tarkasti. Hakemuksesta on käytävä ilmi, miten ongelma on ratkaistu ja mitkä ovat ratkaisun tulokset. Aivan kaikkea ei kuitenkaan voida patentoida. Ei voida patentoida asioita, jotka liittyvät taiteellisiin luomuksiin, tietokoneohjelmiin ja biologiseen jalostamiseen pois sulkien mikrobiologiset menetelmät. [10, s. 8.]

Tuotesuojan hakemiseen ja myöntämiseen liittyy paljon rajoituksia ja ehtoja, kuten esimerkiksi mihin maihin tai mille alueelle patenttia haetaan, sillä jokaisesta maa- ja aluekohtaisesta patentista tulee maksaa erillistä patentointimaksua. Hakemuksesta on esitettävä keksinnön toimintaan liittyvät välttämättömimmät asiat selitettynä, kuten piirustuksia havainnollistamaan uutta keksintöä ja keksinnön toimintaa. [10, s. 4–5.]

Tässä opinnäytetyössä suunniteltuun mittalaitteeseen on haettu patenttia, sillä tarkempaa puristin-heijarikairausta ja uudistettua mittaustapaa ei ole vielä julkisesti esitetty tai haettu sille tuotesuojaa. Kuvassa 23 patenttihakemukseen liitetty havainnekuva suunnitellusta mittalaitteesta.



Kuva 23. Patenttihakemukseen liitettävä havainnekuva.

Patenttihakemuksen laatiminen ulkoistettiin patenttiasiamiehelle, joka auttaa ja edustaa hakijaa patenttihakemuksen laatimisessa. Patenttiasiamiehen käyttäminen on katsottu tarpeelliseksi, sillä hakemuksen laatiminen on työläs prosessi.

## 10 Prototyypissä havaittujen epäkohtien ja virheiden korjaaminen

Kokonaan uutta tuotetta suunniteltaessa prototyyppiä tulee testata useaan kertaan. Testausten aikana havaitaan epäkohtia ja virheitä, jotka vaativat korjausta. Testausten ansiosta prototyyppi jalostuu yhä lähemmäksi valmista tuotetta. Prototyypissä havaittujen epäkohtien ja virheiden korjaaminen ei saa merkittävästi vaikuttaa prototyypin tärkeimpiin ominaisuuksiin ja toimintaan. Havaittujen epäkohtien ja virheiden korjaamisen jälkeen prototyyppiä testataan uudelleen ennalta määritellysti. Testauksissa vaatimusten mukaiseksi todettu toimiva prototyyppi voidaan siirtää tuotantoon ja lanseerata markkinoille. [1, s. 303–309.]

## 10.1 Prototyypin testaaminen

Suunniteltavalla mittalaitteella suoritettavan tarkemman puristin-heijarikairauksen merkittävin ominaisuus on tarkempien mittaustulosten saaminen jännityksen ja momentin sekä kairausvyökyden osalta. Maastossa suoritetuissa testauksissa havainnoidaan niitä tekijöitä, joita ei ole mahdollista simuloida tai pystytävä havaitsemaan ilman oikeassa toimintaympäristössä suoritettavia testauksia. Havaitut epäkohdat ovat seuraavat: istukan kiinnitys vaatii muutoksia, mittalaitteen tukemiseksi tarvitaan tuki, mittausohjelma vaatii päivitystä ja kairausvyökyden tarkkuutta pitää parantaa.

Prototyypin testauksen aikana tehdyt havainnot on kirjattu alle.

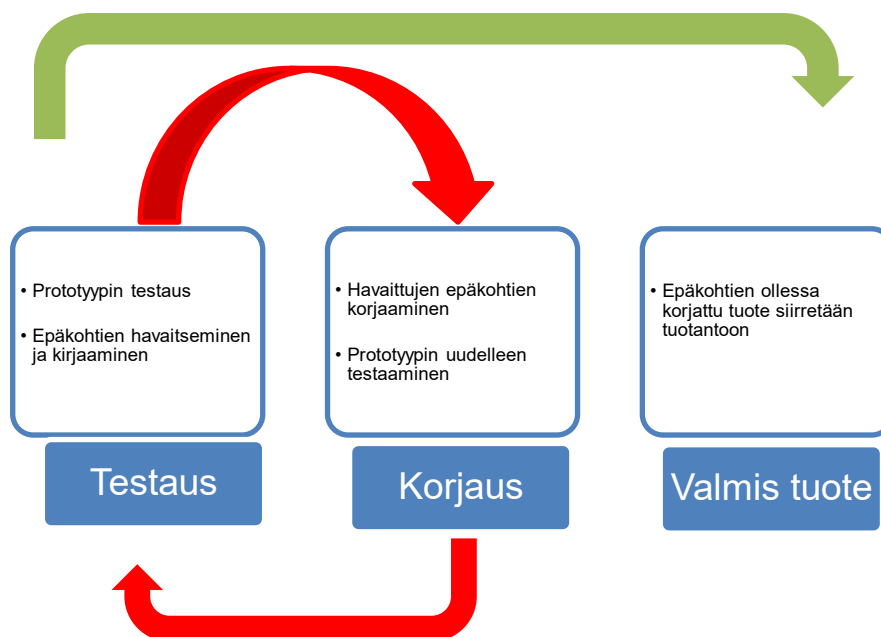
Mittalaitteelle esisuunnittelussa asetetut vaatimukset:

- Puristusvoiman mittaaminen: mittalaite toimi suunnitellusti.
- Kairausvyökyden mittaaminen: kairausvyökyys ei rekisteröitynyt kunnolla.
- Tulee asentaa kahden kairautangon väliin: mittalaite toimi suunnitellusti.
- Tulee olla siirrettävissä maaperätutkimusvaunusta toiseen: mittalaite toimi suunnitellusti.
- Plussana leikkausvoiman mittaaminen: mittalaite toimi suunnitellusti.

