

Vedenalaisen akkukotelon suunnittelu

Julkinen

Aarne Kovasiipi

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2020

Konetekniikka
Tuotekehitys

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Tuotekehitys

KOVASIIPPI, AARNE

Opinnäytetyö 34 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Toukokuu 2020

Tässä opinnäytetyössä käsitellään paineveden kestäväää koteloa. Työn tavoitteena oli suunnitella ja valmistaa akkukennostolle sopiva kotelo. Kotelon tuli olla täysin vesitiivis ja varustettu kytkimellä sekä läpiviennillä. Kotelon tarkoitus on suojata akkukennostoa vedeltä ja mahdollistaa akustoon varatun energian käyttö.

Työ tehtiin käyttäen tietokoneavusteisia suunnitteluohjelmia sekä simulointiohjelmaa, jonka avulla pyrittiin selvittämään kotelon rakenteen kestävyyttä. Kotelo valmistettiin laadittujen piirustusten mukaisesti ja valmiille kotelolle suoritettiin käytännön testaus Pohjanlahdella.

Testauksessa ilmeni, että kotelo toimi toivotulla tavalla sekä oli täysin vesitiivis. Kuitenkaan akkukotelon käyttäytymisestä ei ole tietoa yli 50 metrin syvyydessä, eikä tehdyllä testisukelluksella pystytty mittaamaan kotelon muodonmuutoksia.

Olisi erittäin suotavaa, jos koteloa pystyttäisiin testaamaan vielä simulointitulosten mukaisissa olosuhteissa, eli 100m syvyydessä, ja pystyttäisiin mittaamaan pohjan painuma. Näin ollen voitaisiin varmistua kotelon toimivuudesta maksimioperointisyvyydessä ja selvittämään simuloinnin paikkansa pitävyys. Testauksia pyritään jatkamaan, kun hallituksen asettamat rajoitukset COVID-19 pandemiaan liittyen poistetaan.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Product Development

Design of Underwater Container
KOVASIIPI, AARNE

Bachelor's thesis 34 pages, appendices 2 pages
May 2020

The purpose of this bachelor's thesis was to design and manufacture underwater battery canister. Main goal for that canister is to seal battery inside it. Charge that has been stored to the battery should be used beneath the surface for different types of tasks. This would be done via a special cord and switch.

CAD and simulation software were used to ensure that the design of the canister is strong enough to handle strong outside pressure/forces. The canister was made from strong plastic POM using a lathe and the technical drawings made for the canister were followed strictly. After the canister was fully manufactured it was tested at the Gulf of Bothnia at 50 msw for 100 minutes.

The test was a success, and the canister stayed dry for the whole dive. Unfortunately, because of the COVID 19 pandemic, there was no time or opportunity to test the canister at maximum operating depth and for that reason it was impossible to compare simulation results to the test results. Therefore, there is currently no information on whether the simulation results are viable. The tests will continue after the pandemic-related restrictions by the government are lifted.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	Vaatimukset	7
	2.1.1 Hydrostaattisen paineen sieto	7
	2.1.2 Korroosion kesto.....	8
	2.1.3 Tilavuus ja akun rakenne.....	8
	2.2 Materiaalin valinta ja esisuunnittelu.....	8
	2.2.1 Materiaalin valinta.....	9
	2.2.2 Kannen suunnittelu.....	10
	2.2.3 Kannen mitoitus.....	12
	2.2.4 Kotelon suunnittelu ja mitoitus.....	14
3	SIMULOINTI	16
	3.1 Mallin valmistelu.....	16
	3.2 Simulointi.....	17
4	VALMISTUS.....	22
	4.1 Kannen valmistus.....	22
	4.2 Kotelon valmistus.....	25
5	TESTAUS	29
	5.1 Hydrostaattinen testaus.....	29
6	POHDINTA	31
	LÄHTEET.....	32
	LIITTEET.....	33

ERITYISSANASTO

bar	Paineen yksikkö 1bar = 100 000 pascal
CAD	Tietokoneavusteinen suunnittelu
IP-luokitus	Euroopassa käytössä oleva järjestelmä sähkölaitteiden ja laitekoteloiden tiiviyyden määrittämiseksi
msv	metres of seawater (metriä merivettä)
POM C	Tekninen muovi (Polyasetaali)
Sorvaus	Lastuava työstömuoto
Simulointi	Matemaattinen ohjelma, jolla voidaan tutkia erilaisten kappaleiden ja materiaalien ominaisuuksia erilaisien kuormien ja ehtojen alaisena.

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehdään Tampereen Ammattikorkeakoulun opinnäytetyönä yhteistyössä Subco Oy:n kanssa. Tarkoituksena on suunnitella ja valmistaa yritykselle vesi tiivis kotelo, jonka sisällä säilötään akkukennosta. Akkukennostoon varastoitua energiaa voidaan käyttää sukelluksen aikana erilaisiin tehtäviin, kuten esimerkiksi valaisimien virtalähteenä tai sukeltajan lämpimänä pitämiseen vastuslankaa hyväksi käyttäen.

Suunnitellessa painevettä kestäväää koteloa on oleellista, että kotelosta tulee rakenteeltaan sellainen, että se kestäää ympäröivän veden paineen. Sen tulee myös olla äärimmäisen tiivis, jottei vesi vahingoita akkukennostoa. Opinnäytetyössä esitellään suunnittelun eri vaiheita ja työkaluja.

Opinnäytetyössä käydään aluksi läpi kotelolle asetetut vaatimukset, rajataan ja valitaan materiaali, suunnitellaan kotelo vaadittujen mittojen mukaan, tutkitaan tietokone avusteisesti kotelon paineen sietokykyä, esitellään kotelon valmistusprosessia ja lopussa suoritetaan käytännön testaus ja pohdinta.

2 VAATIMUKSET JA MATERIAALIN VALINTA

2.1 Vaatimukset

Tässä luvussa keskitytään vaatimukseen mitä kotelolta vaaditaan ja karkeisiin suunnitteluratkaisuihin. Kotelo kiinnitetään sukeltajan päällä olevaan hihnastoon siten, että sukeltajalla on mahdollisuus käyttää kotelossa olevaa kytkintä käynnistäessään tai sammuttaessaan sähkölaitteen.

2.1.1 Hydrostaattisen paineen sieto

Kotelon tulee kestää pitkäaikaista upotusta ja lähtökohtaisesti kotelo ei saisi vuotaa vettä sisään lainkaan. Maksimi syvyys, jossa akkukotelo tultaisiin käyttämään, on noin 80 metriä.

Hydrostaattinen paine on nesteen tiheyden, putoamiskiihtyvyyden ja nesteen korkeuden tulo. Hydrostaattinen paine vaikuttaa upotetun kappaleen jokaiseen ulkopintaan. Kappaleen ollessa näin pieni voidaan olettaa, että hydrostaattinen paine on jokaisessa ulkopinnan pisteessä sama. Hydrostaattinen paine saadaan laskettua kaavalla 1. (Tammertekniikan kaavasto 2014 14. Painos)

$$p = \rho \cdot g \cdot h \quad (1)$$

, jossa

p = paine

ρ = nesteen tiheys kg/m^3

h = syvyys vapaasta nestepinnasta m

g = putoamiskiihtyvyys 9.81m/s^2

Kaavasta 1. Saadaan laskettua maksimi paine, joka koteloon kohdistuu. Paine lasketaan makealla vedellä, jonka tiheys ρ on neljässä celsiusasteessa 1000kg/m^3 . (Taulukot.com) Ilmakehän aiheuttamaa painetta ei tarvitse huomioida, koska kotelo suljetaan normaali ilmanpaineen vallitessa. Käyttäen kaavaa 1. Suhteelliseksi paineeksi saadaan 8 bar.

