

MITTALAITTEEN SUUNNITTELU
REAKTORIPESÄN JA SUOJAPUTKIIKSIKÖN
KORKEUSASEMAN MÄÄRITTÄMISEEN
REAKTORIPAINESTIASSA

Fortum Power and Heat Oy, Loviisan ydinvoimalaitos

Tiivistelmä

Tekijä(t) Laitinen, Joonas	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 23	Valmistumisaika Kevät 2019
Työn nimi Mittalaitteen suunnittelu reaktoripesän ja suojauputtkiyksikön korkeusaseman määrittämiseen reaktoripaineastiassa Fortum Power and Heat Oy, Loviisan ydinvoimalaitos		
Tutkinto Kone- ja tuotantotekniikka (mekatroniikka)		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella Fortum Power and Heat Oy:n Loviisan ydinvoimalaitokselle mittalaite, jolla pystytään mittaamaan reaktoripesän ja suojauputtkiyksikön korkeusasema reaktoripaineastiassa. Mittalaitteen lähtökohtana toimi käytössä oleva mekaaninen mittalaite, joka haluttiin uudistaa.</p> <p>Työssä suunniteltiin uusi mittalaite, joka koostuu kahdesta laseretäisyysanturista, akustosta ja rungosta. Mittalaitteelle suunniteltiin myös kalibrointikappale, jolla se voidaan kalibroida ennen mittauksia. Mittalaite pyrittiin suunnittelemaan niin, että mitaustulokset eivät vaihtelisi mittaajan tai mittaustavan mukaan.</p> <p>Mittalaitteesta ja kalibrointikappaleesta piirrettiin valmistuspiirustukset, joiden pohjalta ne voidaan valmistaa. Antureista pyydettiin tarjous Auser Oy:ltä, ja anturit voidaan tilata sieltä, kun laite päätetään valmistaa. Tulevaisuudessa mittalaite voidaan ottaa käyttöön vanhan laitteen ohelle, kokeilla sen toimivuutta ja kehittää sitä tarvittaessa.</p>		
Asiasanat Mittalaite, suunnittelu		

Abstract

Author(s) Laitinen Joonas	Type of publication Bachelor's thesis	Published Spring 2019
	Number of pages 23	
Title of publication Engineering a measuring device for measuring the location of components inside a reactor Fortum Power and Heat Oy, Loviisa Nuclear Power Plant		
Name of Degree Mechanical and production engineering		
Abstract <p>The objective of the thesis was to engineer a measuring device for Fortum Power and Heat Oy at Loviisa Nuclear Power Plant. The mission of the measuring device is to measure the location of components inside a reactor. There already was an existing measuring device at the power plant for the job, but the device was old and mechanical, so there was a need for it to be modernized.</p> <p>The new measuring device consists two laser distance sensors, a battery and a frame. The measuring device was designed in a way that the results would not differ regardless of the person or the way the measuring is conducted. There also was a device engineered for calibration of the measuring device.</p> <p>Technical drawings were made for the measuring and calibration devices, and those can be manufactured based on the drawings. An offer request was sent to Auser Oy about the distance sensors. When manufacturing of the measuring device begins, the sensors can be ordered from Auser Oy. In the future, the measuring device can first be tested along with the previous device and be then improved if needed.</p>		
Keywords Measuring device, engineering		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	FORTUM OYJ	2
2.1	Yritys	2
2.2	Fortum Power and Heat oy, Loviisan ydinvoimalaitos	2
2.3	Reaktori	2
3	SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT	4
3.1	Mittalaitteen käyttökohde	4
3.2	Lähtötiedot	5
3.3	Kehitystyön tavoitteet	5
4	TYÖPROSESSI	6
4.1	Suunnittelutyö	6
4.2	Suunnittelutyön vaiheet	6
4.3	Antureiden valinta	7
4.4	Rungon kehitys	9
4.5	Mittalaitteen materiaalit	11
5	MITTALAITE	13
5.1	Runko	13
5.2	Antureiden kiinnityslevyt	14
5.3	Kansi	15
5.4	Anturit	16
5.5	Virtalähde	16
5.6	Valmistus ja kokoonpano	17
5.7	Kalibrointikappale	18
6	YHTEENVETO	20
	LÄHTEET	21

LYHENTEET

DC	Tasavirta eli sähkövirta, jonka suunta ei muutu. (Direct Current)
FME zone	Irtokappalepuhdas alue (FME = Foreign Material Exclusion)
LO1	Ensimmäinen laitosyksikkö: Loviisa 1
LO2	Toinen laitosyksikkö: Loviisa 2

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehdään Fortum oy:n omistamalle Loviisan ydinvoimalaitokselle. Opinnäytetyön aiheena on mittalaitteen kehittäminen reaktoripesän ja suoja-putkiyksikön korkeusaseman mittaamiseen reaktoripaineastiassa. Kyseisiä mittauksia varten on olemassa mittalaite, mutta sen tilalle halutaan kehittää uusi, entistä parempi laite. Tavoitteena on tehdä nykyaikaisempi ja käytettävyydeltään parempi mittalaite.

Mittalaitteen kehittäminen on reaktorimestarin tilaama työ laitoksen kunnossapidon mekaaniselta suunnittelulta. Opinnäytetyön pohjalta voidaan valmistaa mittalaite. Laite valmistetaan voimalaitoksen omassa koneistamossa, ja valmistamiseen käytettävä teräs löytyy laitoksen varastosta. Antureista pyydetään erilliset tarjoukset.

Oma tavoitteeni opinnäytetyölle on ensisijaisesti suunnitella laite, joka täyttää pyydetyt kriteerit. Lisäksi tavoitteeni on kehittyä konesuunnittelussa ja parantaa omaa tuntemustani anturitekniikasta sekä ydinvoimalaitoksista.

2 FORTUM OYJ

2.1 Yritys

Fortum on suomalainen energiayhtiö, josta valtioneuvoston kanslia omistaa 50,76. Sen pääkonttori on Espoon Keilalahdessa. Vuonna 2017 Fortumin liikevaihto oli 4,5 miljardia euroa, ja se työllistää kansainvälisesti noin 8750 ihmistä. Yhtiön liiketoimintaan kuuluu pääasiassa sähkön ja lämmön tuotanto sekä myynti, käyttö- ja kunnossapitopalvelut. Lisäksi Fortum myy jätepalveluita, kuten ympäristöalan asiantuntijapalveluita. (Fortum 2018a.)

2.2 Fortum Power and Heat oy, Loviisan ydinvoimalaitos

Loviisan ydinvoimalaitos sijaitsee Loviisan saaristossa Hästholmenin saarella. Ydinvoimalaitokseen kuuluu kaksi laitousyksikköä, LO1 ja LO2. Molemmat yksiköt ovat VVER-tyyppisiä painevesireaktoreita, tehoiltaan LO1 507 MW ja LO2 502 MW. Yksiköt tuottivat vuonna 2017 yhteensä 8,16 TWh, joka kattaa noin 13 % koko Suomen sähköntuotannosta.

Loviisan ydinvoimalaitoksen ensimmäinen yksikkö LO1 aloitti tuotannon vuonna 1977 ja toinen laitousyksikkö LO2 vuonna 1980. Laitoksilla on käyttöluvut voimassa vuoteen 2027 ja 2030 asti. (Fortum 2018b.)

2.3 Reaktori

Reaktorissa tuotetaan 1500 MW lämpötehoa, joka siirretään primääripiiriin jäähdytteellä lämmönvaihtimien kautta sekundääripiiriin. Sekundääripiiriin vesi höyrystyy, ja höyry johdetaan kahdelle 263 MW turbogeneraattorille noin 34 %:n hyötysuhteella.