Testauksessa tehdyt lisähavainnot:

- Jännitystä mittaavan voima-anturin ohjain voi luiskahtaa sijoiltaan: vaatii jatkokehittämistä.
- Kairautangot voivat juuttua mittalaitteeseen: vaatii jatkokehittämistä.
- Laseretäisyysanturi ei rekisteröinyt tuloksia oikein: vaatii jatkokehittämistä.

Opinnäytetyössä prototyyppiin tehtiin useita pieniä korjauksia eli käytettiin prototyypin iteratiivista kehittämistä, prototyyppi todettiin muuten toimivaksi. Kuva 24 esittää opinnäytetyössä suunnitellun prototyypin testausta prosessikuvana.

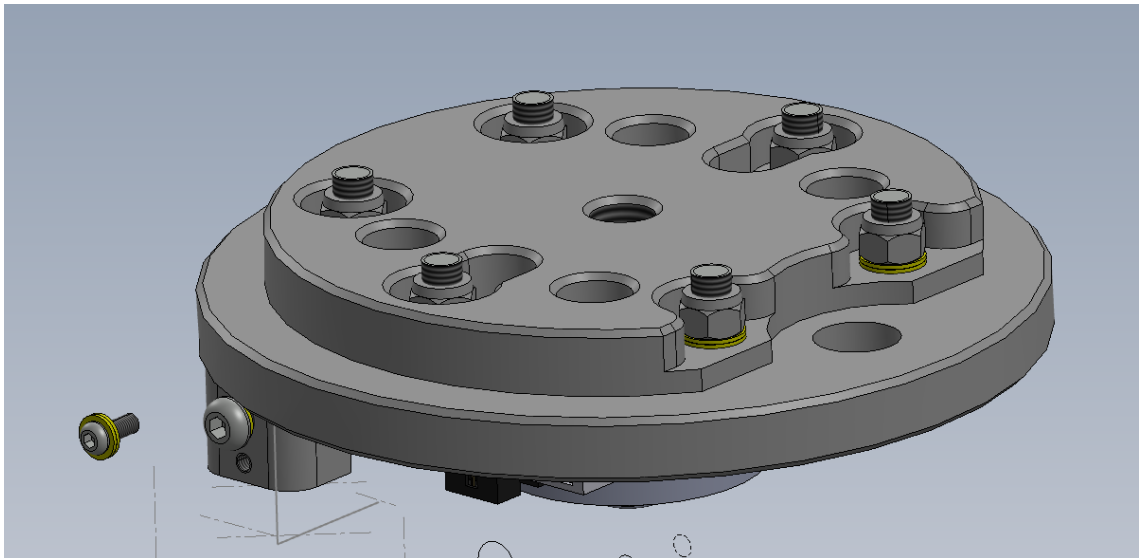


Kuva 24. Prototyypin testauksen prosessikuva.

Ennen kuin prototyyppi siirretään tuotteistettavaksi, sen tulee läpäistä prosessikuvan mukainen testausprosessi. Kuvassa 24 punaiset nuolet kuvaavat prototyypin iteratiivista testausta. Iteratiivinen testaus tarkoittaa, että tuotteelle annetaan kriteerit, joiden tulee täytyä testauksen aikana. Testauksia ja korjauksia suoritetaan niin kauan, että prototyypistä saadaan testaushyväksytty tuote. Tämä tarkoittaa, että tehdyt muutokset on dokumentoitu uuden tuotteen valmistamiseksi.

## 10.2 Istukan kiinnityksen muutokset

Lukitusmekanismi, jolla kairaus- tai adapteritankojen ylikiristyminen estetään, tulee olla mahdollisimman helppokäyttöinen. Mekanismin suunnittelu aloitettiin revisioimalla istukan puoleista kiinnitystä (kuva 25). Muutostöiden käytännön toteutus on edennyt seuraavasti. Mittalaitteen istukan puolelle hitsattiin neliönmuotoinen levy, jonka läpi liitostappi kiinnitetään mittalaitteeseen (kuva 26). Mittalaitteessa käytettävään kairaustankoon koneistettiin lukituksen mahdollistavat liitosurat, joihin asetetaan erilliset L-kirjaimen muotoiset lukituspalat. Lukituspalat kiinnitetään kairaus- tai adapteritankoon kone-ruuveilla ja kiristetään toisiinsa kiintolenkkiavaimella (kuva 27). L-muotonsa ansiosta lukituspalat mahdollistavat toimivan lukitusmekanismin.



