

Opinnäytetyö AMK

Konetekniikka

2023

Eetu-Petteri Poutanen

Alumiinisen pienaluksen valmistusprosessi



Opinnäytetyö (AMK / YAMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Konetekniikka

2023 | 27 sivua

Poutanen Eetu-Petteri

Alumiinisen pienaluksen valmistusprosessi

Suomessa on useita menestyviä alumiinisten työalusten valmistajaa, siitä ja omasta kiinnostuksesta ja kokemuksesta pienaluksiin syntyi mielenkiinto tehdä opinnäytetyö pienalusten valmistuksesta. Aihe on kehitetty yhdessä Turun ammattikorkeakoulun meritekniikan opettajien kanssa.

Tarkoituksena on luoda katsaus pienalusten valmistuksesta ja valmistuksen käytännön toteutuksesta. Opinnäytetyö koskee ammattikäyttöön Suomessa on useita menestyviä alumiinisten työalusten valmistajaa, siitä ja tarkoitettuja työkäyttöön tarkoitettuja aluksia, joiden bruttovetoisuus on alle 500 GT.

Pienalusten valmistuksesta ei aikaisemmin ole tehty käytännössä mitään tutkimusta eikä aiheesta löydy kirjallisuutta. Kirjallisena aineistona on käytetty aikaisemmin tehtyjä opinnäytetöitä, jotka käsittelevät veneteollisuutta ja veneenrakennusta, sekä ammattiveneitä koskevia ja määritteleviä säännöksiä ja määräyksiä. Kirjallisina lähteinä on käytetty laivatekniikan kirjallisuutta niiltä osin kuin ne ovat soveltuneet aiheeseen. Myös alan yritykseen tehty vierailu ja omaa kokemus alalta on käytetty kirjoittamiseen.

Asiasanat:

Työvene, pienalus, valmistus, alumiini

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Mechanical engineer

2023 | 27 pages

Poutanen Eetu-Petteri

Aluminum small craft manufacturing process

There are several successful manufacturers of aluminum work vessels in Finland, and from that and author's personal interest and experience in small vessels, which became the inspiration to do a thesis on the manufacture of small vessels. The topic was developed together with Turku University of Applied Sciences marine engineering teachers.

The purpose was to create an overview of the manufacture of small vessels and the practical implementation of the manufacture. The thesis applies to professional use. There are several successful manufacturers of aluminum work vessels in Finland, including vessels intended for work use with a gross tonnage of less than 500 GT.

Practically no research has been done on the manufacture of small ships before and there is no literature on the subject. Previously completed theses were used as source material for this thesis, which deal with the boat industry and boat building, as well as the regulations and provisions concerning and defining professional boats. Written sources included marine engineering literature has been used to the extent that they are suitable for the topic. A visit to a company in the field and author's experience in the field were also used for writing.

Keywords:

Work boat, small craft, manufacturing, aluminum

boat, small craft, manufacturing, aluminum

Sisältö

1 Johdanto	6
2 Alumiinisen pienaluksen valmistusprosessi	7
2.1 Pienalus	7
2.2 Säännöt	8
2.2.1 Alusten rakenteita koskevat säännöt	8
2.2.2 Tuotannon sertifikaatit	9
3 Pienalusten valmistusprosessi	11
3.1 Suunnittelu	11
3.1.1 Hitsaus	14
3.1.2 Materiaalit	15
3.1.3 runko	16
3.1.4 Ylösalaisin koottu alumiinirunko	17
3.1.5 Oikeinpäin koottu alumiinirunko	18
3.1.6 Muut rakenteet	19
3.1.7 Hitsausjärjestys	19
3.2 Pintakäsittely	20
3.2.1 Esikäsittely	20
3.2.2 Maalaus	21
3.2.3 Maalit	22
3.3 Varustelu	22
4 Yhteenveto	24
Lähteet	25

1 Johdanto

Alumiini on noussut pienten alusten valmistusmateriaalina teräksen ohi. Harvoin enää esimerkiksi puolustusvoimien tai muiden viranomaisten pieniä uusia aluksia rakennetaan teräksestä.