2.1.2 Korroosion kesto

Koteloon ei kohdistu käytössä kovia iskuja eikä pistemäisiä voimia. Sen sijaan kotelon tuli kestää äärimmäisen hyvin korroosiota ja koteloa piti pystyä käyttämään myös suolaisessa vedessä ja erilaisissa lämpötiloissa (-20°C - $+30^{\circ}\text{C}$).

2.1.3 Tilavuus ja akun rakenne

Kotelon sisään sijoitettiin akkukennosto, joka on nykyaikainen LiPo (Litiumpolymeriakku). LiPo akut ovat kooltaan pieniä sisältämäänsä varaukseen nähden. Esimerkiksi Lyijyhyytelöakut ovat monin kertaisia kooltaan, verrattuna LiPo akkuihin. Autoteollisuudessa käytetyissä AGM-lyijyakuissa energiatiheys on noin 30-40 Wh/kg, kun taas LiPo akussa energiatiheys on noin 130-200 Wh/kg. LiPo akustoissa on tällä hetkellä paras energiatheyden ja painon suhde. (epetec.com, 2020).

Akku muodostuu yhdestä tai useammasta kennosta. Tässä kyseisessä sovelluksessa akku muodostuu neljästä vierekkäin olevasta kennosta, joita on neljä päällekkäin. Yhden kennon korkeus on 70mm. Kennojen päälle tulee varata myös hieman tilaa johdoille. Akkukennoston halkaisija on noin 75mm. Kotelon kanteen tulee läpivienti sähköjohdolle, sekä katkaisija. Kotelon on oltava avattava. Kotelon aiheuttamaa nostetta ei tarvitse huomioida. Todennäköisesti akun ollessa kotelon sisällä, kotelo on nosteeltaan negatiivinen.

2.2 Materiaalin valinta ja esisuunnittelu

Tässä luvussa käsitellään materiaalin valintaan vaikuttavia asioita ja suunnittelun keskeisiä kohtia. Luvussa käsitellään myös hieman tiivistereenkaita ja niiden ominaisuuksia.

2.2.1 Materiaalin valinta

Materiaalia valittaessa oli tärkeää muistaa, minkälaisiin olosuhteisiin koteloa tehtiin. Valmistusmateriaaliksi olisi käynyt esimerkiksi alumiini tai ruostumaton teräs hyvän korroosiosietokyvyn takia, mutta materiaaliksi valittiin musta polyasettaali.

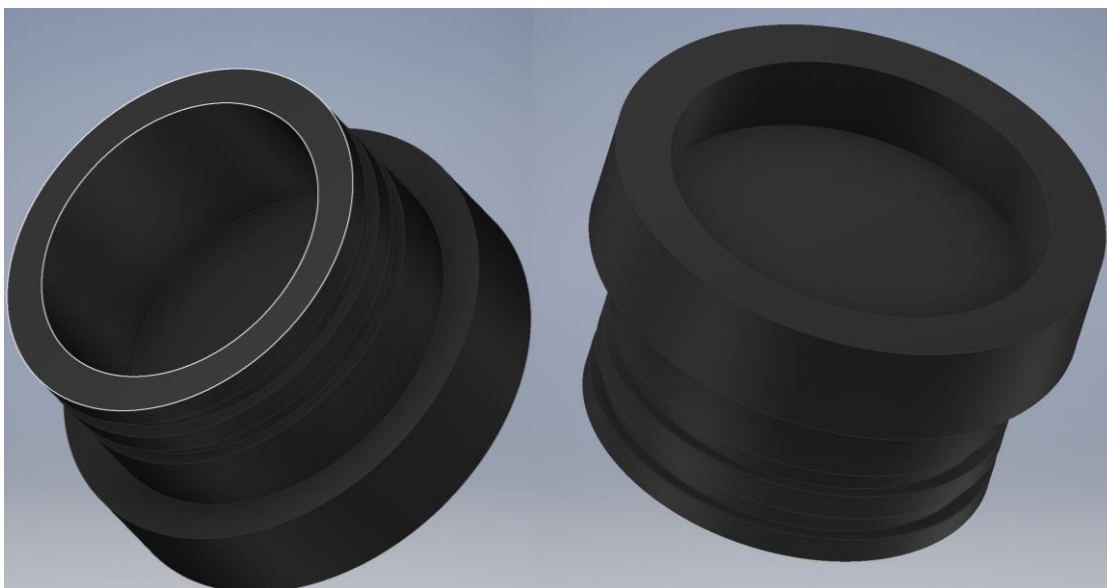
Delrin on yksi useista kaupallisista nimistä polyasetaalille. Delrin on DuPontin tuottama polyasettaali. Samainen aine tunnetaan myös nimillä polyoksimeteeni, joka lyhentyy puhekieleen POM. Muita tuottajia ovat mm. Polyplastic (Duracon), BASF (Ultraform). (2020 RESINEX Group)

Polyasetaalilla on miltei teräksien kaltaisia ominaisuuksia kuten hyvä kulumisenkestävyys sekä vähäinen veden imevyys. Se on myös erittäin korroosion kestävä eikä ruostu tai menetä ominaisuuksiaan vedessä. Polyasettaali kestää myös erittäin hyvin kylmää ja on kestävä jopa -40 celsiusasteeseen saakka. Polyasettaali on korvannut monia metallisia osia. Nykyään sitä käytetään esimerkiksi rattaiden valmistuksessa ja vetoketjuissa. POM on myös erittäin helppoa työstää verrattuna metalliin. Lastuavassa työstössä jälki on myös esteettisesti kaunis. (2020 RESINEX Group)

Sekä kansi että kotelo valmistettiin samasta mustasta POM-C muovista. Molempia osia varten hankittiin noin metrin pitkä 90mm paksu aihiotanko. Tanko otettiin tarkoituksella pitkä, jotta jos valmistuksessa ilmenee jokin ongelma tai tapahtuu virhe niin ylimääräistä materiaalia on riittävästi. Parhaassa tapauksessa samasta aihioista voidaan tehdä kaksi koteloa testikäyttöön. Tavoite kuitenkin oli tehdä vain yksi prototyyppi.

2.2.2 Kannen suunnittelu

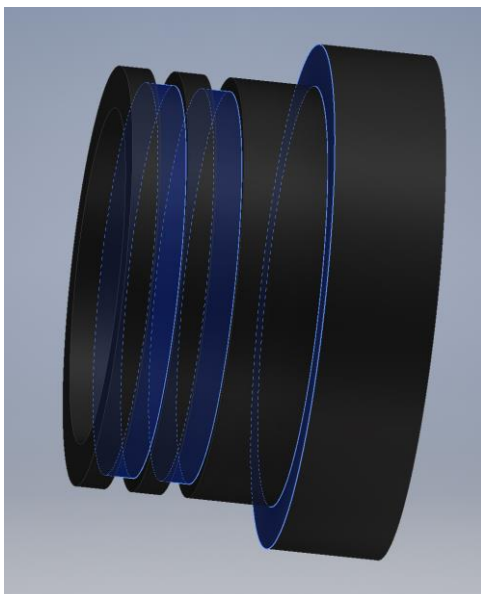
Kantta suunnitellessa täytyi ottaa huomioon pyydetyt vaatimukset. Tiivistysmenetelmäksi valikoitui o/d-rengas tiivistys, joka on käytössä todella laajassa mitta-kaavassa eri teollisuuden kohteissa. Kanteen suunniteltiin upotus, johon katkaisija ja läpivienti saatiin suojattua, jotta katkaisijan vahinkokäyttöä ei tulisi. Myös toiselle puolelle kantta suunniteltiin upotus, joka mahdollistaa enemmän tilaa akun johdoille kotelon sisäpuolella. Kuvassa 1 näkyy 3d malli kannesta.