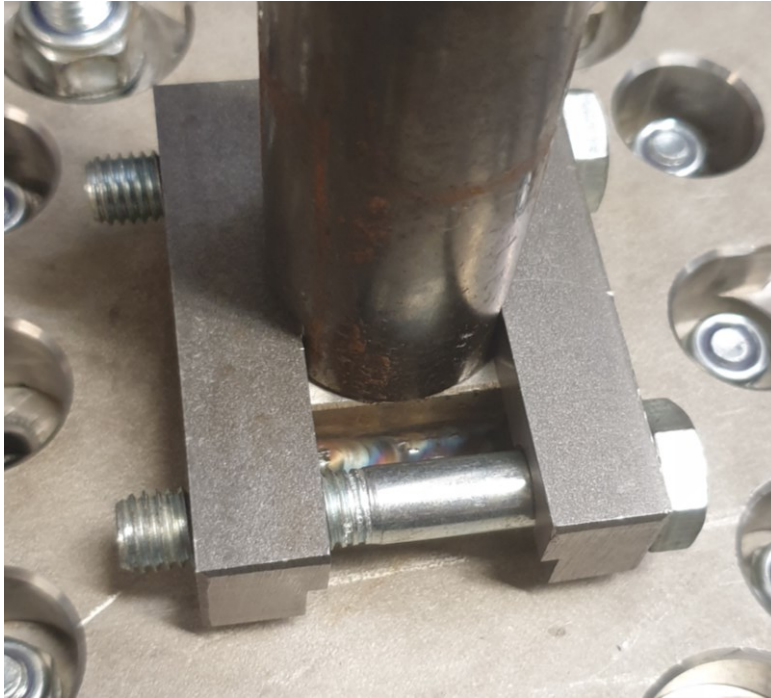
Kuva 25. Ensimmäinen revisio mittalaitteen istukan puoleisesta kiinnityksestä.

Kuvassa 26 neliöpala on hitsattuna mittalaitteen yläosaan ja liitostappi on kiinnitettyä nelipalan läpi. Toimivan lukitusmekanismin saamiseksi tarvitaan vielä erilliset lukituspa-



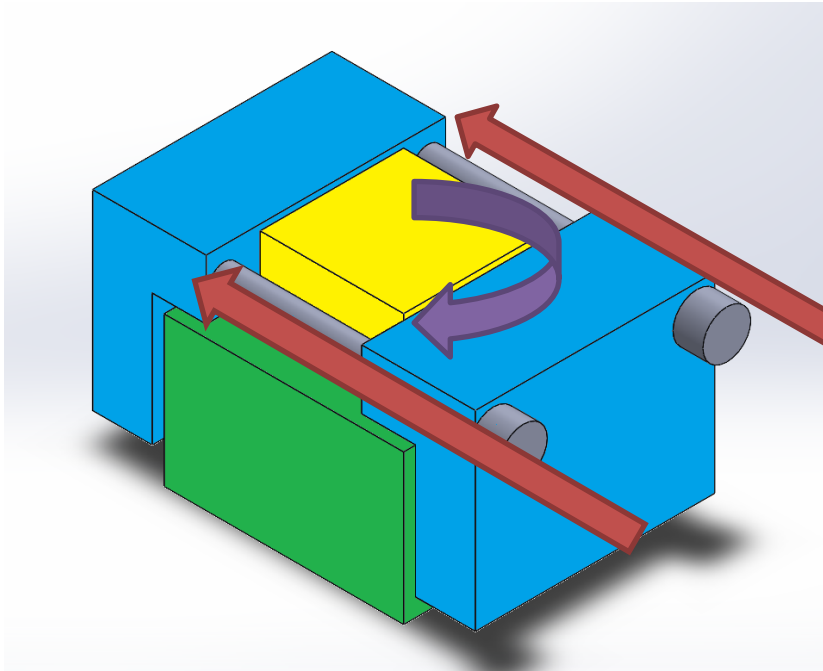
Kuva 26. Neliöpala hitsattuna mittalaitteeseen.

Kuvassa 27 lukitusmekanismi havainnollistetaan lukituspalojen kanssa. Toimiva lukitusmekanismi muodostuu mittalaitteeseen hitsatusta neliöpalasta, kairaustankoon koneistetuista liitosurista ja erillisistä lukituspaloista. Ensin kairaus- tai adapteritanko kiinnitetään mittalaitteeseen käsin kiristämällä, sen jälkeen asennetaan lukituspalat paikoilleen ja lopuksi vielä lukituspalat kiristetään toisiinsa kiintoavaimella.



Kuva 27. Mittalaitteen lukitusmekanismin havainnollistaminen kairaustangon kanssa.

Kuva 28 havainnollistaa lukitusmekanismin yksinkertaistettua mallia. Vihreä väri kuvastaa neliöpalaa, joka hitsataan kiinni mittalaitteeseen. Keltainen väri kuvastaa kairaustankoa, johon liitosurat on koneistettu. Sininen väri kuvastaa erillisiä lukituspaloja ja harmaat osat koneruuveja, joiden avulla lukituspalat kiristetään kiinni toisiinsa luoden pintapainetta tasopintojen väliin. Kuvan liila nuoli havainnollistaa pyörivää kairaustankoa ja punaiset nuolet puolestaan koneruuvien kiristämistä.