Reaktori koostuu reaktoripaineastiasta, paineastian kannesta ja sen sisäosista. Paineastia on hitsattu kuudesta sylinterirenkaasta ja elliptisestä pohjasta. Ylimmässä renkaassa on kannen vastalaippa, ja siihen on tehty 60 kpl kierrereikiä kannen kiinnityspulteille. Paineastian laipassa on kaksi kaksoistiivisteuritusta kannen tiivisteitä varten. Ylimmässä sylinterirenkaassa on sisäpuolella uloke, johon ripustetaan reaktoripesä. Reaktoripesä ohjaa jäähdytteen virtausta reaktorissa ja kannattaa kaikkia reaktorin sisäosia. Reaktoripesän päälle on kiinnitetty 6 kpl putkijousia, jotka toimivat joustavana puristusrenkaana pesän ja kannen välissä.

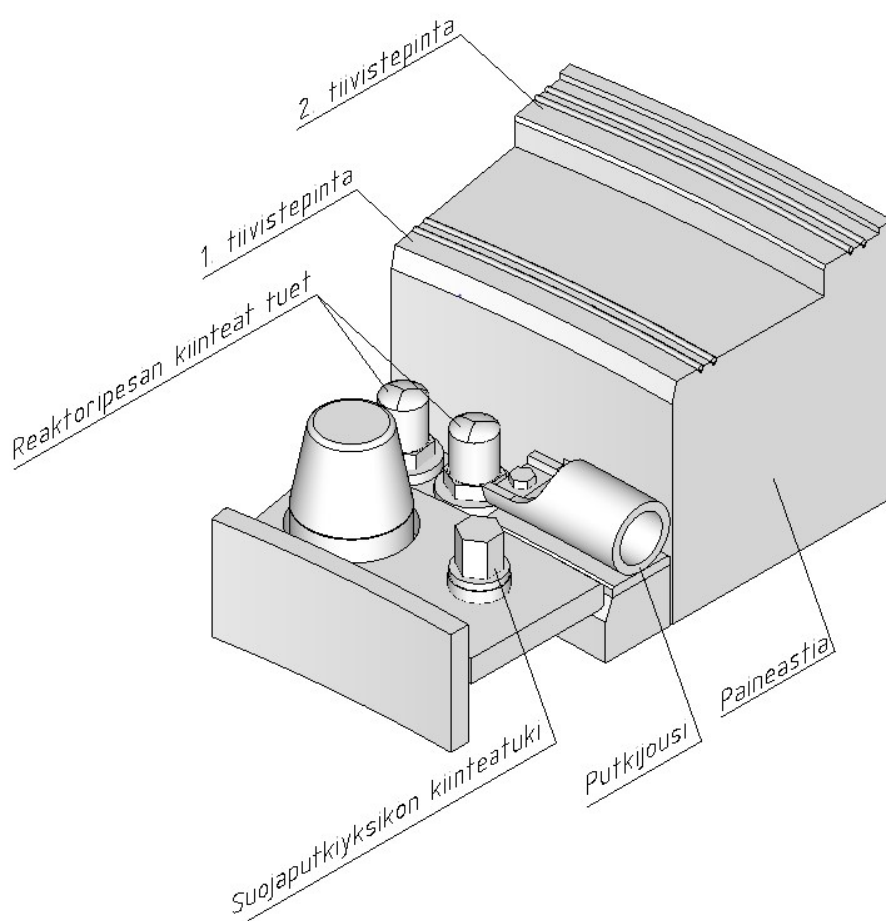
Tukikori asennetaan reaktoripesän pohjalle. Tukikoriin sijoitetaan polttoaineniiput ja hitssaussaumojen säteilyrasituksen vaimennukseen osallistuvat suojaniput. Suojaputkiyk-

sikkö asettuu tukikorin päälle ja puristetaan sitä vasten 76 jousiyksikön avulla. Jousiyksiköiden yläpäät vastaavat reaktoripaineastian kanteen ja painavat tukikorin välityksellä pesän pohjaa. Jousiyksiköt pitävät reaktorin sisäosat paikallaan, mutta mahdollistavat lämpölaajenemisen. Suojaputkiyksikkö keskittää polttoainenippujen yläpäät ja estää niitä liikkumasta ylöspäin. Mittalaitteella mitataan reaktoripesän ja suojaputkiyksikön korkeusasemaa suhteessa paineastian tiivistepintaan. (Laitoksen yleiskuvaus, reaktori, Fortum Power and Heat Oy, 2017.)

3 SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT

3.1 Mittalaitteen käyttökohde

Laitokset ajetaan alas ja reaktori puretaan kerran vuodessa polttoaineen vaihtoa sekä kunnostustöitä ja tarkistuksia varten. Opinnäytetyönä suunnittelemani laitteella mitataan reaktoripesän ja suojaputkiyksikön korkeusasemaa reaktoripaineastiassa silloin, kun reaktoria puretaan. Samat mittaukset toistetaan reaktorin kasaamisen aikana. Purkuhetken tuloksia verrataan kasauksen aikana saatuihin tuloksiin, eikä mitoissa saa olla enempää eroa kuin ennalta määritetyn toleranssin verran. Tällä varmistetaan reaktorin osien oikea sijoittuminen paineastian sisään. Reaktoria kasattaessa mitataan myös kaikkien kuuden putkijousen korkeus suhteessa niiden välissä olevien kiinteiden tukien korkeuteen. Tällä mittauksella saadaan selvitettyä putkijousissa mahdollisesti tapahtuneet muodon muutokset. Jos putkijousen ja kiinteän tuen korkeusero ei ole tarpeeksi suuri, putkijousi vaihdetaan uuteen (kuva 1).



Kuva 1. Työtä varten piirretty 3d-malli mittausympäristöstä. Malli ei ole mittatarkka vaan suuntaa antava, havainnollistava kuva

Uusi mittalaite pyritään suunnittelemaan siten, että sillä pystyttäisiin mittaamaan rutiinimittausten lisäksi reaktorin kannesta jousiyksikköä vastaavan pinnan korkeusero tiivistepintaan. Tämä mittaus ei kuulu reaktorin määräaikaistarkastuksiin, mutta korkeuseron määrittämisellä voitaisiin todentaa reaktorikannen ja reaktoripaineastian tiivistepintojen väliin jäävä etäisyys.

3.2 Lähtötiedot

Tutustuin syksyllä 2018 ydinvoimalalla työskennellessäni käytössä olevaan mittalaitteeseen. Työn tilannut reaktorimestari kertoi laitteen käyttötarkoituksesta, ja mittalaitteen käyttäjä esitteli laitteen hyvine sekä huonoine puolineen. Varsinaisen itsenäisen työn aloitin perehtymällä reaktorin ja vanhan mittalaitteen piirustuksiin sekä kartoittamalla anturivaihtoehtoja. Piirustusten ja valokuvien läpi käyminen asentajien sekä reaktorimestarin kanssa selkeytti käsitystäni vaadittavista ominaisuuksista.

3.3 Kehitystyön tavoitteet

Vanha olemassa oleva mittalaite on toimiva, mutta siihen kaivataan parannuksia: mittalaitetta on tarkoitus parannella niin, että mittaustuloksista saadaan tarkempia ja keskenään vertailukelpoisia riippumatta mittaajasta tai mittaustavasta.

Mittalaitteen käyttö tapahtuu reaktorikuilussa, joten myös olosuhteet asettavat laitteelle erityisiä vaatimuksia: Vanhassa mittalaitteessa on kaksi eri vartta, jotka kiinnitetään mittalaitteeseen ruuveilla. Lisäksi kello kiinnitetään varsiin ruuvilla. Reaktorin ympäristöön on määritelty FME ZONE, joka tarkoittaa irtokappalepuhdasta aluetta. Irtokappalepuhtaalla alueella suojataan prosessia ylimääräisiltä sinne kuulumattomilta esineiltä. Mittalaitetta käytetään juuri tällä alueella, ja siksi uudesta mittalaitteesta pyritään tekemään mahdollisimman yksinkertainen niin, ettei laitteesta tarvitse irrottaa tai siihen kiinnittää osia sitä käytettäessä.