Kuva 1. 3d malli ilman katkaisijaa tai läpivientä

Tässä vaiheessa ei vielä haluttu määrittää reikiä katkaisijalle tai läpiviennillä vaan päätettiin tehdä ne jälkikäteen koneistettuun kappaleeseen.

Kuvassa 2 näkyy kannen design kokonaisvaltaisesti. Tiivistys toteutettiin kahdella D-rengas uralla sekä yhdellä tasopinta vasten tasopintaa olevalla o-renkaalla. Kuvassa on korostettuna sinisellä kohdat, johon o/D-renkaat asennetaan. Kaksi päällekkäin asennettua radiaalista D-rengasta on pääosainen tiivistys, mutta halusimme lisäksi yhden pinta vasten pintaa tiivistyksen varmuuden vuoksi ja helpottamaan kannen irrotusta kotelosta.



Kuva 2. Tiivistyspinnat korostettu sinisellä

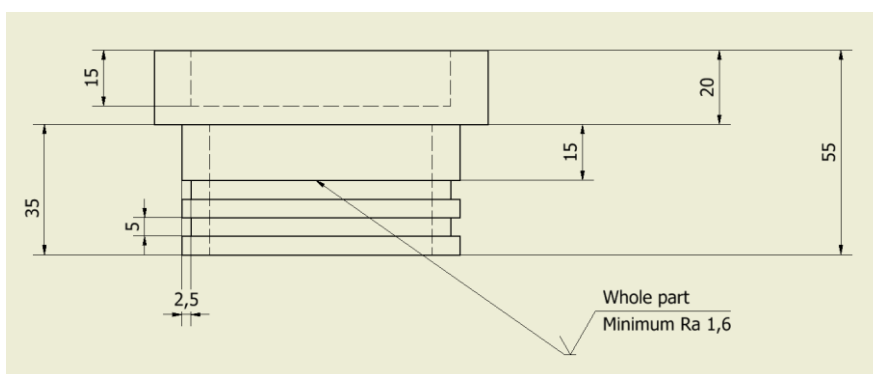
Radiaaliset D-rengas urat mitoitettiin Caterpillarin suuntaventtiilissä käytettävän D-renkaan mukaan. Kyseiset tiivisteosat ovat suunniteltu kestämään erittäin suuria hydraulisia paineita, sekä mekaanisia rasituksia ja näin ollen soveltuu hyvin myös tähän. O-rengas on teollisuuden applikaatioissa käytetty NBR-70 koivuusluokan o-rengas

Tiivisterenkaiden alle jätettiin pieni osuus ohjausta varten. Tämä helpottaa kannen asentamista ja helpottaa kannen painamista suoraan koteloon nähden.

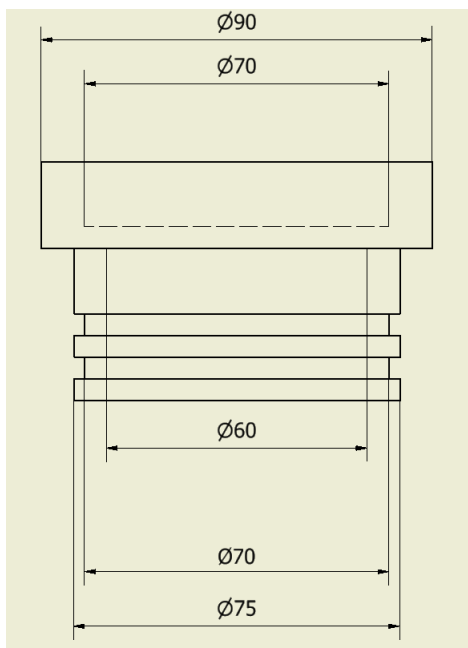
2.2.3 Kannen mitoitus

Jotta akku mahtuisi koteloon tuli koteloon olla vähintään 75mm sisähalkaisijaltaan. Koteloon uppoavan osan halkaisijaksi määritettiin 75mm ja d-rengas urista tehtiin 2.5mm syvät, jotta d-rengas olisi uraan tiukka. Koko kappaleelle vaadittiin pinnanlaaduksi minimi Ra 1,6, jotta ulkopinnat olisivat esteettisesti hyvän näköiset ja tiivistepinnat soveltuisivat o/D- renkaille. D-renkaan halkaisija on 76.5mm, joten sen halkaisija on 1.5mm suurempi kuin kannen halkaisija tiivistyspinnan kohdalta. Kuvat 3 ja 4 ovat teknisiä piirustuksia, jossa näkyvät kannen mitat.

(Liite 1)



Kuva 3. Korkeus mitat



Kuva 4. Kannen halkaisijat

Katkaisijan pituus oli huomioitava kantta suunnitellessa, sillä katkaisijan varren pituus on 12mm pitkä ja katkaisijan vivun päälle asennettiin kuminen suojuus. Katkaisijan vivun tulee olla kansitason yläpuolella. Kuminen suojuus nostaa katkaisijan IP luokituksen IP67:ään. IP67 kestää teoriassa vain roiskeita eikä upotusta veteen, mutta omakohtaiset kokemukset ovat osoittaneet kyseisen kumisuojuksen riittäväksi myös vedenalaiseen käyttöön. Tasaiseksi koneistettu tasopinta auttaa myös kumin tiivistyksessä. IP68 luokituksella varustettu kytkin kestää jatkuvan upotuksen veteen ja lisämerkintänä voi olla suurin sallittu asennussyvyys. IP68 kytkimet ovat usein pietsokytkimiä joiden huono puoli on se, että käyttäjä ei vipukytkimen tavoin kytkimen asennosta voi päätellä onko kytkin on vai off asennossa. Kuvassa 5 näkyy käytettävä katkaisija ja kumisuojuus.