Suomen ja Euroopan alueella rakennetaan paljon pieniä aluksia, jotka palvelevat erilaisia tehtäviä, kuten kalastusta, matkailua, kuljetusta ja erilaisia viranomaisten tarpeita. Nämä pienalukset ovat elintärkeitä alueen merenkulkualalle ja tarjoavat lukuisia työpaikkoja sekä suoraan että alihankintaketjujen kautta.

Suomessa on vahva osaaminen etenkin erilaisten viranomaisveneiden valmistuksessa ja niitä valmistetaan myös runsaasti vientiin.

Uudet ja koko ajan kehittyvät valmistusmenetelmät ja ratkaisut lisäävät varmasti mielenkiintoa ja vetovoimaa alumiinisia aluksia kohtaan.

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia pienalusten valmistustapoja ja valmistusprosessin kulkua. Tarkoitus on, että työstä selviää prosessin pääkohdat menetelmät mitä kussakin työvaiheessa tehdään.

Tämä opinnäytetyö perustuu kirjallisuuskatsaukseen, alan asiantuntijoiden haastatteluihin sekä omaan tietotaitoon ja kokemukseen vene- ja metalliteollisuudessa. Lisäksi se tarjoaa mahdollisuuden ymmärtää nykyaikaisen laivanrakennuksen työtapoja.

Opinnäytetyö koostuu useista luvuista, joissa käsitellään pienalusten valmistuksen eri valmistusmenetelmiä, materiaalivalintoja, turvallisuus- ja ympäristöasioita, sekä niitä ohjailevia asetuksia ja määräyksiä. Näiden osaluokkien kautta pyritään vastaamaan keskeisiin kysymyksiin ja avaamaan pienalusten valmistusta.

2 Alumiinisen pienaluksen valmistusprosessi

2.1 Pienalus

Pienaluksen määritelmä Suomen tilastokeskuksen mukaan on alus, jonka pituus on vähintään 10 metriä mutta enintään 15 metriä ja joka on vapaaehtoisesti merkitty alusrekisteriin.

(<https://www.stat.fi/meta/kas/pienalus.html> 26.9.2023)

Tässä opinnäytetyössä pienaluksen rajana käytetään 24 metrin runkopituutta, joka on kansainvälisessä lastilinjasopimuksessa (ILLC) raja turvallisuusvarusteluokassa. Minimipituus on 5,5 metriä, jonka määrittää kansainvälinen standardi ISO 8666. Rungon tilavuuden rajana käytetään 500 tonnin bruttovetoisuuden rajaa.

Säännöt pätevät ammattiveneille, joiden runkopituus kansainvälisen standardin ISO 8666 mukaan on suurempi kuin 5,5 m ja pituus kansainvälisen lastilinjasopimuksen (ILLC) mukaan on alle 24 metriä. Viimeksi mainittu pituus on suurempi seuraavista:

- 96 % rungon pituudesta mitattuna korkeudella, joka vastaa 85 % aluksen sivukorkeudesta keskilaivalla; tai
- etäisyys keulaluotiviivan ja peräsinakselin välillä samalla korkeudella.

(Ammattiveneohjeisto, 2021)

Opinnäytetyössä ei käsitellä huviveneitä.

Opinnäytetyössä tutkitaan ammattikäyttöön tarkoitettujen pienalusten rakennusmenetelmiä. Alumiinista valmistettuja erilaisia alustyyppisiä on todella suuri määrä, käsitettävien alusten määrää on pakko rajata erilaisilla menetelmillä.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään vain pinta-aluksia, joilla on oma propulsiokoneisto. Aluksen valmistusmateriaaliksi on rajattu alumiinista valmistetut alukset.

Opinnäytetyössä pääpaino on viranomaisaluksilla ja erilaisilla kuljetustehtäviin tarkoitetuilla aluksilla, joita käsiteltävässä kokoluokassa valmistetuista aluksista on iso osa. Valmistusprosessi on hyvin samankaltainen kaikkien saman kokoluokan aluksilla, joten menetelmät ovat osittain käytössä myös muista materiaaleista valmistetuilla aluksilla.