4 TYÖPROSESSI

4.1 Suunnittelutyö

Tein suunnittelutyön Loviisan ydinvoimalaitoksen toimistossa koneteknisen suunnittelun työtehtävänä. Mallinnukseen ja työkuviin piirtämiseen käytin MicroStation V8i CAD -ohjelmaa.

Suunnittelu alkoi aiheeseen, mittausympäristöön, vanhaan laitteeseen ja itse mittausta- pahtumaan perehtymällä. Tämän jälkeen mallinsin mittausympäristöä, piirsin mittalaitteen ensimmäisen mallin ja valitsin anturit, joiden ehdoilla koko laite suunniteltiin. Antureiden valinnan jälkeen muokkasin mittalaitteen ulkomuotoa ja vertailin eri materiaalien soveltu- vuutta.

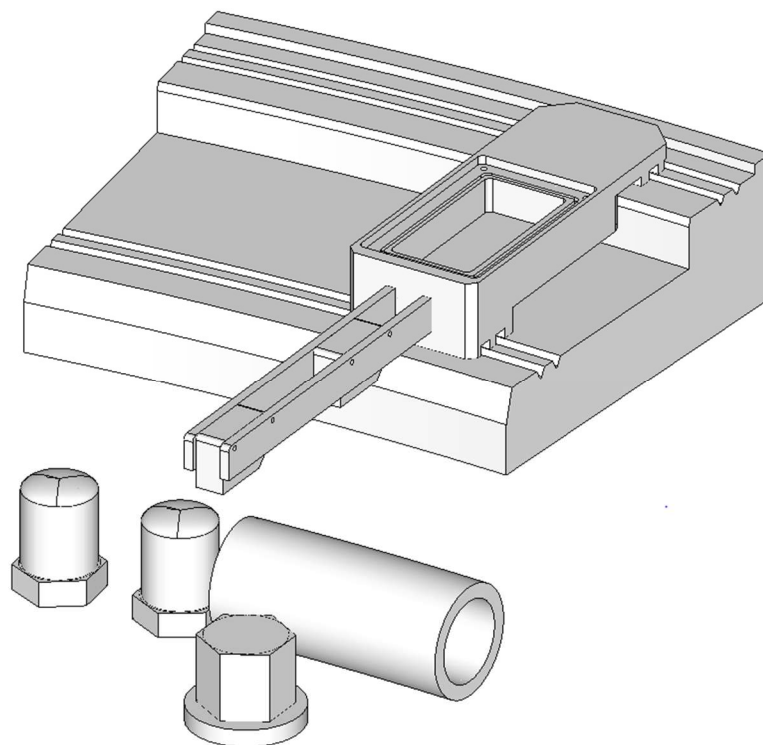
Mittalaitteen kalibrointiin suunnittelin kalibrointikappaleen, josta tehtiin myös 3d-malli. Mal- leista piirsin yhteensä yhdeksän valmistuskuvaa. Mittalaitteesta piirrettiin seitsemän val- mistuskuvaa ja kalibrointikappaleesta kaksi kuvaa. Laitoksella on käytössä vesileikkuri, jo- ten osat piirrettiin lähtökohtaisesti valmistettavaksi sillä.

4.2 Suunnittelutyön vaiheet

Aluksi mallinnettiin mittausympäristö: reaktoripaineastian tiivistepinta sekä kolme mittaus- pintaa. Mittausta tehtäessä mittalaite asetetaan paineastian tiivistepinnalle ja vedetään ensimmäisen ja toisen tiivistepinnan välissä olevaa reunaa vasten. Putkijousi ja reaktori- pesän kiinteä tuki ovat samalla reaktorin säteellä. Kolmas mitattava pinta on suojaputkiyk- sikön kiinteä tuki. Mitattavat pinnat sijaitsevat kahdella eri reaktorin säteellä, ja jotta kum- matkin mittaukset pystyttäisiin tekemään samalla laitteella, uuteen laitteeseen suunniteltiin kaksi anturia. Tiivistepinnat, mittauskohteiden asema sekä käyttäjien kommentit käytössä olevan laitteen ulkomuodon toimivuudesta määrittivät kehitettävän laitteen ulkomittoa.

Laitteen ensimmäisen mallin suunnittelun lähtökohtana pidin Sickin OD Mini laseretäi- syysanturia integroidulla led-näytöllä sekä mahdollisuutta sijoittaa mittalaitteen runkoon akku tai paristo. Anturit ovat kotelointiluokaltaan IP67, joten ne voidaan puhdistaa mahdol- lisesta kontaminaatiosta käytössä olevilla puhdistuspyyhkeillä sekä tarvittaessa pesuai- neilla. Virtalähteen suojaamiseksi vedeltä oli kotelon reunoille aluksi tarkoitus koneistaa ura o-rengasnauhaa varten, mutta myöhemmin päädyttiin tiivisteeksi valitsemaan sili- konilevystä leikattava tasotiiviste. Näin saadaan suojattua myös virtalähde, jos laitteen runko joudutaan puhdistamaan. Antureiden valintaprosessi on kuvattu tarkemmin luvussa 4.3.

Mittalaitteen halutaan olevan käytettävissä myös tilanteessa, jossa mittaus jouduttaisiin suorittamaan reaktoripaineastian tiivisteiden asennuksen jälkeen. Tästä syystä tiivistepintaan vastaaviin mittalaitteen pintoihin koneistettiin tiivisteiden suuntaiset urat (kuva 2).



Kuva 2. Ensimmäinen malli mittalaitteesta asetettuna mittauskohteeseen

Mittalaitteen kehittämistä jatkettiin punnitsemalla eri ominaisuuksien hyötyjä ja niiden toteutettavuutta.

4.3 Antureiden valinta

Antureiden vaatimukset olivat DC 12 v - 24 v käyttöjännite, fyysisen koon soveltuvuus kannettavaan ja suhteellisen pienikokoiseen laitteeseen sekä anturin kyky mitata austeniittisestä teräksestä valmistettuja kappaleita. Mitattava etäisyys on noin 100 mm, ja anturin toivottiin olevan mahdollisimman tarkka.

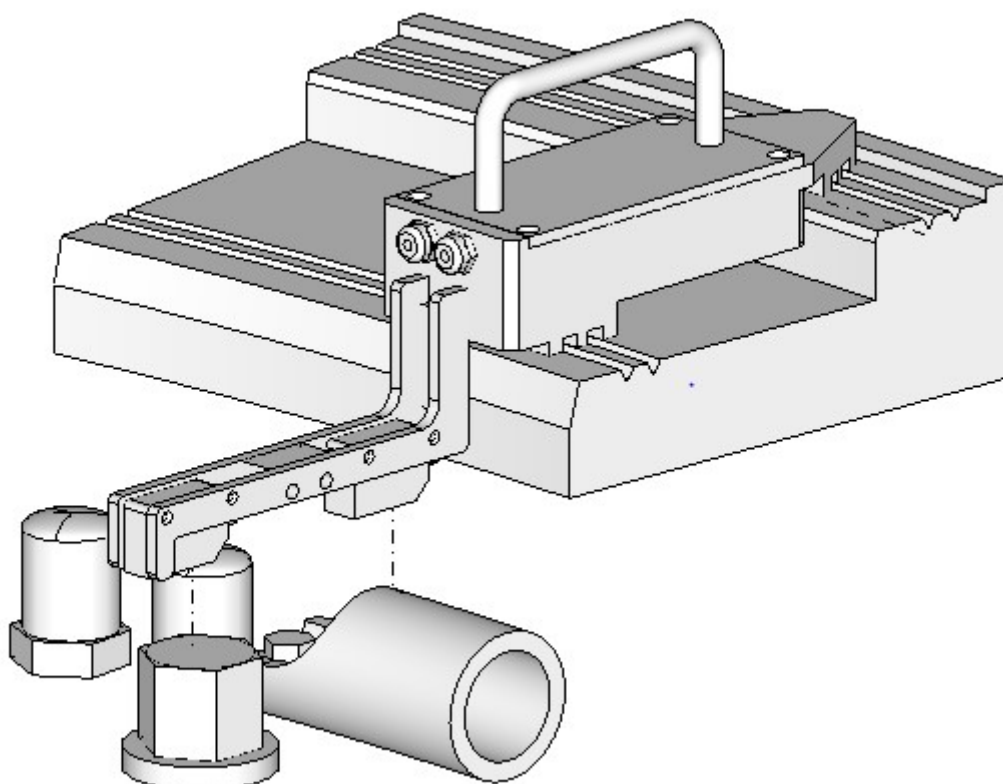
Aloin vertailla antureiden ominaisuuksia Sickin verkkosivuilta. (Sick 2018). Ultraääniantureita on tarjolla laaja valikoima, ja ne ovat kooltaan pieniä. Ultraääniantureita käytettäessä näyttö pitäisi sijoittaa laitteen runkoon. Toisena vaihtoehtona selvitin laseretäisyysantureiden ominaisuuksia. OD-sarjasta löytyi vaihtoehtoja, jotka sopisivat mittausetäisyydeltään