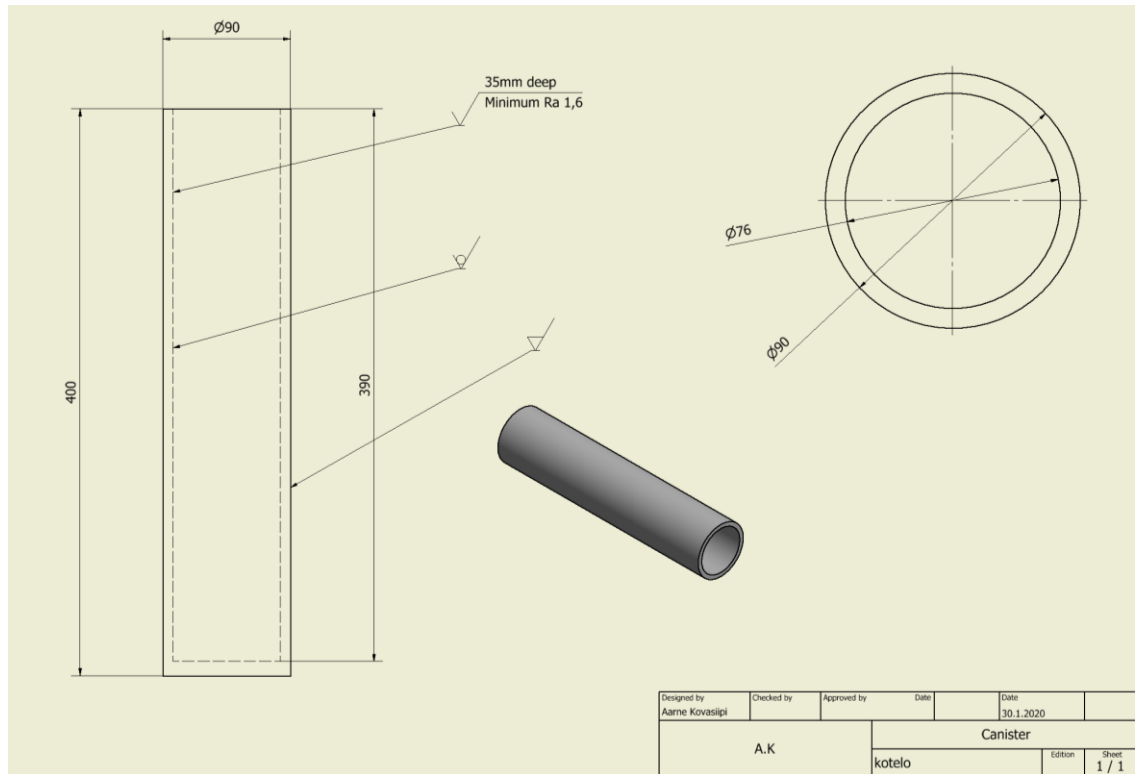


Kuva 5. Katkaisija ja sen suojuus

2.2.4 Kotelon suunnittelu ja mitoitus

Kotelon tekemiseen oli kaksi vaihtoehtoa. Ensimmäinen vaihtoehto ja halvin olisi ollut löytää valmista sopivalla sisähalkaisijalla olevaa putkea, jonka toiseen päähän olisi tehnyt tulpan. Toinen vaihtoehto, johon myös lopulta päädyttiin, oli tehdä kotelo yhtenäisestä suuresta tangosta, josta sisäsorvaamalla poistaa materiaalia. Näin ollen pohjaosa on yhtenäinen rungon kanssa ja yksi liitoskohta poistuu. Tähän vaihtoehtoon päädyttiin, koska kyseisessä käytössä toimivuus ja luotettavuus on tärkeämpää kuin matala valmistushinta.

Kotelo suunnitellessa huomioon tuli ottaa akun vaatima tila, johdoille varattava tila kannen ja akun väliin, sekä kotelon sisämitta, jotta kansi tiivistyneen on sopiva ja pitävä.



Kuva 6. Kotelon tekninen piirros

Kuvassa 6 nähdään kotelon tekninen piirros, mistä käy ilmi kaikki oleelliset mitat ja vaatimukset. (Liite 2) Ensimmäisen 35mm pinnanlaadun minimi vaatimus on Ra 1,6, koska kyseessä on tiivistepinta. Jotta sopiva tiukkuus tiivisteisiin saavutetaan, määritettiin kotelon halkaisijaksi 76mm, jolloin se on 0.5mm pienempi kuin tiivisteiden halkaisija. Näin ollen D-renkaat painuvat pintoja vasten ja muodostavat tiiviin rakenteen.

Loppuosan pinnanlaadulla ei ole väliä. Pinnanlaatua on myös mahdoton vaatia sillä sisäosavatsessa näin pitkää kappaletta terä värähtelee huomattavan paljon ja vaikuttaa negatiivisesti pinnanlaatuun.

Pohja jätettiin myös paksummaksi, jotta alkureijän tekemiseen jää hieman varaa. Toinen syy pohjan paksuudelle oli siihen kohdistuva kova paine

3 SIMULOINTI

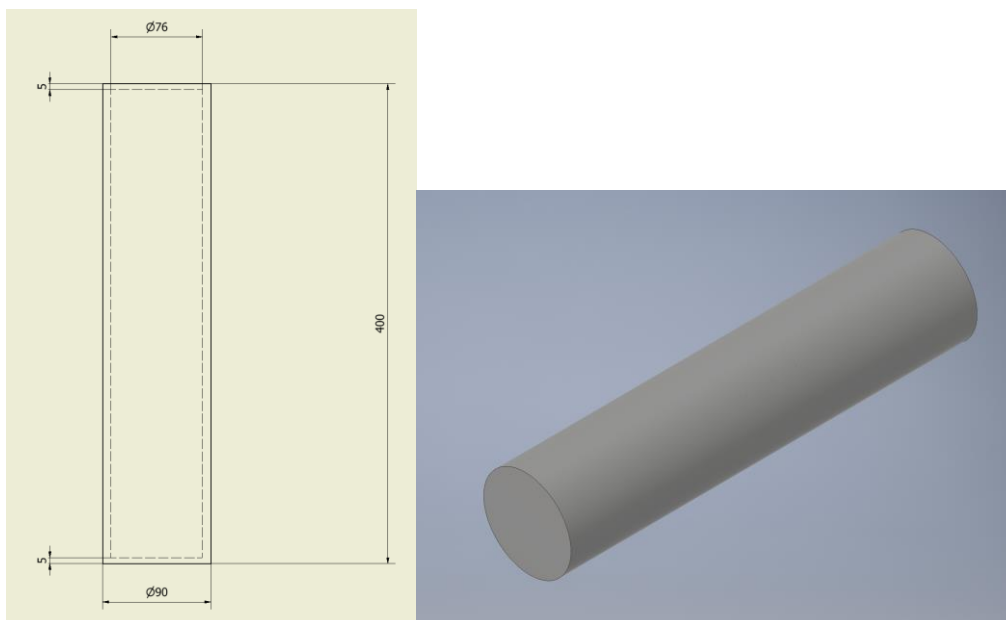
Tässä luvussa tarkastellaan akkukoteloä simuloituna. Tarkoituksena on selvittää minkälaisia painekuormia kotelo kestää nykyisillä mitoilla. Tässä vaiheessa on myös mahdollista löytää heikkoja kohtia, jota suunnittelussa ei ole tullut huomioidua.

3.1 Mallin valmistelu

Jotta simulointi helpottuisi tehtiin akkukotelosta pelkistetty malli, jossa käytännössä on kaksi pohjaa. Kyseessä on peilattu symmetrinen kappale, joka on kuitenkin onto sisältä.

Nesteessä kaikki samalla syvyydellä olevat kappaleet ovat yhtä suuren paineen ympäröimänä, eikä kappaleen muoto vaikuta hydrostaattiseen paineeseen. (Sari Saxholm ja Markku Rantanen, Mittatekniikan keskus 2011).

Tämän tiedon nojalla pelkistimme mallin näyttämään kuvan 7 kaltaiselta.