Työalukset ovat ammatilliseen käyttöön tarkoitettuja aluksia, joiden kuljetustehtävänä voi olla käytännössä mikä tahansa esimerkiksi kalastus, ihmisten ja työkalujen kuljetus työkohteeseen tai työkohteessa suoritettavan työtehtävän suorittaminen.

2.2 Säännöt

Metallirunkoisten ammattikäyttöön valmistettujen pienalusten suunnittelussa ja valmistuksessa noudetaan monia eri sääntöjä ja määräyksiä. Lisäksi valmistajilla on käytössään monia vapaaehtoisia standardeja ja tuotantoon liittyviä sertifikaatteja, joita noudattamalla taataan tuotannon vaiheiden turvallisuus ja vaatimustenmukaisuus. Usein tilaajaorganisaatiot edellyttävät tiettyjen standardien käyttöä, alusvalmistajien kilpailutuksessa ja alihankintaketjutuksessa. Standardien käyttäminen on vapaaehtoista. On kuitenkin mahdollista, että viranomaiset näkevät joidenkin standardien käytön niin hyödylliseksi, että sitä suositellaan. Organisaatiot voivat edellyttää joidenkin standardien käyttöä esimerkiksi kilpailutuksessa tai alihankintaketjun toiminnassa.

2.2.1 Alusten rakenteita koskevat säännöt

Suomessa on käytössä Eurofins ammattiveneohjeisto FMAW (Finnish Maritime Administration Workboat rule). Ammattiveneohjeistoa käytetään ammattiveneiden viranomaishyväksynnän tarkastuksiin. on kehitetty vanhasta Pohjoismaisesta venenormistosta (NBS), jonka kehittivät yhdessä pohjoismaiden merenkulkuviranomaiset ja Det norske veritas. Merenkululaitoksen ammattiveneohjeisto perustuu vanhaan NBS-Y-ohjeiston lisäksi ISO-small standardeihin, jotka on kehitetty huvivedirektiiviä varten. Vuonna 2020 ammattiveneohjeistosta siirrettiin suuri osa sellaisenaan

Liikenteen turvallisuusviraston eli Trafín kehittämään ammattiveneohjeistoon. Trafín ammattiveneohjeisto perustuu NBS-Y-ohjeistoon, ISO-standardeihin ja kansainvälisiin luokituslaitosten määräyksiin. Merenkululaitos on osa liikenteen turvallisuusvirastoa.

Kaikissa aluksissa on oltava Craft Identification Number eli CIN- koodi yksilöiden tunnistamiseksi. Lisäksi Huviveneissä on oltava Conformité Européene eli CE-merkintä, joka on valmistajan antama vakuutus siitä, että tuote täyttää sitä koskevien EU direktiivien vaatimukset.

Ammattiveneohjeisto on vaatimuksiltaan tiukempi kuin ISO-standardit pelkästään mutta vaatimustaso on matalampi kuin luokituslaitosten laivoja koskevia määräyksiä noudatettaessa.

Ammattiveneiden turvallisuudesta annettavan määräyksen taustalla on vuonna 1990 annettu Pohjoismaiden venenormisto, joka koskee alle 15 metrin pituisia ammattiveneitä. Se on kehitetty Pohjoismaiden merenkuluviranomaisten ja Det Norske Veritaksen kesken. Sen kehittäminen on kuitenkin päättynyt 1990-luvun alkupuolella. Tämän jälkeen VTT Expert Services Oy, joka oli Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n tytäryhtiö, on kehittänyt ammattiveneohjeiston, jossa Pohjoismaista venenormistoa on kehitetty edelleen ja joka pohjautuu lisäksi muun muassa ISO-standardeihin. Ammattiveneohjeistoon sisältyy muun muassa tiettyjä lisämerkintöjä, kuten lisämerkintä ”öljyntorjunta”. VTT Expert Services Oy:n omistuspohja on vaihtunut 1.6.2018 ja sen nimi on muuttunut Eurofins Expert Services Oy:ksi.