käyttökohteeseen ja joiden resoluutio sekä lineaarisuus ovat vain joitain kymmeniä mikrometrejä. Kysyin eräältä laitoksen automaatio suunnittelijalta toimittajia, jotka ovat antureita aikaisemminkin laitokselle toimittaneet.

Antureita vertailtuani pidin laseretäisyysanturia parhaana vaihtoehtona ja otin yhteyttä Kotkassa toimivaan automaatio suunnittelijan mainitsemaan Auser oy:hyn. Kuvailin käyttötarkoituksen sekä vaadittavan suorituskyvyn ja pyysin tarjousta antureista, joissa olisi integroitu näyttö. Sain tarjouksen OD Mini -sarjan laseretäisyysanturista.

Tarjouksen saatuani vertailin vielä Sickin verkkosivuilla OD Mini -sarjan antureita. Päädyin esittelemään työn tilaajalle tarjouksessa mainitun lisäksi toisen saman sarjan anturin. Tarjouksen anturin mittausetäisyys oli paljon laajempi, mutta toinen lyhyemmän mittausalueen anturi oli erottelukyvyltään huomattavasti parempi.

Paremman resoluution omaavan anturin mittausetäisyys on 20 mm:stä 50 mm:iin, jolloin antureita jouduttaisiin siirtämään tiivistepinnan alapuolelle. Laite mallinnettiin sopivaksi kyseisille antureille ja hyötyjä vertailtiin haittoihin: painon nousuun ja mittalaitteen monimutkaistumiseen (kuva 3).



Kuva 3. Malli mittalaitteesta lyhyemmän mittausalueen antureilla

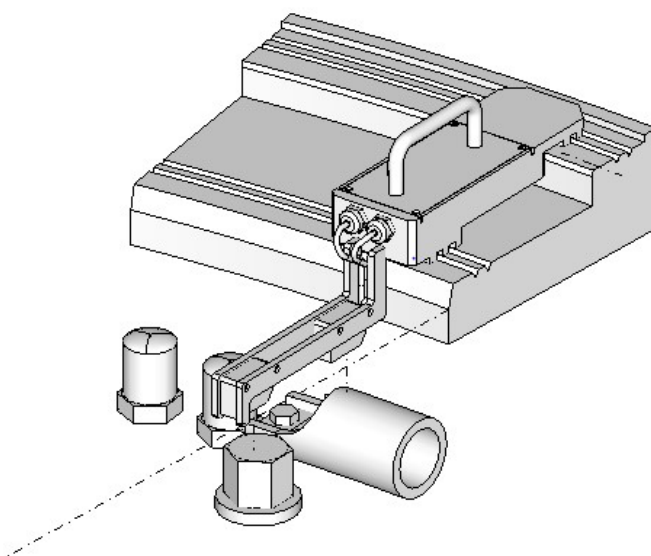
Tarjouksen OD1 Mini -anturin mittausalue on $100 \text{ mm} \pm 50 \text{ mm}$. Pidemmällä mittausetäisyydellä mahdollistettaisiin laitteen yksinkertaisempi ja kevyempi rakenne. Jos mittalaite toteutettaisiin kyseisellä anturilla, pystyttäisiin anturit asentamaan samaan tasoon tiivistepinnan kanssa. Tämä mahdollistaisi varsinaisten mittauspintojen vastakkaisten pintojen etäisyyden mittaamisen reaktorin kanssa, mikä oli toivottu lisä mittalaitteen ominaisuuksiin.

Anturin valintaa pohdittiin reaktorimestarin kanssa verraten pidempää mittausmatkaa parempaan resoluutioon. Olemassa oleva mittalaite mittaa etäisyyden teoreettisesti $0,01 \text{ mm:n}$ tarkkuudella. Laitteella ei kuitenkaan saada tietoa pintojen välisestä etäisyydestä vaan ainoastaan lukuja, joita voidaan verrata keskenään reaktoria avatessa ja sitä suljettaessa.

Antureiksi päädyttiin valitsemaan Sickin OD1-B100H50I25 laseretäisyysanturit, joilla oli vaihtoehtoista pisimmät mittausetäisyydet. Rakenteesta saadaan näin yksinkertainen, ja anturin ominaisuudet kuitenkin riittävät tehtäviin mittauksiin.

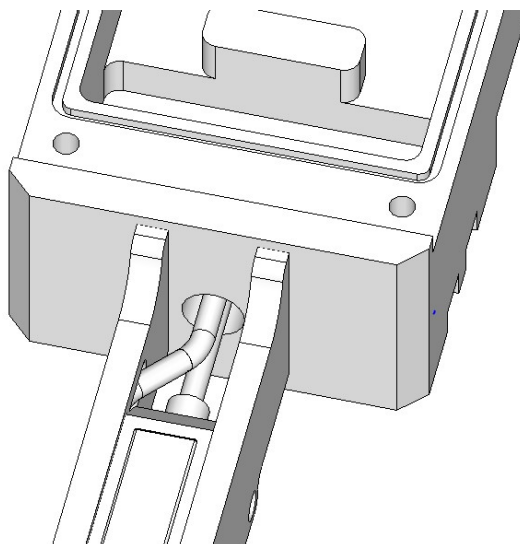
4.4 Rungon kehitys

Läpivienneiksi soviteltiin 3d-malliin kahta kappaletta IP67-suojattuja sähköläpivientiliittämiä, joiden M12-ulkokierre ruuvattaisiin kiinni runkoon tehtyyn sisäkierteeseen. M12-kierteen pohjalle voitaisiin porata johdoille pienempi $\text{Ø}5 \text{ mm:n}$ läpireikä akkukoteloon. Läpivientiliittimet olivat kuitenkin ulkomitoiltaan liian suuret käytettäväksi kyseisessä laitteessa. Läpivientiliittimien avainväli on 16 mm , ja tämän takia rungon korkeutta jouduttaisiin kasvattamaan 10 mm niiden sovittamiseksi verrattuna lopulliseen toteutukseen (kuva 4).



Kuva 4. Sähköläpiviennit mittalaitteen rungon etuosassa

Johtojen läpiviennissä mittalaitteen koteloon päädyttiin lopulta yksinkertaisimpaan ja tilaa säästävimpään ratkaisuun. Runkoon porataan $\text{\O}12$ mm:n reikä, joka täytetään johtojen asennuksen jälkeen tiivistemassalla. Mittalaitetta ei normaalioloissa jouduta pesemään, vaan puhdistukseen riittää yleensä puhdistusaineella pyyhkiminen. Tästä syystä IP67-tason suojaetuilla läpiviennillä ei saavutettaisi merkittävää hyötyä (kuva 5).