Kuva 7 Tekninen piirros ja 3d malli pelkistetystä mallista

3.2 Simulointi

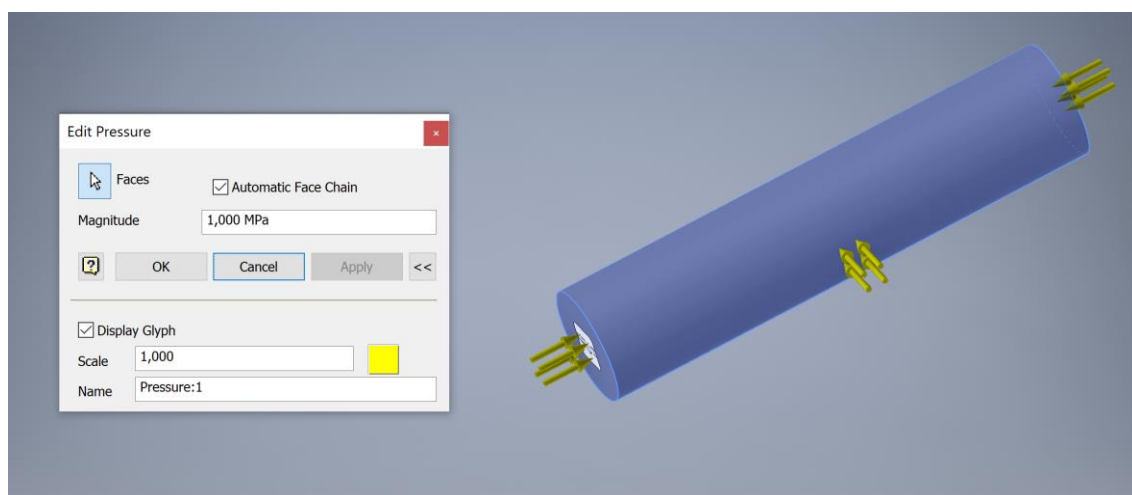
Simuloinnin tarkoitus on varmistaa ja nähdä teoriassa kestäväkö suunniteltu kappale siihen kohdistuvia voimia.

Koska malli on niin yksinkertainen, ei sitä juurikaan tarvitse ohjelmassa valmistella. Nykyiset simulointiohjelmat ovat helppo käyttää ja esimerkiksi käytetyssä Autodesk Inventor Professional 2019- ohjelmassa, materiaalikirjastosta löytyi valmis POM-C muoville tehty sivu, jossa on kaikki tarvittavat materiaaliominaisuudet esitettynä taulukossa 1.

Taulukko 1. POM-C muovin materiaaliominaisuuksia

Name	Polyethylene, High Density	
General	Mass Density	0,952 g/cm ³
	Yield Strength	20,67 MPa
	Ultimate Tensile Strength	13,78 MPa
Stress	Young's Modulus	0,911 GPa
	Poisson's Ratio	0,392 ul
	Shear Modulus	0,327227 GPa
Part Name(s)	Laskentamalli	

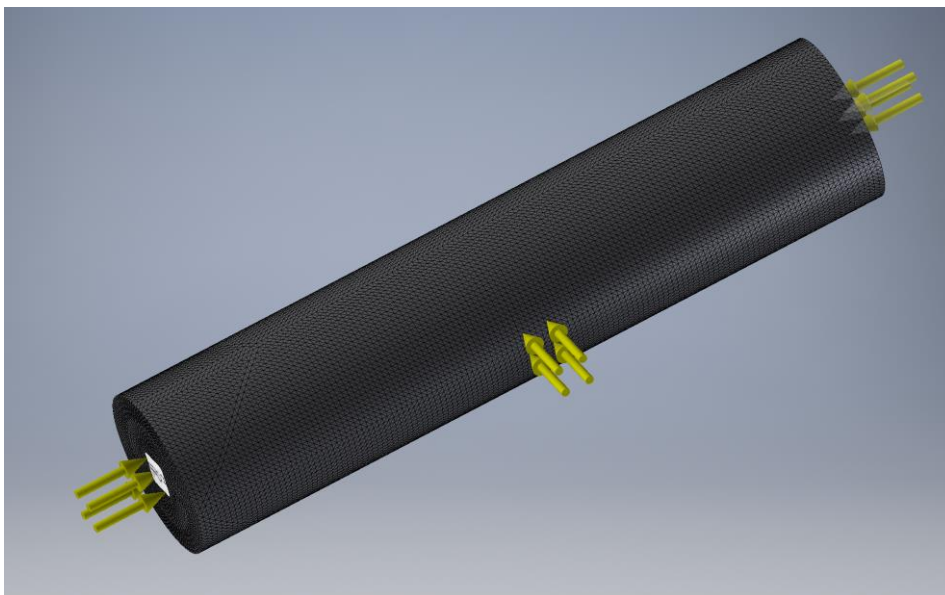
Kuvassa 8 mallin kaikille pinnoille on asetettu vaikuttamaan sama paine. 1MPa, eli 10bar, joka vastaa 100m upotusta makeassa vedessä. Tekemällä simuloinnin hieman kovemmalla paineella, voidaan olla varmempia kappaleen kestävydestä.



Kuva 8. 1MPa voima vaikuttaa kappaleen kaikille pinnoille

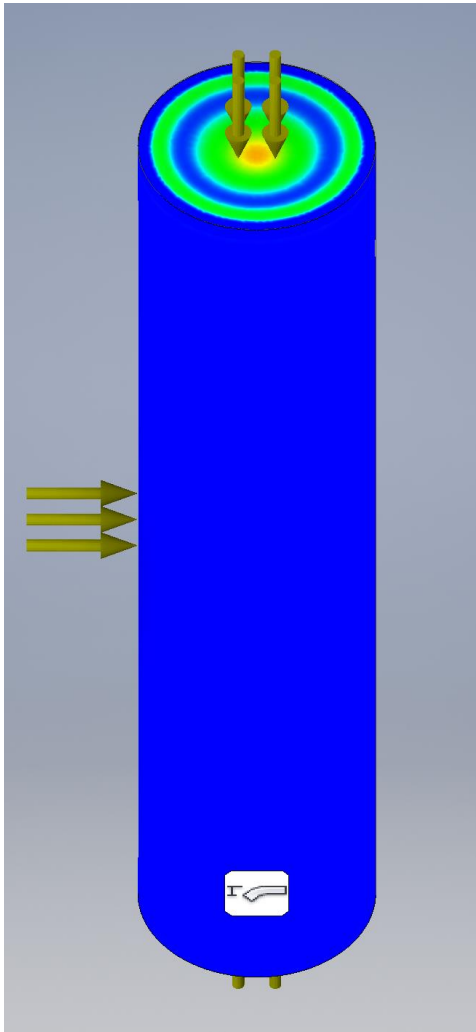
On tärkeää muistaa, että mallin molemmat päädyt ovat identtiset, sekä vaipan seinämänvahvuus on saman joka kohdassa.

Alkuperäinen verkon koko oli melko suuri ja mallin yksinkertaisuuden takia oli sitä mahdollista pienentää huomattavasti. Pienempi verkko mahdollistaa tarkemman tuloksen. Kuvassa 9 on pienellä verkotuksella valmisteltu malli.