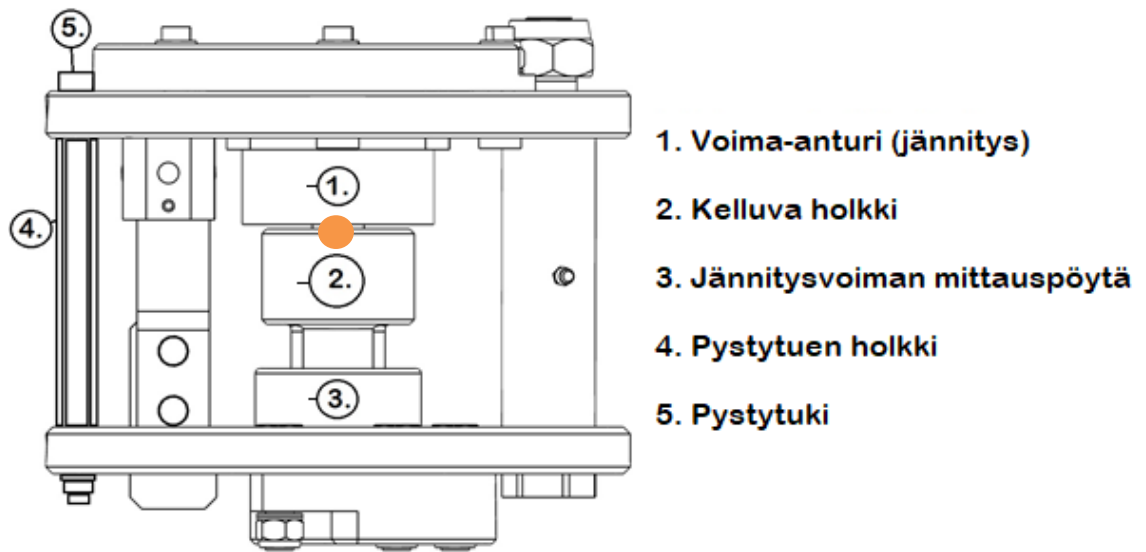


Kuva 28. Havainnekuva lukitusmekanismista.

### 10.3 Pystytuen lisääminen

Testauksissa huomattiin, että voima-anturin holkki saattaa luiskahtaa pois paikaltaan anturin kohdalta kairaustankoa nostettaessa ylös. Ohjausholkin pois luiskahtamisen aiheuttaa maaperän kitkavoima, joka ollessaan riittävän suuri taivuttaa mittalaitteen alaosa juuri sen verran, että se mahdollistaa voima-anturin holkin sijoiltaan pääsemisen. Pois luiskahtaminen voidaan välttää pystytuella, joka estää mittalaitteen vääntymisen kairaustankoja ylös nostettaessa.

Kuvassa 29 oranssi ympyrä esittää kohtaa, jossa pois luiskahtaminen voi tapahtua kairaustankoja ylös nostaessa. Pois luiskahtamisen estämiseksi asennetaan pystytuki (5.) ja pystytuen holkki (4.).



Kuva 29. Pystytuen havainnollistaminen.

Pystytuen holkki mitoitetaan siten, että siinä oleva välys poistuu mittalaitetta siirrettäessä tai nostaessa. (Kuva 30.)



Kuva 30. Pystytuki ja sen holkki.

#### 10.4 Mittausohjelman päivittäminen

Konsultin tekemässä mittalaitteen ohjelmassa kairausvyöyden rekisteröinti ei toiminut toivotulla tavalla. Ongelmana oli, että mittausohjelma rekisteröi tarpeettomia tekstirivejä uusia kairaustankoja lisättäessä. Tämän epäkohdan konsultti korjasi asentamalla mittalaitteeseen päivitetyn ohjelmaversion. Päivityksessä ohjelmaa muutettiin siten, että uuden kairaustangon lisäämisen ajaksi mittalaitteen tietojen rekisteröinti voidaan keskeyttää. Tällöin mittalaitteen tallentimelle ei tallennu turhia tekstirivejä.

#### 10.5 Kairausvyöyden tarkkuuden parantaminen

Ensimmäisissä mittalaitteen testauksissa ei saatu luotettavia kairausvyöydetietoja. Aluksi käytettävissä oli vain mittalaitteesta saadut puristus- ja vääntövoiman tulokset. Kairausvyöyden mittaamiseen käytettiin maaperätutkimusvaunuissa olevaa erillistä Rufco GM2 -kenttätietokonetta.

Epäluotettavan mittaustarkkuuden todettiin johtuvan siitä, että laseretäisyysanturi mittaa kairausvyöyttä tankolukosta, jonka epätasaisuus johtaa epäluotettavien tulosten rekisteröintiin. Epäkohta korjattiin muovisella korokelevyllä, joka asennettiin tankolukon päälle ennen kairauksen aloittamista. Korokelevy mahdollistaa laseretäisyysanturille mahdollisimman tasaisen mittauspinnan.

### 11 Maaperätutkimuksen suorittaminen ja tulosten tarkastelu

Mittalaitteen testaukset suoritettiin maastossa tilaajan esittämällä työmailla ja niiden välillä huomioitiin maaston monipuolisuus. Maastotutkimusten testauspaikoiksi valittiin työmaat, joissa puristin-heijarikairaus voidaan suorittaa mahdollisimman katkeamattomasti.

Testaustyömaiden maaperät olivat koostumukseltaan kivimurskalla tasoitettua hiekka-pohjaista maaperää, pehmeää savikkoa ja peltomaata. Kartta-aineistoista kerättyjen lähtötietojen pohjalta pystyttiin arvioimaan maaperätutkimuksessa huomioitavia seikkoja.

Esimerkiksi eräällä työmaalla oli aiemmin sijainnut metsälampi, joka myöhemmin täytettiin kivimurskalla. Lähtötieto tällä työmaalla huomiottiin siten, että maastossa suoritettiin aloituskairaus.

### 11.1 Eroavaisuudet mittaustavoissa ja tuloksissa

Mittalaitteen tuottamia mittaustuloksia verrataan maaperätutkimusvaunujen kenttätietokoneen (Rufco GM2) tuottamiin mittaustuloksiin. Mittaustulosten vertailu aloitetaan yhdistämällä mittalaitteella ja kenttätietokoneella kerätyt mittaustiedot.