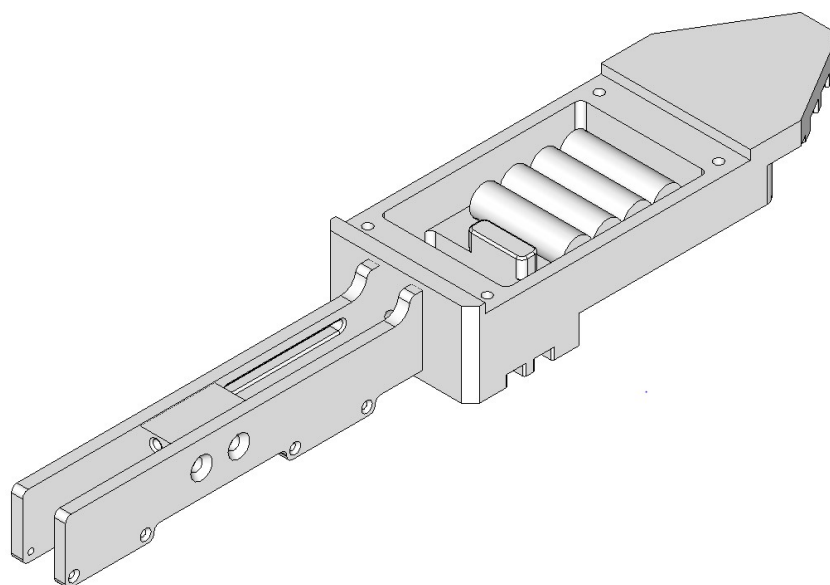
Kuva 5. $\text{\O}12$ mm:n reikä rungossa johtimien läpivientiä varten

Antureiden valinnan jälkeen rungon kehitys jatkui. Rungosta pyrittiin tekemään mahdollisimman kevyt niin, että rakenne kuitenkin säilyttäisi jäykkyytensä. Rungon takaosaa kaivennettiin ja seinämän vahvuuksia pienennettiin. Näin saatiin kevennettyä mittalaitetta heikentämättä sen ominaisuuksia. Rungosta tehtiin useita erilaisia 3d-malleja kahdelle eri anturin mittausetäisyydelle, erilaisille johtojen läpivientivaihtoehdoille, ura o-rengasnauhalle kotelon reunoille ja vaihtoehtoisesti kapeammat urattomat kotelon reunat tasotiivisteelle.

Anturit sijoitettiin niiden kiinnitysvarsiin niin, että ne asettuvat samaan tasoon tiivistepinnan kanssa. Rungosta kauempana olevan anturin mittauspiste sijoitetaan tarkkaan suojaupukiyksikön kiinteän tuen keskelle. Runkoa lähempänä oleva anturi mittaa reaktoripesän kiinteiden tukien lisäksi putkijousien korkeutta. Putkijousien säde saattaa vaihdella toleranssin sisällä ja mittalaitetta pitää pystyä liikuttamaan, jotta putkijousen korkein kohta päästään mittaamaan. Anturi sijoitetaan niin, että sillä pystytään mittaamaan putkijousi isoimmalla mahdollisella säteellään. Lisäksi mittalaitteen runko tehdään sellaiseksi, että mittalaitetta voidaan siirtää tarvittaessa lähemmäs reaktorin keskipistettä putkijousen säteen ollessa pienempi. Toiseen antureita kannattelevaan varteen koneistetaan ura kauempana sijaitsevan anturin johdolle.

Rungon akkukotelo koneistetaan kahteen tasoon. Rungon paksuimmasta kohdasta eli etuosasta jyrsitään materiaalia pois lisätilan saamiseksi liittimille. Samalla rungosta saadaan hieman kevyempi. Tila, johon akut sijoitetaan, koneistetaan matalammaksi. Tila jää oikean kokoiseksi akuille, ja lisäksi tilaan jätetään korotus, joka estää akkujen liikkumisen kotelossa.

Antureita kannattelevien levyjen välille koneistetaan välikappale, jolla levyt tukeutuvat toisiinsa. Kappaleen yläosaan porataan pitkittäin levyjen suuntainen reikä kauempana sijaitsevan anturin johdolle (kuva 6).



Kuva 6. Runko suunniteltiin antureille ja akustolle sopivaksi

4.5 Mittalaitteen materiaalit

Primääripiirin putkistoissa ja rakenteissa käytetään paljon austeniittista terästä. Austeniittinen teräs on helposti kontaminaatiosta puhdistettavaa, ja sen korroosion kesto on hyvä. Materiaalin valintaan vaikuttivat käyttökohteen ja mittalaitteen asettamat vaatimukset materiaalin ominaisuuksille. Reaktorin pinnat on päällystetty austeniittisella teräksellä, joten mittalaitteen valmistamisessa ei voida käyttää hiiliterästä. Vanha mittalaite oli valmistettu AISI 304 -materiaalstandardin mukaisesta teräksestä, joten uudessakin laitteessa lähtökohta oli varastosta löytyvä austeniittinen teräslevy.

Laitteesta toivottiin tulevan edeltäjäänsä kevyempi, mutta austeniittisesta teräksestä valmistettuna siitä tulisi noin 0,5 kg vanhaa mittalaitetta painavampi. Vaihtoehtoiseksi materiaaliksi mietittiin alumiinia, joka olisi hyvä vaihtoehto keveytensä kannalta. Vahvemmat alumiinilaadut voisivatkin sopia ominaisuuksiensa puolesta mittalaitteen rungoksi. Alumiini on

kuitenkin pinnaltaan huokoinen materiaali, mikä aiheuttaa ongelmia kontaminaation puhdistamisessa laitteen pinnalta.

Laitoksella on käytetty titaania joissakin yksittäisissä kohteissa, ja myös sitä harkittiin rungon materiaaliksi. Titaani on huomattavasti terästä kevyempää, mutta kuitenkin hyvin kestävä materiaali. Titaani on myös puhdistettavissa kontaminaatiosta suhteellisen helposti. Titaani siis sopisi ominaisuuksiltaan käyttökohteeseen. Vaikka laitoksella on joskus titaania työstetty ja hitsattu, luovuttiin ideasta sen hinnan, vaikeamman työstettävyyden sekä hitsattavuuden takia. Titaania ei myöskään löytynyt suoraan varastosta, joten valmistus jouduttaisiin teettämään laitoksen ulkopuolella.

Laitte päätettiin valmistaa käyttäen varastosta löytyviä EN 1.4404 -materiaalstandardin mukaisia teräslevyjä. Päädyttiin kompromissiin, jossa laitteesta tulee hieman painavampi kuin käytössä olevasta laitteesta. Uuden laitteen runko tulee painamaan ilman akkuja ja antureita noin 3,3 kilogrammaa.

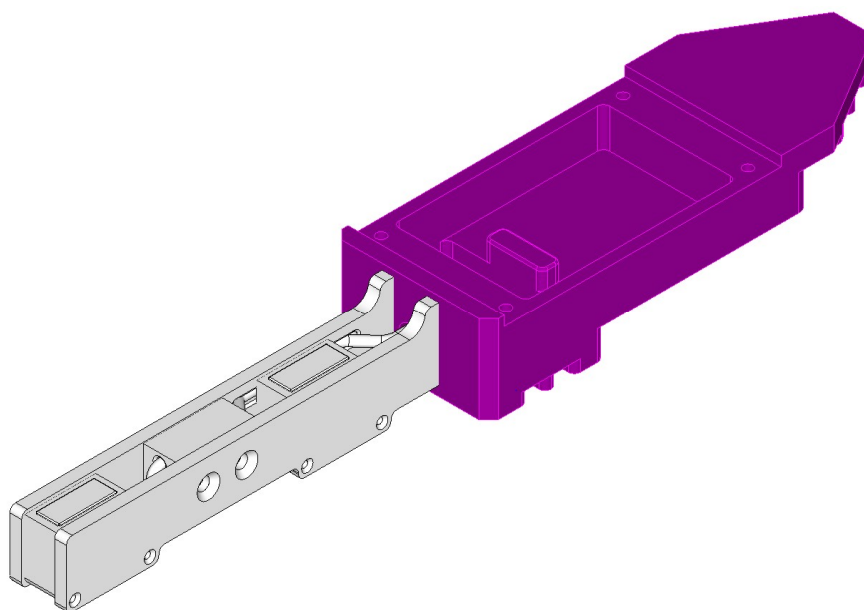
5 MITTALAITE

5.1 Runko

Vanhaan laitteeseen oltiin rungonmallin osalta tyytyväisiä, joten uutta laitetta alettiin suunnitella vanhojen piirustusten pohjalta. Vanhasta laitteesta poiketen uuteen laitteeseen pitää saada sijoitettua ylimääräisenä komponenttina akku. Akulle saatiin tilaa tekemällä laitteen rungosta paksumpi keskeltä ja jyrsimällä se koteloksi. Koteloon jätetään korkeampi kohta, joka estää akkujen liikkumisen. Rungon etuosaan koneistetaan syvempi kohta liittimille.