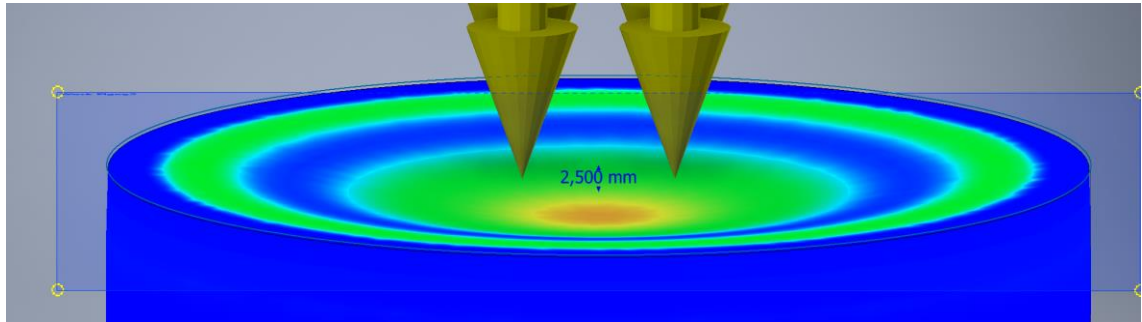
Kuva 9. Tihennetty verkotus tarkempaa tulosta varten

Kuten kuvasta 10 nähdään vaippa ei koe oikeastaan minkäänlaista muodonmuutosta. Todellisuudessa sisällä oleva akku lisäksi tukee vaipan rakennetta. Sen sijaan päädyt joutuvat rasitukselle.



Kuva 10. Visuaalinen simulointi tulos

Kuvasta 11 nähdään päädyn muodonmuutos. Mitalla on myös esitetty päädyn maksimi painuma, eli kuinka paljon pääty painuu sisäänpäin 10 bar paineessa (2.5mm).



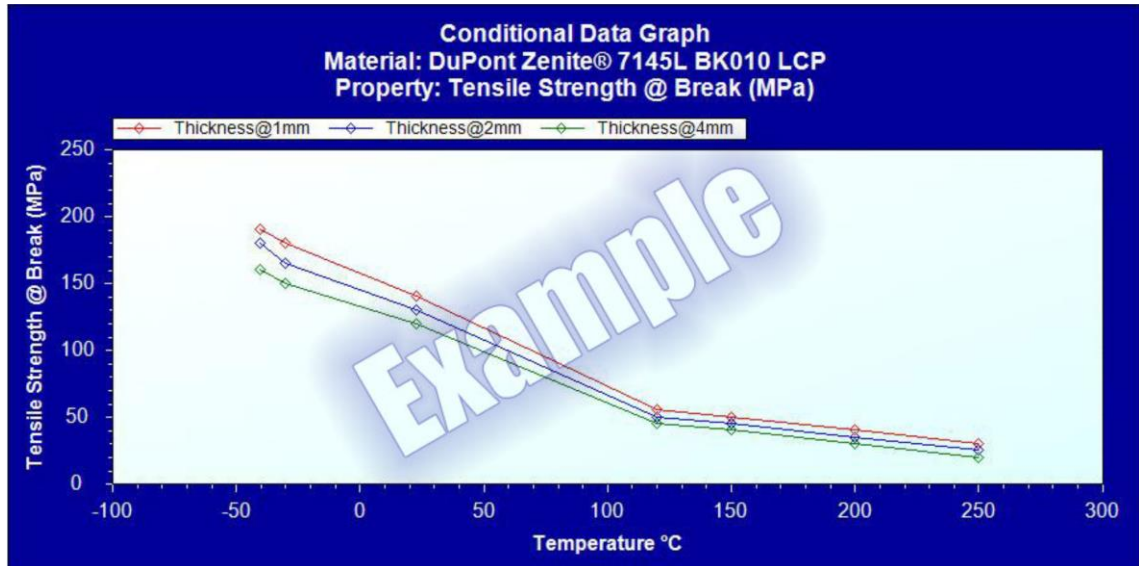
Kuva 11. Päädyn painuma

Lasketatulokset nähdään taulukosta 2

Taulukko 2. Simuloinnin tulokset

Name	Minimum	Maximum
Volume	775471 mm ³	
Mass	0,738248 kg	
Von Mises Stress	0,00344728 MPa	47,5805 MPa
1st Principal Stress	-31,78 MPa	32,4916 MPa
3rd Principal Stress	-80,9336 MPa	1,1646 MPa
Displacement	0 mm	4,78181 mm
Safety Factor	0,434422 ul	15 ul
Stress XX	-60,6944 MPa	32,1946 MPa
Stress XY	-16,1601 MPa	15,6424 MPa
Stress XZ	-20,6129 MPa	19,5157 MPa
Stress YY	-58,6164 MPa	32,488 MPa
Stress YZ	-21,6772 MPa	19,6566 MPa
Stress ZZ	-50,4765 MPa	12,9934 MPa
X Displacement	-0,45089 mm	0,451014 mm
Y Displacement	-0,450878 mm	0,450889 mm
Z Displacement	-0,0101455 mm	4,7818 mm
Equivalent Strain	0,00000438077 ul	0,0497193 ul
1st Principal Strain	-0,000102793 ul	0,0337502 ul
3rd Principal Strain	-0,056944 ul	-0,00000536267 ul
Strain XX	-0,0478189 ul	0,0284609 ul
Strain XY	-0,0246926 ul	0,0239014 ul
Strain XZ	-0,0314964 ul	0,0298197 ul
Strain YY	-0,0462552 ul	0,0285063 ul
Strain YZ	-0,0331226 ul	0,0300351 ul
Strain ZZ	-0,0372372 ul	0,0337502 ul

Tuloksista tärkein on Von mises rasitus, joka simulointitulosten mukaan on noin 48MPa (taulukko 2). Tulosta voidaan verrata kuvaajan 1 arvoon. (matweb.com, 2020). Kyseinen kuvaaja antaa myötörajan DuPont:in valmistamalle POM-C muoville, mutta muut POM-C muovit ovat ominaisuuksiltaan saman kaltaisia ja näin ollen vertailukelpoisia.



Kuvaaja 1. Myötöraja POM-C muoville

Kuvaajasta 1 nähdään 0 celsius asteen kohdalla 4mm seinämävahvuudella myötörajan olevan noin 130Mpa. Verrattuna simulointi tuloksen 48Mpa:iin, eli varmuuskertoimeksi jää noin 2.7.

Simulointi tulosten perusteella voitiin todeta ainevahvuuksien olevan riittävät ja rakenteen olevan paineen sietävä. Varmuuskerroin todettiin riittäväksi, varsinkin kun simulointikin tehtiin kovemmalla paineella kuin mikä vallitsee maksimi ope-
 rointi syvyydessä.

4 VALMISTUS

Tässä luvussa keskitytään akkukotelon valmistukseen. Valmistus toteutettiin manuaali ohjattua metallisorvia käyttäen. Koska kappaleet tehtiin umpinaisesta ahiosta, hukkamateriaalia syntyi merkittävä määrä.

4.1 Kannen valmistus

Kannen valmistus aloitettiin tekemällä ylempi puoli ensimmäisenä. Taso oikaisiin ja katkaisijalle, sekä läpiviennille sisäsovattiin teknisissä piirustuksissa näkyvä potero. Tässä vaiheessa kanteen ei vielä tehty reikiä.

Yläpuolen valmistuttua siirryttiin työstämään tiivisterengas uria ja kannen alapuolta. Mitoille ei ollut määritetty mitään toleranssi rajoja, vaan kaikki mitat pyrittiin tekemään niin tarkoiksi kun saadaan. Kuvassa x näkyy kansi työstövaiheessa. Kuvasta 12 näkee myös kuinka miellyttävän pinnan koneistus jättää.



Kuva 12. Kannen valmistus

Ala-puolelle jätettiin työstövaraa. Lopuksi kansi katkaistiin oikeaan mittaan. Kuvista poiketen kannen pohja osaan tehtiin vielä pieni viiste. Kuvassa 13 näkyy kansi koneistuksen jälkeen. Paikallaan ovat myös käytettävät tiivisterenkaat.