Mittaustulosten vertailussa suurin huomioitava eroavaisuus mittalaitteen ja kenttätietokoneen välillä oli tietojen tallennusnopeudessa. Mittalaitteen suuremman tallennusnopeuden vuoksi mittalaitteeseen tallennetuissa tiedoissa esiintyy ylimääräisiä tekstirivejä. Ylimääräiset tekstirivit vääristävät mittaustuloksia, minkä vuoksi ne tulee poistaa ennen mittaustulosten vertailua.

Toinen merkittävä eroavuus oli mittaustulosten tietojen muodostustavassa. Kenttätietokone tuottaa mittaustulokset keskiarvoina määrätyn väliajoin, ja mittalaite tallentaa mittaustiedot tasaisin väliajoin.

Jännityksen ja momentin vertailtavuuden mahdollistamiseksi mittalaitteen ja kenttätietokoneen keräämät mittaustulokset tulee kirjata samaan kairauspöytäkirjaan. Tulosten yhdistäminen tapahtuu siten, että saadut mittaustulokset tuodaan samalle kairausdiagrammille. Kairausdiagrammi on leikkauskuva, josta selviää tutkittavan maaperän ominaisuusarvot. Leikkauskuvassa esitetään kärkivastus eli puristusvoima, momentti ja iskut. Iskut ovat hydraulisella vasaralla tehtyjä iskuja, joilla varmistetaan, että maaperässä oleva pohjakallio on saavutettu. Iskut voidaan jättää huomiotta tuloksia vertaillessa, sillä mittalaite ei mittaa niitä.

## 11.2 Kairaustulosten yhdistäminen

Mittalaitteen tuottamien tietojen tulee olla vertailukelpoiset kenttätietokoneen tuottamien tietojen kanssa. Vertailukelpoisuus mahdollistaa mittaustulosten analysoinnin. Tämän edellytyksenä olivat seuraavat asiat.

Maaperätutkimusvaunussa oleva kenttätietokone kerää rekisteröimänsä tiedot kuvan 31 mukaisesti. Kuvan ensimmäisessä sarakkeessa on kairaussyvyys, toisessa sarakkeessa momentti ja kolmannessa kairaustankoihin kohdistuva jännitys. Kairausdiagrammi muodostuu näistä tiedoista.

Samaa mittaustietojen rekisteröintitapaa päätettiin käyttää myös mittalaitteen tuottamien tietojen rekisteröintitapana vertailukelpoisen mittausaineiston saamiseksi. Lisäksi nykyinen rekisteröintitapa on järkevä säilyttää entisellään, sillä se on muodostunut käytännöksi.

Kuvassa 31 esitetään kenttätietokoneen keräämiä tietoja. Kerättyä mittausdataa ei tarvitse muokata, sillä se on valmis käsiteltäväksi sellaisenaan. Kuvassa esitetyt tiedot ovat viitteellisiä, eivätkä edusta oikeita mittausarvoja.

0,32	2,46	94,7
0,36	1,02	89,5
0,4	0,87	56,8
0,44	1,02	55,2
0,48	1,69	50,7
0,52	1,65	59,4
0,56	0,8	38,2
0,6	0,89	42,7
0,64	0,8	88,2
0,68	0,97	87

Kuva 31. Kenttätietokone Rufco GM2:n keräämät tiedot.

Kuvassa 32 esitetään mittalaitteen CSV-tiedostomuotoon keräämiä tietoja, jotka on jo viety taulukkolaskentasovellukseen. Ennen tietojen vertailua CSV-tiedoston pisteet täytyy muuttaa pilkuiksi, jotta kerättyistä mittaustiedoista voidaan muodostaa kairausdia-

grammi sekä saatuja tuloksia voidaan vertailla toisiinsa. Muokkaaminen suoritetaan Microsoftin Office Excel -nimisellä taulukkolaskentasovelluksella. Kuvassa esitetyt arvot ovat viitteellisiä eivätkä edusta oikeita mittausarvoja.

0.02	1.021	1.475
0.02	1.189	1.475
0.02	1.294	1.674
0.27	1.241	1.568
0.27	1.157	1.527
0.27	1.229	2.027
0.39	1.229	2.141
0.39	1.322	2.741
0.30	1.391	3.250
0.30	1.392	3.250
0.30	1.235	3.930
0.07	1.150	4.592

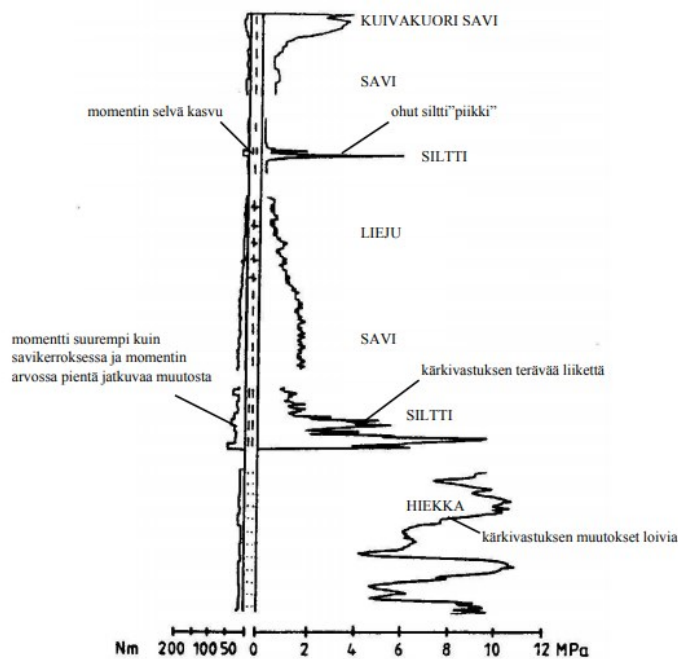
Kuva 32. Mittalaitteen keräämät tiedot.