2.2.2 Tuotannon sertifikaatit

ISO-9001 on kansainvälinen tuotannon laadunhallinnan standardi. ISO-9001 sertifikaatti on kaikkien toimialojen ja kaiken tyyppisten yritysten yhteinen prosessilähtöinen Suunnittelun ja tuotannon laadunvarmistuksen sertifikaatti, jonka saadakseen yritys on saanut hyväksytettyä riippumattoman kolmannen osapuolen hyväksynnän johtamisjärjestelmässä ja osoittaa että laadunhallinnan periaatteita noudatetaan organisaatiossa tai yrityksessä.

ISO-3438-2 sertifikaatti on metallien sulahitsauksesta kertova laatustandardi. Ilman lisärajoituksia ISO-3438-2 standardi kattaa kaiken yrityksessä tapahtuvan hitsaustuotannon, myös asennustyöt, jotka tapahtuvat yrityksen toimipaikan ulkopuolella. Sertifikaattia valvotaan määräaikaistarkastuksilla.

ISO-14001 on ympäristöjohtamisen standardisarja. ISO-14001 standardisarjan avulla yritykset määrittelevät resurssit, prosessit ja menetelmät, joiden avulla organisaatio pystyy noudattamaan sitä sitovia ympäristötavoitteita ja parantamaan ympäristönsuojelunsa tasoa. Standardin saamisen edellytyksenä yrityksen on tarkasteltava ilmansaasteita, veden käyttöä ja päästöjä veteen, jätehuoltoa, maaperän saastumista, raaka-aineiden ja energian käyttöä sekä resurssitehokkuutta.

ISO-45001 on kansainvälinen, kaikkien toimialojen ja erilaisten yritysten yhteinen työterveyttä ja työturvallisuutta koskeva kansainvälinen standardi. Monissa maissa työterveyshuollon ja työturvallisuuden hallintajärjestelmä on pakollinen ja lakisääteinen. ISO-45001 standardi kertoo yrityksellä olevan lain ja vaatimusten mukainen työterveyden ja työturvallisuuden hallintajärjestelmä.

AQAP-2110 standardi on NATO:n kehittämä laadunhallintajärjestelmä, joka pohjautuu ISO 9001 -standardiin, mutta asettaa sille lisävaatimuksia. AQAP - 2110 tarkoituksena on varmistaa laatu puolustustuotteita ja -palveluita hankittaessa. AQAP-julkaisut ovat osana NATO-maiden keskinäistä materiaalinhankintaa. Muun muassa Suomen puolustusvoimat edellyttävät AQAP-järjestelmän mukaista toimintaa puolustusmateriaalin toimittajilta. AQAP-järjestelmän vaatimukset koskevat myös alihankkijoita ja vaatimukset koskevat koko alihankintaketjua.

GQA-laadunvarmistuksella (GQA = Government Quality Assurance) tarkoitetaan puolustusvoimien ja puolustushallinnon tekemää työtä, jonka avulla varmistetaan laadun ja sopimuksen vaatimusten täyttyminen. GQA-laadunvarmistuksessa seurataan toimittajan tuotantoa ja toimintaa, sekä arvioidaan toimittajan näyttöä sen toteutumisesta.

3 Pienalusten valmistusprosessi

3.1 Suunnittelu

Yritysten suunnittelutyö on tasapuolisesti jakautunut, sen mukaan käyttääkö yritys ulkopuolisten suunnittelutoimistojen ostopalveluna vai onko yrityksellä oma suunnitteluosasto. Osassa yrityksiä käytetään lähes yksinomaan ulkopuolisia suunnittelutoimistoja ja yrityksen tehtäväksi jää ainoastaan piirustusten ja suunnitelmien tarkastaminen sekä mahdollinen puutteiden täydentäminen. Toisilla yrityksillä on oma suunnitteluosasto, joka laatii kaikki vaadittavat dokumentit piirustuksineen. Oman suunnitteluosaston käytössä on etuina yrityksen sisäinen tiedonkulku ja mahdollisten suunnitelmamuutosten läpivieminen nopeallakin aikataululla. Osa yrityksistä käyttää pelkästään ulkopuolisia suunnittelutoimistoja. Ulkopuolisten suunnittelutoimistojen käyttöä puoltaa niiden mahdollinen erikoistuminen juuri tarpeen mukaiseen osaamiseen ja mahdolliseen suunnittelukokemukseen etenkin suunniteltaessa yksittäiskappaleita tai kokonaan uutta alustyyppiä.