Kuva 13. Kannen tiivistys

Kanteen tehtiin vielä kaksi reikää läpivientiä ja kytkintä varten. Kyseiset osat eivät kumpikaan olleet metrisellä kierteellä, eikä sopivaa kierretappia ollut saatavilla, joten päädyimme tekemään hieman kierrettä pienemmän reiän. Reiän alkuun tehtiin senkkaus, jotta osat kierteyttäisivät itsensä kappaleeseen. Kuvassa 14 on läpivienti. Läpivienti tiivistyy useasta kohdasta, mukaan lukien o-renkaalla kanteen. Näin ollen kannen pinnan taso, tuli olla pinnanlaadultaan hyvä ja suora.



Kuva 14. Läpivienti purettuna

Kuvassa 15 kytkin ja läpivienti ovat upotettuna kanteen. Valitettavasti tässä vaiheessa kanteen tuli hieman jälkiä.



Kuva 15. Kytkin ja läpivienti sekä johto asennettuna

4.2 Kotelon valmistus

Tässä luvussa aiheena on kotelon valmistus. Kotelo on osa, johon varsinainen akku upotetaan. Kannen tavoin kotelo valmistettiin umpinaisesta tangosta.

Tässä työvaiheessa hukkamateriaalia syntyi todella paljon.

Kuvassa x käytetyillä tilavuuden laskenta kaavoilla pyrittiin selvittämään syntyvän hukkamateriaalin määrän.

Alaindeksi numerolla 1 on merkitty umpinaisen materiaalin mitat ja V_1 on koko aineen tilavuus. Alaindeksillä numero 2 on merkitty koneistetun osuuden määrä ja V_2 on koneistetun osuuden tilavuus. Näiden suhde on noin 0.7 mikä tarkoittaa 70% materiaalihukkaa.

Tilavuudet laskettiin kaavalla 2. (Tammertekniikan kaavasto, 2014).

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (2)$$

, jossa

V on tilavuus

π on pii (vakio)

r on pohjan säde

h on kappaleen korkeus

Hukkamateriaali	
$h_1 := 400 \text{ mm}$	$r_1 := 90 \text{ mm} \div 2 = 45 \text{ mm}$
$h_2 := 390 \text{ mm}$	$r_2 := 76 \text{ mm} \div 2 = 38 \text{ mm}$
$V_1 := \pi \cdot r_1^2 \cdot h_1 = 2.545 \text{ L}$	
$V_2 := \pi \cdot r_2^2 \cdot h_2 = 1.769 \text{ L}$	
$\frac{V_2}{V_1} = 0.695$	

Koteloa ryhdyttiin tekemään poraamalla aluksi alkureiän. Alkureikä pitää ulottua sorvattavaan pintaan asti (tässä tapauksessa pohjaan), sillä sisäporvatus materiaalia on hankala poistaa pohjalta. Käytännössä sisäporvatus poistetaan materiaalia kappaleesta radiaalisesti. Työstö aloitettiin alkupäästä jatkaen portaittain sisäänpäin. Näin varmistuttiin, ettei työkalun varsi vahingossa pääse osumaan kappaleen sisäpintaan. Ongelmaksi koitui kappaleen pituus. Koska sorvaus piti olla niin syvä, eivät normaalit terät ylettäneet pohjalle asti. Näin ollen päädyimme yhdistämään hitsaamalla kaksi terän pidikettä. Liitos tehtiin sopivan putken avulla, joka pujotettiin terän pidikkeiden päälle ja hitsattiin kiinni (Kuva 16).



Kuva 16. Jatkettu terän pidin

Pitkä varsi aiheutti melko suuria värinöitä ja näin ollen pinnanlaatu kotelon sisällä kärsi huomattavasti. Kuitenkaan sisäpinnan laadulla ei ole niinkään merkitystä muualla, kuin tiivistepinnalla. Kuvista 17 ja 18 nähdään kappaleen sisäpintaa. Kuvassa 18 näkyy tiivistepinta, mikä on laadultaan varsin riittävä. Kappaleen materiaalin ja muodon takia pintoja on hankala kuvata.



Kuva 17. Värinästä aiheutuva koneistusjälki



Kuva 18. Alun hyvä pinnanlaatu

Lopuksi kansi sekä kotelo kiinnitettiin toisiinsa ja ulkopinta viimeisteltiin ottamalla pinnasta noin 0.5mm materiaalia pois. Kuvassa 19 näkyy viimeistelty ulkopinta.



Kuva 19. Viimeistelty ulkopinta

5 TESTAUS

Tässä luvussa paneudutaan akkukotelon käytännön testaamiseen. Testauksen tarkoitus on varsinaisesti selvittää kotelon toimivuus. Tärkein yksittäinen asia testauksessa on, ettei kotelon sisään tule lainkaan vettä. Akkukotelo tullaan testaamaan tyhjänä ilman akkua, jolloin vältytään mahdolliselta akun tuhoutumiselta, jos akkukotelo vuotaa. Vesi aiheuttaa Li-Po akussa erittäin aggressiivisen reaktion, missä valtaosa akun energiasta purkautuu lämpönä. Testauksessa saatuja tuloksia voidaan myös verrata laskettuihin tai simuloituihin tuloksiin ja näin ollen todeta niiden tarkkuuden.

5.1 Hydrostaattinen testaus

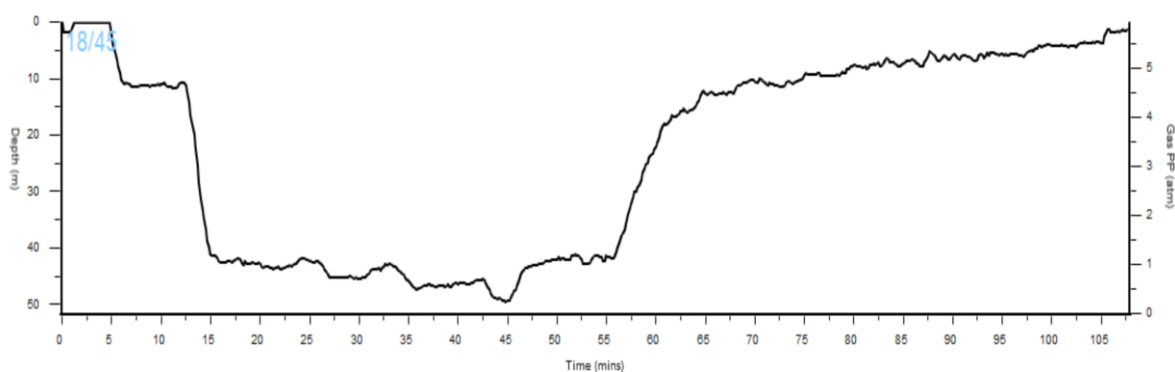
Lähes kaikki nesteeseen upotettavat laitteet testataan ennen käyttöä. Usein testattavia laitteistoja ovat kuitenkin sellaiset laitteistot, joiden sisällä on suurempi paine kuin ulkopuolella oleva paine. Näin ollen testit suoritetaan päästämällä paineistettua vettä tai öljyä laitteen sisälle ja tarkastelemaan mahdollisia vuotoja. Vuodot näkyvät näin selkeästi laitteen ulkopinnalla. (Axenics.com, 4.Tammikuuta 2017)

Kuitenkaan tämän kaltainen testaus ei sovellu kyseiseen käyttöön, sillä käytännössä kotelon sisäinen paine on pienempi kuin ulkopuolella siitä hetkestä lähtien, kun kotelo upotetaan veteen.