Varsien ruuviliitoksissa käytetään uppokantaisia kuusioruuveja, ja ne kiinnitetään kierrelukitteella kiinni pysymisen varmistamiseksi irtokappalealueella.

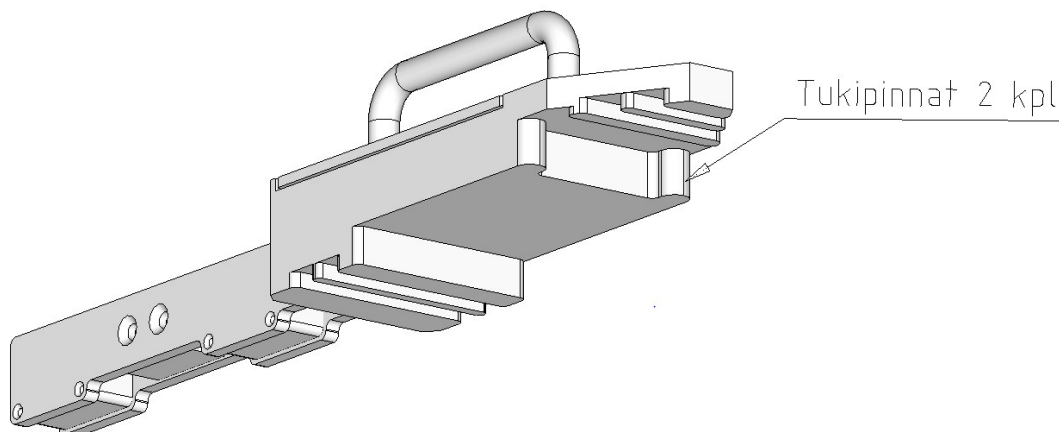
Mittalaite kootaan kuudesta osasta. Runko valmistetaan 50 mm paksuisesta teräslevystä, joka koneistetaan mittoihinsa. Materiaalia joudutaan jyrsimään pois suhteellisen paljon, mutta näin saadaan yhtenäinen ja mittatarkka runko. Tiivistepintaa vasten tulevat pinnat lovetaan tiivisteurien kohdalta sellaista tilannetta varten, jossa mittaus jouduttaisiin suorittamaan tiivisteiden asennuksen jälkeen (kuva 7).



Kuva 7. Mittalaitteen koneistettava runko

Jotta mittausetäisyys reaktorin keskipisteestä saadaan pysymään samana joka mittauksella, jyrsitään rungon alle kaksi kaarevaa pintaa $R=6$ 180° , jotka tuetaan mittauksessa ensimmäisen ja toisen tiivistepinnan välistä korotusta vasten. Vanhassa mittalaitteessa kyseiset korotukseen vastaavat pinnat ovat $\varnothing 6$ mm pyörötankoa, jotka ovat vuosi-

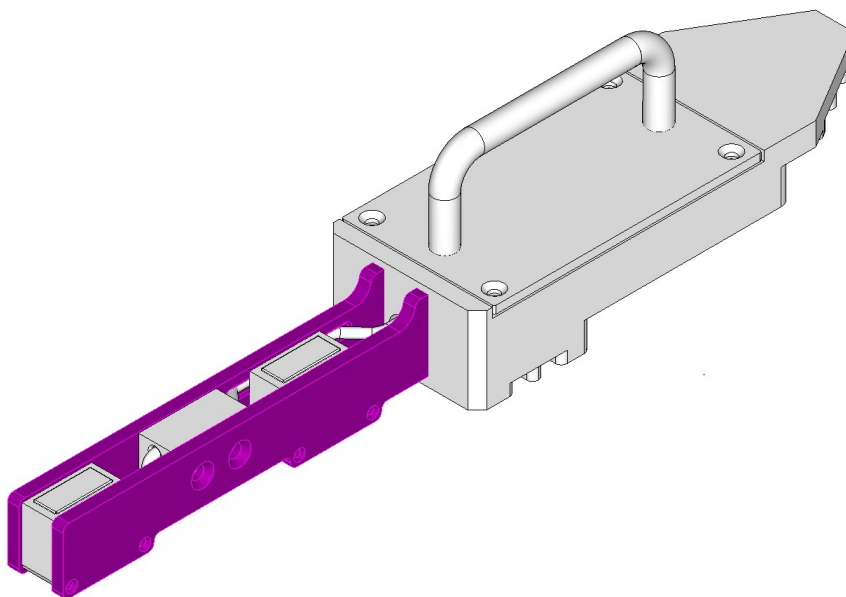
kymmenten aikana taipuneet. Tukevammilla runkoon jyrksytyillä pinoilla pyritään varmistamaan niiden kestävyys ja tarkkuus vuosienkin jälkeen. Pinnat sijoitettiin mahdollisimman kauas toisistaan, jotta olisi helpompi varmistua kummankin pinnan olevan kiinni niitä vastaanavassa pinnassa (kuva 8).



Kuva 8. Tukipinnat asetetaan reaktoripaineastian ensimmäisen ja toisen tiivistepinnan välillä olevaa korotusta vasten

5.2 Antureiden kiinnityslevyt

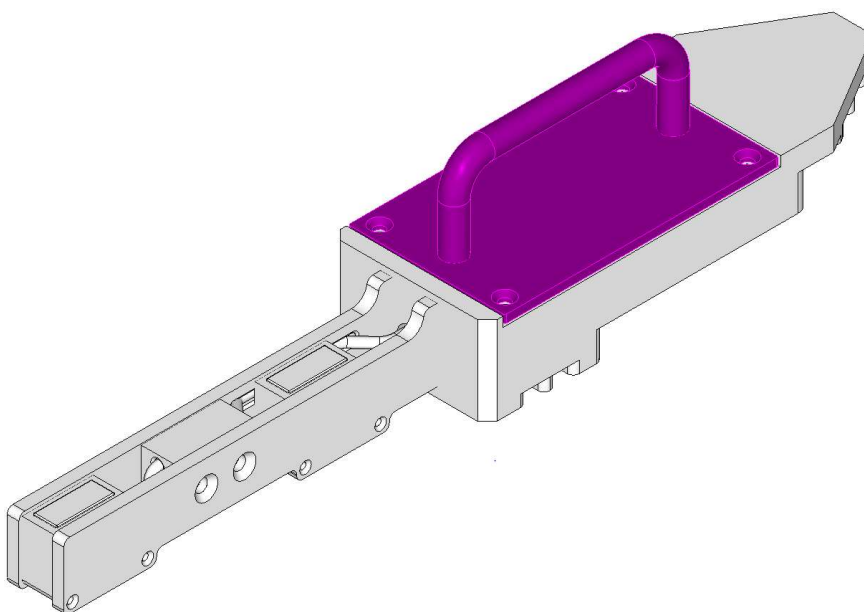
Anturit kiinnitetään varsiin, joita vesileikataan kaksi kappaletta 6 mm paksusta EN 1.4404 -materiaalstandardin mukaisesta teräslevystä. Vedellä saadaan myös leikattua tarkat 3,2 mm:n reiät levyihin antureiden M3-kiinnitystä varten sekä reiät tukikappaleelle. Varret ovat 3 mm korkeammat kuin anturit, mikä estää antureiden osumisen pintaan, jos mittalaite lasketaan muualle kuin kalibrointikappaleen päälle. Suoraan antureiden päälle tuleva kappale ei myöskään pääse vahingoittamaan niitä. Toiseen varteeseen koneistetaan ura rungosta kauempana olevan anturin johdon kulkureitiksi. Varret hitsataan kiinni runkoon. Varsien väliin kiinnitetään tukikappale uppokantaisilla M6-kuusiokoloruuveilla. Kappale varmistaa varsien oikean etäisyyden säilymisen toisistaan ja tukevoittaa rakennetta. Kappaleeseen tehdään pitkittäissuuntainen reikä etummaisesta anturin johdon kulkureitiksi (kuva 9).