Mittaustulosten vertailu aloitetaan poistamalla ylimääräiset tekstirivit mittalaitteen kokoa-  
masta tiedostosta. Tämän jälkeen muodostetaan kairausdiagrammit [liitteet 1 ja 2], joissa  
esiintyy samanaikaisesti kenttätietokoneen ja mittalaitteen keräämät tiedot mittau-  
tulosten vertailun helpottamiseksi.

### 11.3 Tulosten analysointi

Kerättyjen mittau-  
tulosten perusteella sekä mittalaitteella, että kenttätietokoneella pysty-  
tään analysoimaan maaperässä olevia maalajeja ja niiden kerrosvaihtelevuutta kairaus-  
diagrammin avulla. Molemmilla menetelmillä eri maalajit ja niiden kerrosvaihtelevuudet  
todetaan kairausdiagrammissa seuraavasti. Maaperän silttikerrokset eli saven ja hiekan  
sekoitukset erottuvat piikkeinä ja terävinä momentin nousuina. Savi puolestaan erottuu  
tasaisesti kasvavana momenttina. Hiekkaisilla kerroksilla momentti voi esiintyä saven-  
kaltaisena vastuksena, kivettömällä alueilla momentti esiintyy tasaisena. Kivisessä maa-  
perässä suuretkin vaihtelut ovat mahdollisia. [4, s. 75–76.]

Kuvan 33 kairausdiagrammissa havainnoidaan eri maalajeja, katkonaiset kohdat erottavat vain maalajit toisistaan.



Kuva 33. Maalajien havainnollistaminen kairausdiagrammin avulla [4, s. 77.].

Mittalaitteen suuremman tallennusnopeuden ansiosta mittaustietoa pystytään keräämään mittapisteestä suuremmalla päivitystaajuudella. Suuremman päivitystaajuuden ansiosta mittalaitteella voidaan nopeammin havaita maaperän kerrosten ja vastusten vaihtuminen kuin kenttätietokoneella. Voima-anturien tarkkuusluokan ja sijoitustavan ansiosta pystytään tarkemmin havainnoimaan maaperän koostumusta ja vastusvoimia. Mittalaitteen voima-antureiden ollessa kairaustankojen välissä, mittalaitteella voidaan havaita jopa kairaustankojen käyryydet. Kairaustankojen käyryys havaitaan kairauspöytäkirjassa väännön kohdalla epämääräisenä vastuksen muutoksena [liite 2]. Epämääräinen vastuksen muutos esiintyy epämääräisenä tasaisena ja pienenä aaltoilevana liikkeenä momentin osiossa kairausdiagrammissa [liite 2]. Aaltoileva liike alkaa silloin, kun käyrä kairaustanko on asennutettu muihin kairaustankoihin.

Mittalaitteella pystytään tuottamaan tarkempia mittaustuloksia kuin kenttätietokoneella. Saatujen tulosten tarkkuutta edesauttaa voima-anturien tarkkuusluokitus ja laseretäisyysanturin sijoituspaikka. Tarkkuuteen vaikuttaa myös mittalaitteen suurempi rekisteröinti nopeus.

## 12 Loppupäätelmät

Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin mittalaitteen prototyyppi, jonka avulla tuotteen tiilaja suorittaa geologista tutkimusta selvittääkseen, voidaanko nykyistä puristin-heijarikairausmenetelmää parantaa uudella mittalaitteella.

Suunnitellulla mittalaitteella pystyttiin testiympäristöissä tuottamaan vertailukelpoisia mittaustuloksia. Saatujen tulosten pohjalta voidaan todeta, että uuden mittalaitteen prototyypin suunnittelussa, valmistuksessa ja testauksessa on päästy tavoitteeseen.

Elektroniikkakomponenttien valinnassa onnistuttiin prototyypin tasolla, sillä valitut komponentit toimivat suunnitellusti. Akuston valinnassa jouduttiin tekemään kompromissi vaihtamalla akusto lyijyakkuihin alkuperäisesti suunniteltujen litiumakkujen sijaan.