Suunnittelu alkaa aina siitä, kun tilaaja on esittänyt toiveensa ja vaatimuksesta aluksesta. Näiden tietojen pohjalta luodaan lähtökohta suunnittelulle. Luonnosvaiheessa aluksesta tehdään useita kaksiulotteisia kuvia, joiden avulla luodaan konseptisuunnitelma. Konseptisuunnitelmalla tarkoitetaan aluksen toteutusmahdollisuuden tutkimista, jossa arvioidaan projektin hinta, rakenteiden alustavaa toteuttamista ja sen soveltuvuutta suunniteltuun käyttötarkoitukseen. Konseptisuunnitelmassa alus saa myös rakenteelliset mahdollisuudet sekä hinta rakentamisen toteutukselle ja aluksen käytölle sen suunniteltuun tarkoitukseen. Konseptivaiheessa suunniteltua alusta myös verrataan olemassa oleviin vastaaviin aluksiin. Valmiissa konseptisuunnitelmassa on oikeanlainen kuva aluksesta, varustelusta, teknisistä ominaisuuksista. Konseptivaiheen suunnittelussa on tietysti otettava huomioon myös turvallisuus, toimivuus ja noudatettavat säännöt ja määräykset. Konseptivaiheen kanssa tehdään usein

samaan perussuunnitelmaa ja ensimmäiset 2-ulotteiset kuvat muodostuvat samaan aikaan.

Konseptivaiheen jälkeen tilaaja tutustuu suunnitelmaan ja sitä saatetaan muuttaa ja tarkentaa moneen kertaankin. Valmiiseen perussuunnitelmaan pitää selvittää ja useita toiminnallisuuden ja turvallisuuden kannalta tärkeitä asioita. Suunnitelman sisältöön tekniset ratkaisut, moottorit apulaitteineen, valittu propulsio, toimintasäde, toimintaympäristö ja sen tuomat vaatimukset. Hydrodynaamiset laskennat, luokituslaitoksen vaatimukset ja turvallisuussäännöt on tässä vaiheessa oltava selvillä. (Babiczy 2020).

Monista vaatimuksista tai toteutuksesta ei kuitenkaan vielä tässä vaiheessa tiedetä, eikä niistä tehdä päätöksiä vaan suunnittelua jatketaan tulevilla vaiheilla, joten lopullista ratkaisua ei vielä vaadita.

Alustavaa suunnitelmaa ja konseptisuunnitelmaa yhdessä voidaan nimittää perussuunnitelmaksi.

Perussuunnittelun aikana tilaajalla, viranomaisilla ja luokituslaitoksella hyväksytetään rungon, tilojen ja järjestelmien suunnittelut. Lisäksi hyväksynnät haetaan keskeisimmille laitteistoille ja materiaaleille. Suunnitteluaineistojen hyväksyttäminen on oleellinen osa tätä suunnitteluvaihetta ja usein aineiston pohjalta tehdään uudelleensuunnittelua jonkin edellä mainitun tahon toivomuksesta tai tehdään haluttuja muutoksia ja selvityksiä aineistoihin liittyen. Aineistoissa olevat luokituspiirustukset sisältävät tärkeimmät mitoitus ja rakenneratkaisut rungosta. Luokitus suunnittelussa ja -laskelmissa on seurattava luokituslaitosten sääntöjä ja suunnittelu on tehtävä sääntöjen mukaan, joista luokituslaitos konsultoi tarvittaessa suunnittelijoita. Perussuunnittelun aikana kuvia ja piirustuksia syntyy todella paljon, isoa alusta varten jopa 200 kappaletta. (Kosola 2000)

Perussuunnitteluvaiheessa luodaan aluksesta pääkuvat, järjestelykaavio eli ”general arrangement” ja alustavat kaaviot sähkö ja putkivedoista. Perussuunnittelussa tehdään kaavioiden lisäksi rungon muodoista linjasuunnitelmat, rungon tilojen sijoittelu, kapasiteetilaskelmat ja

lujuuslaskenta, johon sisältyy materiaalivalinnat niiden mitoitus. Kaikki perussuunnitelmassa tehdyt ratkaisut ja valinnat on myös hyväksyttävä tilaajalla ja luokituslaitoksella niiden oikeellisuuden ja sääntöjen mukaisuuden varmistamiseksi. (Baoyu & Zeng 2019.)