Kuva 9. Levyt, joihin anturit kiinnitetään

5.3 Kansi

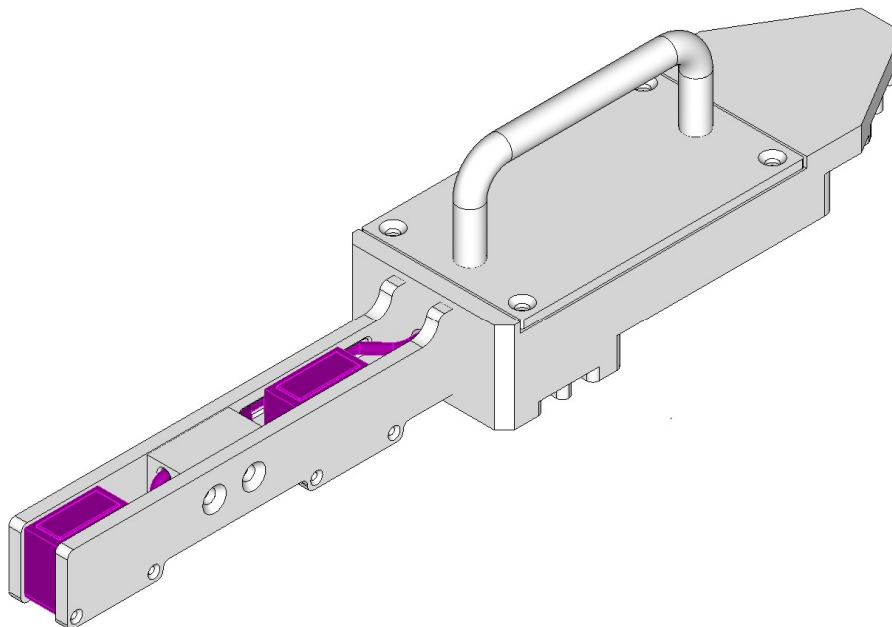
Runkoon jyrityn kotelon päälle vesileikataan kansi 4 mm paksuisesta teräslevystä. Se kiinnitetään runkoon neljällä M6-kuusiokoloruuvilla, ja siihen hitsataan Ø12 mm pyörötangosta taivutettu kahva. Akkukotelon tiivistämistä varten oli ensin tarkoitus koneistaa runkoon ura o-rengasnauhalle. Lopulta tiivisteeksi päädyttiin kuitenkin valitsemaan tasotiiviste. Tasotiivistettä käytettäessä säästytään yhdeltä koneistusvaiheelta, ja lisäksi runkoon tulee vähemmän vaikeasti puhdistettavia muotoja, jos laite altistuu kontaminaatiolle. Tiiviste valmistetaan 2 mm paksusta silikonilevystä (kuva 10).



Kuva 10. Mittalaitteen kansi ja nostokahva

5.4 Anturit

Antureiksi valittiin OD1-B100H50I25-laseretäisyysanturit. Laseretäisyysantureiden mitausalue on $100 \text{ mm} \pm 50 \text{ mm}$, resoluutio $20 \mu\text{m}$, toistotarkkuus $20 \mu\text{m}$ ja lineaarisuus $100 \mu\text{m}$. Anturit ovat fyysisiltä mitoiltaan pienikokoiset ja painavat vain 70 grammaa. Niiden kotelointiluokka on IP67, ja kuori on valmistettu austeniittisesta teräksestä (kuva 11).



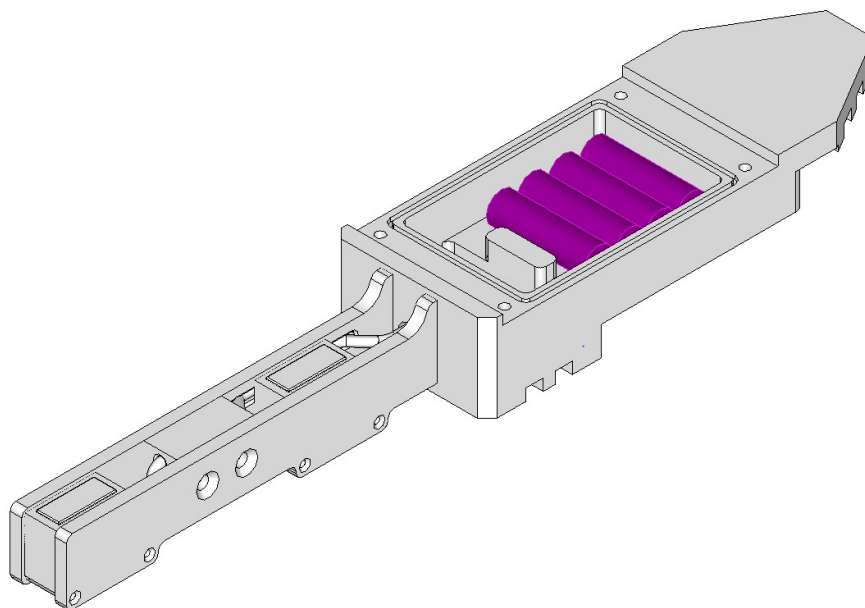
Kuva 11. OD1-B100H50I25-laseretäisyysanturit ja niiden johdot

Antureiden käyttöjännite on DC 12 V (-5 %) - DC 24 V (+10 %). Antureihin on integroitu led-näytöt. Näyttöissä on neljä numeroa, ja ne näyttävät antureiden etäisyyttä kohteesta $0,01 \text{ mm:n}$ tarkkuudella. Näyttöjen reunoilla on neljä painiketta, joilla pystytään ohjaamaan anturin toimintoja.

Antureissa on sivuilla M3-sisäkierteet, ja ne kiinnitetään mittalaitteeseen uppokantaisilla M3-kuusiokoloruuveilla.

5.5 Virtalähde

Virtalähteeksi oli alusta asti tarkoitus löytää kevyt ja pienikokoinen akku. Antureiden vaatima jännite sekä runkoon jyrkitty kotelo asettivat akun raja-arvot. Pyysin tarjousta Auserilta myös akuista. Auserin myynnistä ehdotettiin akuksi neljää kappaletta $3,6 \text{ V}$ Li-ion kennoja. Kennoilla saataisiin jännitteeksi sarjaan kytkettynä $14,4 \text{ V}$, ja akuston ulkomitat jäisivät riittävän pieniksi. Laitoksen automaatiokorjaamolla on rakennettu vastaavia akustoja kennoista, ja sieltä löytyy myös akustolle sopiva laturi (kuva 12).