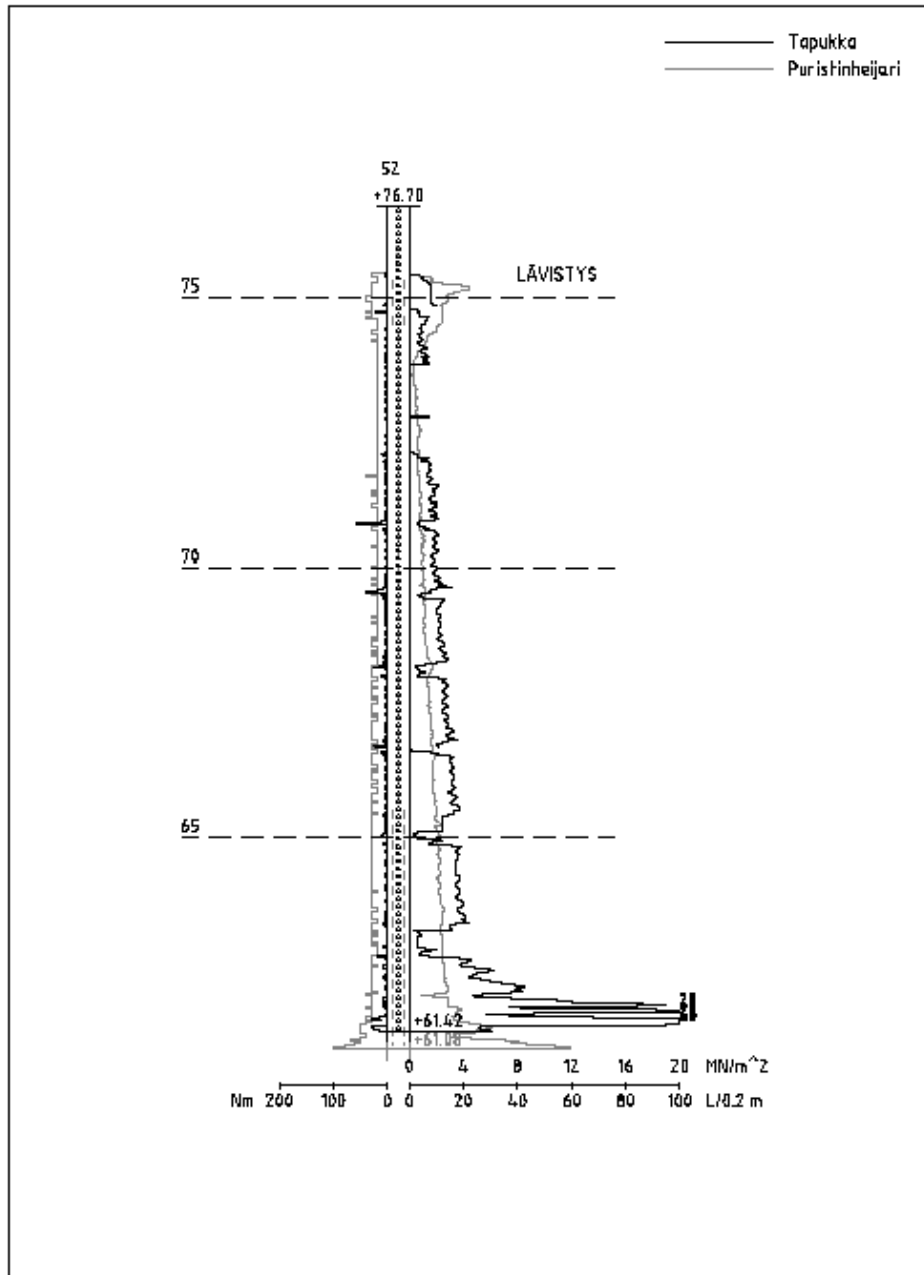
Prototyypin saaminen lähemmäksi valmista tuotetta edellyttää nykyisten elektroniikkakomponenttien korvaamisen pienemillä ja käyttötarkoitukseen paremmin soveltuvilla komponenteilla. Pienemmät elektroniikkakomponentit mahdollistavat, että valmistettava mittalaite on fyysiseltä kooltaan pienempi. Lisäksi valmiin tuotteen painoa tulee saada pienemmäksi, jotta valmis tuote olisi käyttäjäystävällisempi. Prototyypin valmiiksi tuotteeksi saaminen vaatii vielä viimeistelyä ja resursseja.