U-Boat worx on hollantilainen yritys, joka valmistaa tutkimuskäyttöön tarkoitettuja sukellusveneitä. Sukellusveneet tiiveys testataan Skotlantilaisen L&N SCOTLAND yrityksen toimesta. Testaus suoritetaan säiliössä, jota paineistetaan niin että se vastaa maksimi operointi syvyyden painetta. Testauksen jälkeen laitteet tutkitaan ja todetaan ovatko ne pitäneet. (U-Boat Worx.com, 2020, Lnsotland.com,2020)

Päätimme toteuttaa testauksen viemällä akkukotelon sukeltajan mukana noin 50 metrin syvyyteen ja sukeltaja viipyisi kyseisessä syvyydessä noin 40 minuuttia. Akkukotelo tulee olemaan testin ajan tyhjä. Jos akkukotelo vuotaisi vettä, ei vuotanut vesi vahingoittaisi akkua tai aiheuttaisi vaaratilannetta. Kyseinen testimethodi simuloi todellista käyttötarkoitusta niin hyvin kuin voi.

Testaus suoritettiin 1.5.2020 Pietarsaaren edustalla. klo 10:58 sukeltaja laskeutui kumiveneestä veteen akkukotelo kiinnitettynä hänen hihnastoon. Pinnalla keli oli suotuisa, mutta merivesi oli vielä todella kylmää. Yksi asteista. Sukeltaja sukelsi nousuajat huomioon ottaen 108 minuuttia. Kuvaajassa 1 näkyy sukeltajan sukellusprofiili. Sukelluksen jälkeen akkukotelo avattiin tiiveyden toteamiseksi ja kotelo oli sisäpuolelta täysin kuiva. Valitettavasti pohjan painumaa ei onnistuttu mittaamaan, joten simulointituloksen oikeellisuudesta ei ole tietoa. Ympäröivä paine puristi kantta todella voimakkaasti kiinni ja tästä syystä kansi oli melko tiukassa. Kuvaajassa 1 vasemmalla pystysarakkeella on syvyys metreinä.



Kuvaaja 2. Sukellusprofiili

6 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja valmistaa yrityksen omaan käyttöön yksi akkukotelo. Testaustulokset osoittivat akkukotelon toimivuuden ainakin keskisyvällä sukelluksella. Testaustuloksia voidaan pitää hyvinä, sillä sukellus ei myöskään ollut ajallisesti lyhyt. Mielenkiintoista olisi jatkaa testausta ja selvittää riittäisikö kotelon tiivistykseen vain kannen ja kotelon väliin jäävä o-ren-gas. Jos tämä tiivistystapa toimisi, voitaisiin koteloa lyhentää huomattavasti, sekä yksinkertaistaa kannen rakennetta. Tämä helpottaisi myös kotelon avaamista sukelluksen jälkeen. Nykyinen rakenne on äärimmäisen tiivis kannen D- renkaiden osalta ja näin ollen on melko hankala avattava.

Jälkeenpäin ajateltuna opinnäytetyössä olisi voinut mahdollistaa 3d tulostusta osavalmistuksessa. Mielenkiintoista olisi ollut nähdä, kuinka 3d tulostetut raken-teet kestäisivät ympäröivää painetta, tai kuinka hyvän pinnanlaadun olisi voinut saavuttaa.

Valitettavasti ajankohta, sekä ajan puute eivät mahdollistaneet akkukotelon tes-tausta erittäin syvällä noin 100 metrin syvyydessä. Simulointi tuloksia, etenkin pohjan painumaa olisi ollut mielenkiintoinen verrata testaus tuloksiin. Niin syvä testisukellus ja mittaus olisi vaatinut erittäin hallitut olosuhteet, jota ei ollut mah-dollista järjestää koronavirus COVID-19 takia. Testausta tullaan jatkamaan tilan-teen normalisoituessa.

LÄHTEET

Axenics.com

U-Boat Worx.com

Lnscotland.com

Tammertekniikan kaavasto, 2014 14. Painos

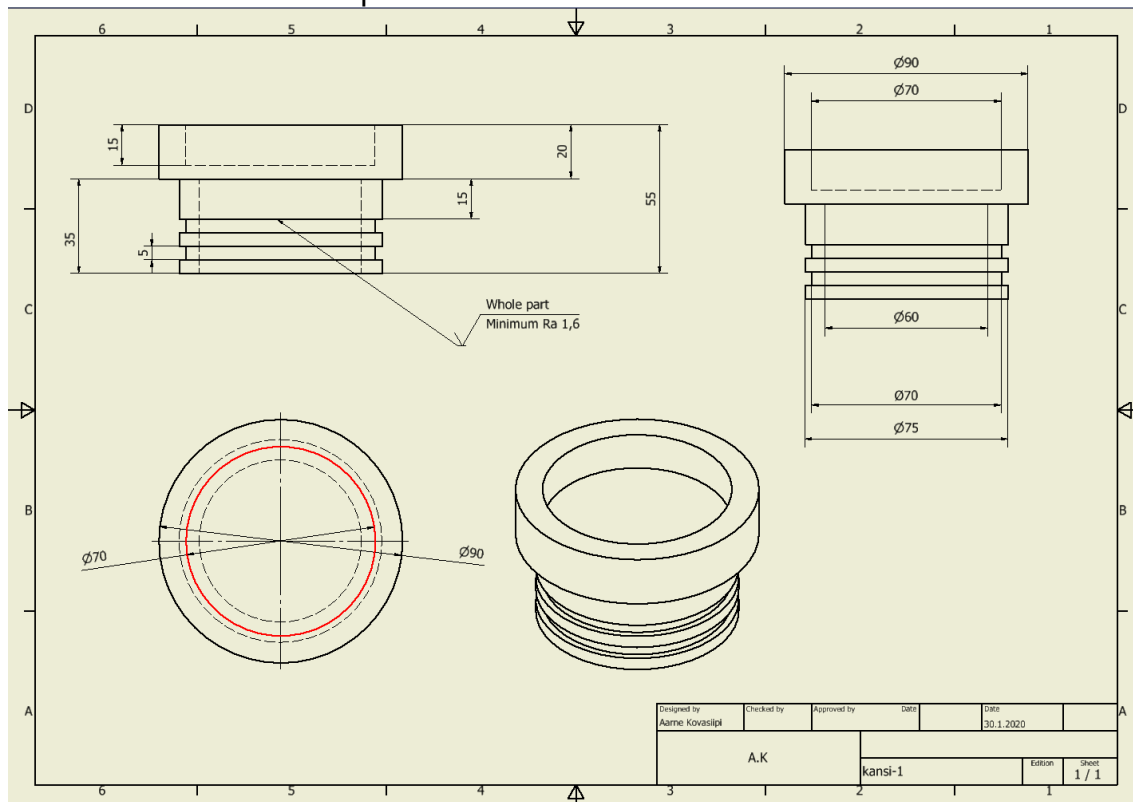
Taulukot.com

Sari Saxholm ja Markku Rantanen, Mittatekniikan keskus 2011

2020 RESINEX Group

LIITTEET

Liite 1. Kannen tekninen piirustus



Liite 2. Kotelon tekninen piirustus