Lopputuloksena perussuunnittelusta syntyvät hyväksytyt järjestelypiirustukset, kaaviot, laskelmat ja rungon luokituspiirustukset, komponenttien tekniset määritykset ja osa tilauksista. Hintavimmat hankinnat, kuten esimerkiksi propulsiolaitteistot ja pääkoneet pitäisi päättää ja tilata perussuunnitteluvaiheessa. Perussuunnittelun loppuvaiheessa pidettävässä suunnittelukatselmuksessa todetaan hyväksynnät, aikataulutilanne ja hankinnat. Samalla kirjataan havaitut poikkeukset ja puutteet, jotka usein odottavat lopullista hyväksyntää tai ovat muuten vain avoinna ja sovitaan, miten näiden kanssa toimitaan jatkossa. (Kosola, 2000)

Perussuunnitelman hyväksynnän jälkeen suunnittelua jatketaan yksityiskohtaisemmin valmistussuunnitteluvaiheessa.

Valmissuunnitteluvaiheessa piirretään ja mallinnetaan aluksen valmistukseen tarvittavat tuotantoaineistot ja kolmiulotteiset. Usein valmistussuunnittelu aloitetaan ja se kulkee perussuunnittelun kanssa rinnakkain. Perussuunnittelun ja valmistussuunnittelun lomittain tekemisellä varmistetaan suunnitelmien toteutuskelpoisuus tuotannossa ja käytännössä, sekä varmistetaan että tuotanto pystytään aloittamaan jo suunnitteluvaiheen aikana tai mahdollisimman nopeasti sen valmistuttua.

Valmistussuunnittelun aikana tuotetaan työpiirustukset, osaluettelot, lopulliset materiaalien hankinnat ja päivitetty perussuunnitteluaineistot sekä luovutuspiirustukset. (Kosola 2000)

Valmistussuunnittelussa perussuunnitteluaineistoihin tarkennetaan rakenneratkaisut, liitokset viisteineen ja hitsauksineen sekä tarkat tiedot läpivienneistä, aukoista ja niiden vahvistuksista. Huomioon on otettava myös paikallisvahvistukset niitä tarvittavissa paikoissa, kuten raskaiden koneikkojen alla. (Mano, 2010)

Valmistussuunnittelussa

Suunnitelmat on aina hyväksyttävä luokituslaitoksella. Näin varmistetaan hyvissä ajoin, että suunnitelmassa ei ole ongelmia sääntöjen valossa. Yhdessä konsepti- ja alustavasuunnitelma voidaan nimittää perussuunnitelmaksi, jonka pohjalta tilaaja ja telakka aloittavat rakentamaan aluksen rakennussopimuksen. Siihen huomioidaan ehdot laivarakennussopimukset toteuttamiselle, rakentamisen rahoittamiselle kuin myös muut tärkeät lausekkeet.

(Baoyu & Zeng 2019.)

3.1.1 Hitsaus

Alumiinista valmistettujen pienalusten valmistuksessa on yleisesti käytössä kaksi hitsausmenetelmää. Alusten metallirakenteet hitsataan suurimmaksi osaksi MIG-hitsauksella, sen paremman täyttävyyden ja tunkeman vuoksi. TIG-hitsausta käytetään pienemmissä kohteissa, kuten näkyvissä yksityiskohdissa kuten kaiteissa ja putkikokoonpanoissa. Alumiinialusten hitsaus on suurelta osin käsityötä ja myös suurin osa yksittäiskappaleina tehtävien alusten hitseistä hitsataan käsin.