Kuva 12. Akuston sijoittuminen runkoon

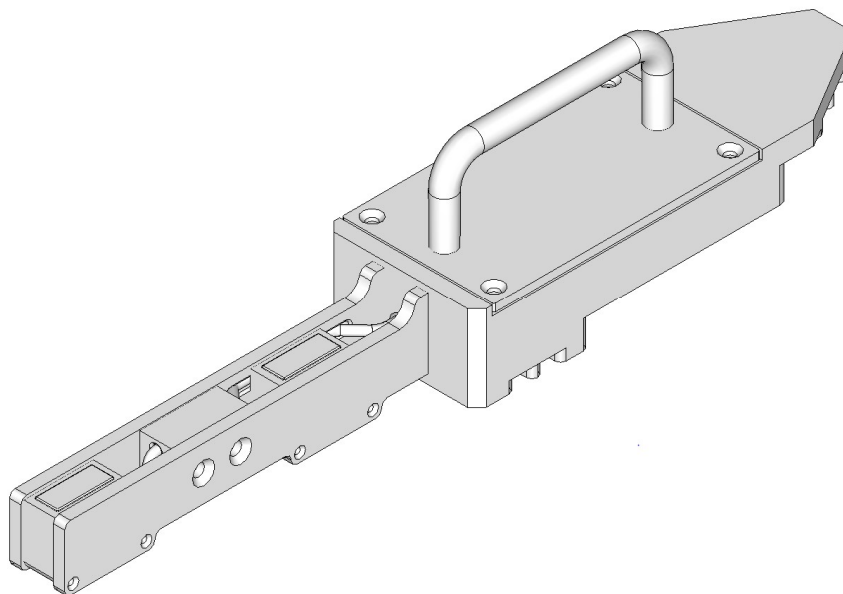
5.6 Valmistus ja kokoonpano

Laite valmistetaan laitoksen omalla konepajalla. Runko ja tukikappale koneistetaan teräslevystä, antureita kannattelevat varret sekä kansi vesileikataan teräslevystä, ja kahva taitutetaan pyörötangosta. Varret hitsataan neljällä 6 mm pitkällä a2-pienahitsillä kiinni runkoon.

Antureiden sekä tukikappaleen kiinnittämisessä varsiin käytetään uppokantaisia kuusiokoloruuveja, jotka lukitaan kiinni kierrelukitteella.

Antureiden johdot vietään niille tehtyjä reittejä pitkin runkoon poratun Ø12 mm:n reiän läpi kotelon sisään. Koteloon tuleviin antureiden johtoihin juotetaan liittimet. Akut juotetaan sarjaan ja kiinnitetään toisiinsa. Liittimet määräytyivät olemassa olevan laturin mukaan.

Rungossa oleva anturien johtojen läpivientireikä tiivistetään tiivistemassalla johtojen asentamisen jälkeen. Kun antureiden kotelointiluokka on IP67 ja akkukotelo tiivistetään tasotiivisteellä, saadaan mittalaitteesta vesipestävä. Pesu liuottimilla ja vedellä voi olla tarpeellinen, jos laite kontaminoituu (kuva 13).

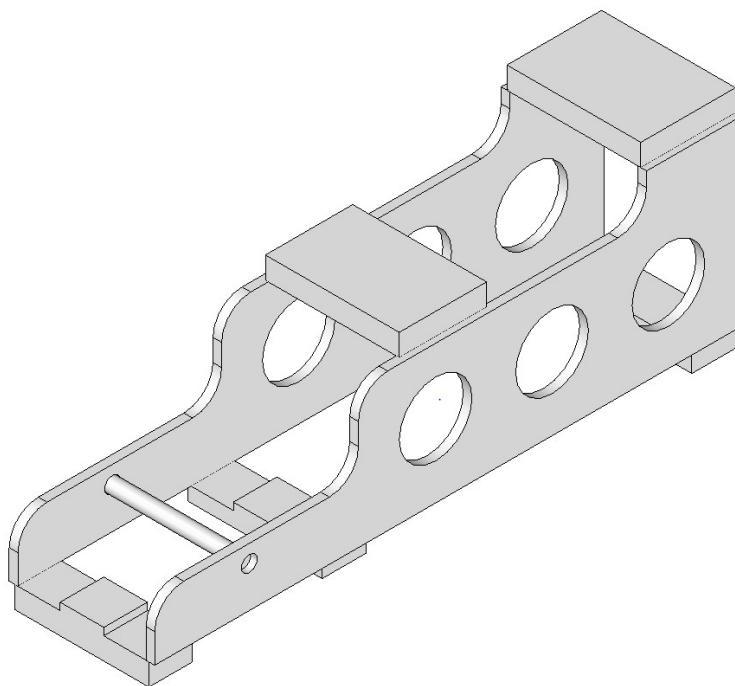


Kuva 13. Mittalaitteen lopullinen 3d-malli

5.7 Kalibrointikappale

Mittalaitteen tarkkuus varmistetaan ennen jokaista mittauskertaa mahdollisten laitteessa tapahtuneiden muutosten varalta. Kalibrointikappale valmistetaan austeniittisesta teräksestä. Siitä pyritään tekemään mahdollisimman kevyt mutta kestävä, koska se kulkee mittalaitteen kanssa myös mittauskohteelle. Laite ja kalibrointikappale lasketaan reaktorikuiluun nostolaitteella, joten hieman alle 10 kilogramman yhteispaino ei ole liikaa. Kalibrointi tehdään reaktorikuilussa juuri ennen mittauksien aloittamista.

Kalibrointikappale valmistetaan $\pm 0,05$ mm mittapintojen toleransseilla. Koneistettaville pinnoille jätetään ylimääräistä koneistusvaraa, jos kappaletta joudutaan sen käyttöön aikana oikaisukoneistamaan (kuva 14).



Kuva 14. Kalibrointikappaleen 3d-malli

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää parempi mittalaite olemassa olevan tilalle. Mittalaitetta alettiin suunnittelemaan niin, että mittaus suoritettaisiin kahdella anturilla ja niiden tulokset saataisiin näkymään näytölle.

Mittalaitteessa valittiin käytettäväksi kahta Sickin OD MINI -sarjan laseretäisyysanturia, joihin on integroitu led-näyttö. Antureiden suorituskyky vastaa pyydettyä, ja ne ovat kotelointiluokituksensa ansiosta puhdistettavissa kontaminaatiosta.

Mittalaitteen runko pystytään valmistamaan laitoksella, ja siihen tarvittavat materiaalit löytyvät varastosta. Mittalaitteelle suunniteltiin kalibrointikappale, joka voidaan myös valmistaa laitoksella. Kalibroimalla mittalaite ennen jokaista mittauskertaa voidaan varmistua tulosten paikkansapitävyydestä. Mittalaitteen ja kalibrointikappaleen yhteispaino jää alle 10 kilogramman, joten niitä on helppo siirrellä ja kuljettaa. Kummassakaan edellä mainituista ei ole ylimääräisiä irto-osia, jotka voisivat päätyä tahattomasti prosessiin.

Opinnäytetyön pohjalta pystytään haluttaessa valmistamaan mittalaite reaktoripesän ja suojaputkiyksikön korkeusaseman mittaamiseen reaktoripaineastiassa. Mittalaite voidaan ottaa käyttöön aluksi vanhan laitteen rinnalla, kerätä käyttökokemusta ja parannella tai muokata sitä tarvittaessa.

LÄHTEET

Fortum 2018a. Tietoa meistä [viitattu 25.10.2018]. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/tietoa-meista>

Fortum 2018b. Tietoa meistä [viitattu 25.10.2018]. Saatavissa: <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/yhtiomme/energiantuotantomme/voimalaitoksemme/loviisan-ydinvoimalaitos>

Laitoksen yleiskuvaus, reaktori: Fortum Power And Heat Oy, Loviisan voimalaitoksen yleiskuvaus, 2017. Sisäinen dokumentti.

Sick 2018, tuotevalikoima [viitattu 25.10.2018]. Saatavissa: https://www.sick.com/fi/fi/c/PRODUCT_ROOT#g132151