## Lähteet

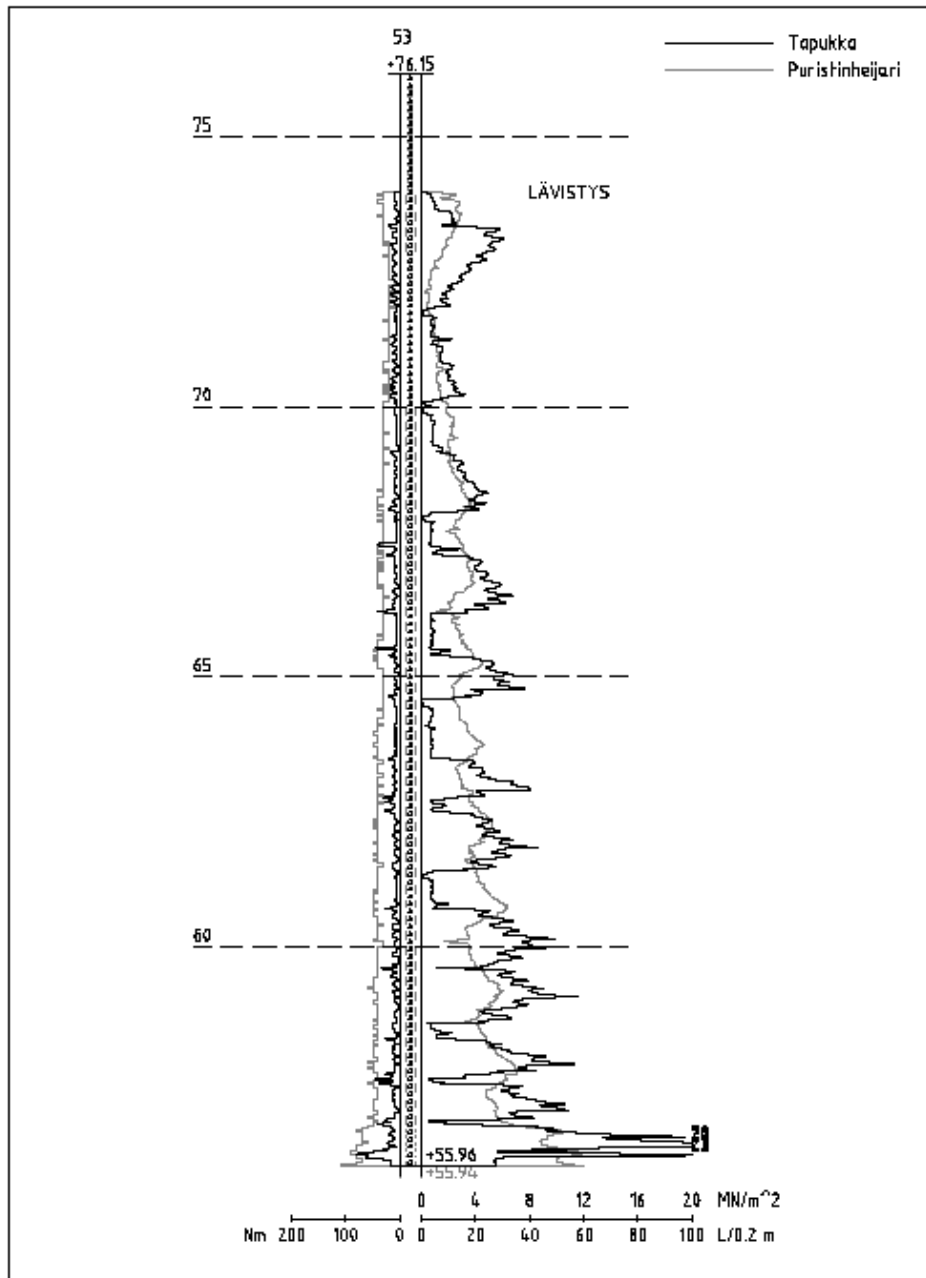
- 1 Ulrich, Karl T. & Eppinger, Steven D.. Product design and development. 5th edition. Pennsylvania: McGraw-Hill Irwin.
- 2 Darius, Shyafary; Sektal, Oscarini; Wati, Bhakti & Dwi, Cahyadi. 2020. Strategy Development Using Swot Analysis. International Journal of Scientific & Research. 2020. Verkkoaineisto. <<http://www.ijstr.org/final-print/feb2020/Strategy-Development-Using-Swot-Analysis-Case-Study-In-Product-Design-Study-Program-Polytechnic-State-Samarinda.pdf>>. Luettu 20.11.2020
- 3 Camburn, Bradley; Viswanathan, Viaml; Linsey, Julie; Anderson, David; Jensen, Daniel; Crawford, Richard; Otto, Kevin & Wood, Kristin. 2017. Design prototyping methods: state of the art in strategies, techniques, and guidelines. University of Cambridge. Verkkoaineisto. <<https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/560B306A5E799AEE54D30E0D2C1B7063/S2053470117000105a.pdf/div-class-title-design-prototyping-methods-state-of-the-art-in-strategies-techniques-and-guidelines-div.pdf>>. Luettu 20.11.2020
- 4 Kairaus opas 6 cptu puristin-heijarikairaus. 2001. Suomen geoteknillinen yhdistys. Yrityksen sisäinen dokumentti.
- 5 Silvonen, Kimmo. 2018. Elektroniikka ja sähkötekniikka. 2. painos. Espoo: Ota-tieto.
- 6 Mäkelä, Mikko; Soininen, Lauri; Tuomola, Seppo & Öistämö, Juhani. 2015. Tekniikan kaavasto. 15. painos. Tampere: Tammertekniikka.
- 7 Metrological Regulation for Load Cells Part 1: Metrological and Technical Requirements. 2016. Verkkoaineisto. Organisations Internationale de Métrologie Légale. <[https://www.nist.gov/system/files/documents/2016/11/02/tc9\\_p1\\_n001\\_oiml\\_r60-1\\_5cd\\_clean.pdf](https://www.nist.gov/system/files/documents/2016/11/02/tc9_p1_n001_oiml_r60-1_5cd_clean.pdf)>. Luettu 20.11.2020
- 8 Voima-anturiluokat. Organisations Internationale de Métrologie Légale. Verkkoaineisto. <[https://www.hbm.com/fileadmin/mediapool/images/products/software/hbm\\_WZ\\_Genauigkeitsklassen\\_en\\_012\\_kl.jpg](https://www.hbm.com/fileadmin/mediapool/images/products/software/hbm_WZ_Genauigkeitsklassen_en_012_kl.jpg)>. Luettu 20.11.2020
- 9 Johansson, Elli. 2019. Voima-antureiden testauksen suunnittelu ja toteutus. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Konetekniikan tutkinto-ohjelma. Theseus-tietokanta.

- 10 Patenttiopas. 2018. Verkkoaineisto. Patentti- ja rekisterihallitus.  
<<https://www.prh.fi/stc/attachments/patenttiniitteet/Patenttiopas.pdf>>. Luettu  
20.11.2020

Työn nimi	Työn nimi		Pääsuunnitelma
11766			52
Koordinaattitieto	X	Y	Z
	6753427.825	264.82396.563	26.744
Ensimmäinen julkaisu	Pöytäselitys	Käytetty	Alkuperäinen
		3.6.2020	-
Edustaja	Pöytäselitys		
HP - Parhela/kaiaur	Määräyksen		
Edustaja	Edustaja		



Työn nimi	Työn nimi		Pöytänumero
11766			53
Koordinaattitieto	X	Y	Z
	6753376.529	264.82349.226	26.15a
Cartografi jaottelu	Paikallisen pinta	Käytetty	Aluekoodi
		3.6.2020	-
Katso ohje	Pöytäkirja		
HP - Parhelaikaira.us	Määrävyys		
Katso ohje	Käytetty		



Pöytäkirja 1:100