Yleisin ja tärkein hitsausprosessien ryhmä on kaasukaarihitsaus (MIG-, TIG- ja plasmahitsaus), joka on syrjäyttänyt puikko- ja kaasuhitsauksen. (Lukkari, 2001)

MIG-hitsaus tulee englannin kielen sanoista metal arc inert gas (metalli, inertti, kaasu). Sula metalli siirtyy langan kärjestä pieninä pisaroina valokaaren läpi hitsisulaan. Langansyöttölaite syöttää hitsauslankaa tasaisella nopeudella hitsauspistoolin kosketussuuttimen reiästä valokaareen. Hitsausvirta tulee virtajohdinta myöten hitsauspistoolin päässä olevaan kosketussuuttimeen, josta se siirtyy hitsauslankaan. (Lukkari, 2001)

Alumiinin, kuten muidenkin ei-rautametallien hitsaus on MIG-hitsausta, koska on käytettävä inerttiä suojakaasua, argonia tai argonin ja heliumin seoskaasua. (Lukkari,2001)

Lyhenne TIG tulee englannin kielen sanoista tungsten arc inert (volframi, inertti, kaasu). Suojakaasu (argon) suojaa hitsisulan lisäksi kuumaa elektrodin kärkeä hapettumiselta. TIG-hitsausta voidaan tehdä lisäaineella tai myös ilman lisäainetta. TIG-hitsauksen etuja ovat muun muassa hyvä sulan ja tunkeman hallinta. Ohuiden ainepaksuuksien hitsaus on mahdollista myös ilman lisäaineita. Hyvä valokaaren puhdistuskyky on myös yksi TIG-hitsauksen eduista. (Lukkari,2001)

Hitsausprosessi on kuonaton ja juoksuhteeton, hitsin ulkonäkö, muoto ja tiiveys ovat hyviä. Roiskeita ei synny ja TIG-hitsaus on erittäin kätevä myös pienissä korjaushitsauksissa. Haittoja ovat pieni tuottavuus suurien railojen täyttämässä, sekä suhteellisen suuri lämmöntuonti ja siitä johtuvat muodonmuutokset. (Lukkari,2001)

Hitsauksen jälkeisten lämmöstä johtuvien muodonmuutosten poistamiseen käytetään mekaanisista menetelmistä hakkaamista, hiontaa ja TIG-käsittelyä. TIG-käsittely on todettu toimivaksi ja sillä pystyy tasaamaan hitsauksesta syntyneitä jännityksiä. (Kosomaa, 2023)

3.1.2 Materiaalit

Erilaisia alumiinilaatuja on todella iso määrä. Kaikki alumiinilaadut eivät sovellu alumiinisten alusten valmistukseen.

Yleisesti levyateriaalina aluksissa käytetään alumiinilaatua AW-5083, AW-5086 ja AW-5754. 5000- sarjan alumiinit ovat pääseosaineeltaan magnesiumia. Magnesium parantaa alumiiniseoksen lujuutta, mutta heikentää muovattavuutta. Lujuutta voidaan kasvattaa lisäämällä seokseen mangaania tai kromia. Hitsattavuudeltaan 5000-sarjan alumiinit ovat hyviä ja niiden korroosionkesto on erinomainen, minkä takia niitä usein kutsutaan merialumiineiksi. (Lukkari, 2001)

Alumiinisissa aluksissa käytetään paljon erilaisia valmiita pursottamalla valmistettuja alumiiniprofiileja. Yleisesti profiileissa käytettyjä alumiinilaatuja ovat AW-6060 ja AW-6063. 6000-sarjan alumiineissa on pääseosaineena magnesiumia ja piitä. 6000-sarjan alumiinit myös karkaistaan, jonka avulla

6000-sarjan alumiineille saadaan hyvät lujuusominaisuudet ja ne soveltuvat hyvin pursottamalla tehtyihin profiileihin ja hitsattavaksi. (Lukkari, 2001)

Aluksiin käytettävä levyateriaali tulee suurimmaksi osaksi valmiiksi leikattuina hyvin mittatarkkoina leikkeinä. Levyjen leikkaukseen käytetään vesi- tai laserleikkuria. Laserleikkauksessa on myös mahdollista merkitä, vaikka kansilevyihin kansivarusteiden paikat, jolloin niiden sijoittaminen ja asemointi helpottuu huomattavasti. Yksittäisiä levyjä tai pienempiä osia leikataan myös omana työnä levyleikkurilla. Levyjen mahdollinen muokkaus ja esimerkiksi laitalevyihin mahdollisesti tarvittava kaarevuus tehdään omana työnä käyttäen perinteisiä konepajan koneita, kuten levymankeja ja särmäyspuristinta.

Valmistukseen käytettävät latat ja pursottamalla valmistetut profiilit hankitaan kokonaisina salkoina ja katkaistaan oikeaan pituuteen. Katkaisun jälkeen ne taivutetaan erilaisilla puristimilla ja muotoraudan taivuttimella tarkoituksensa sopiviksi. (Kosomaa, 2023)

3.1.3 runko

Alumiinisten pienalusten rungot koostuvat useista rakenneosista ja niiden muoto sekä määrä vaihtelee valmistajan, aluksen koon ja alustyyppin mukaan. Runkorakenne koostuu yleensä rakenneosista, joita on köli, pituussuuntaiset jäykisteet, poikittaiset kaaret, mahdolliset laipiot, peräpeilin levy tai levyt ja pohja-, kylki- ja kansilevyt sekä mahdolliset nousulistat.

Tässä opinnäytetyössä käsiteltävien alumiinisten alusten kokoluokka on niin suuri, että erittäin harvoin on käytössä varsinaista hitsausjigijä, vaan alukset tehdään yksittäin tilauksesta. Isompien runkojen kohdalla osien määrä ja ainevahvuudet ovat usein niin suuria, että hitsauksen tarkoituksesta tulisi kohtuuttoman iso ja monimutkainen. Useampien samanlaisten runkojenkaan kokoonpanossa ei useinkaan ole taloudellista valmistaa muuta kuin erilaisia tukia, joilla saadaan varmistettua runkojen samanlaisuus ja siten valmistuksen laatu.

Alumiiniset pienaluksen rungot voidaan koota ylösalaisin tai oikeinpäin.

3.1.4 Ylösalaisin koottu alumiinirunko

Rungon koonti aloitetaan valmistamalla sopivan kokoinen ja tarkoitukseen sopiva taso, jonka päällä rakenneosat saadaan tukevasti ja mittatarkasti aseteltua paikoilleen ja toisiaan vasten.

Ylösalaisin koottavassa rungossa asetetaan kansilevyt alimmaiseksi, joiden päälle ruvetaan asettamaan rungon jäykisteitä. Oikeinpäin koottaessa ensimmäisenä asetetaan paikoilleen köli, joka tuetaan riittävästi, jotta siihen voidaan ruveta liittämään kaaritusta.

Ylösalaisin koottavassa rungossa kootaan ensimmäisenä kansilevyt ja niiden mahdolliset jäykisteet, kansilevyt kootaan tässä vaiheessa yhdeksi isoksi osakokonaisuudeksi. Kansilevyjen päälle asetetaan ja kootaan poikittain kaaritus, joka muodostuu rungon kaarien mallisista alumiinileikkeistä. Leikkeiden laitapellitystä vasten tulevaan pintaa hitsataan alumiinilatta, jolla saavutetaan lisää pinta-alaa laitapellitystä vasten. Alumiinilatan lisäämisellä saavutetaan leveämpi pinta, jonka tulee laitalevyjä vasten, jolloin hitsauksessa syntyvä lämpömuodonmuutos jakautuu isommalle alueelle ja rungon pinnasta tulee siistimpi ja lämpömuodonmuutos jää vähemmän näkyväksi.

Poikittaisen kaarituksen päälle kiinnitetään hitsaamalla pitkittäiset jäykisteet. Pitkittäiset jäykisteet ovat käytännössä aina T- tai L mallisia alumiini pursote profiileja. Pitkittäiset jäykisteet joudutaan käytännössä aina taivuttamaan ennen asennusta, jotta ne noudattaisivat mahdollisimman hyvin valmiin rungon muotoja. Pitkittäiset jäykisteet hitsataan poikittaiseen kaaritukseen. Poikittaisessa kaaritukseen on jo leikkausvaiheessa tehty oikeisiin kohtiin kolot pitkittäisille jäykisteille, jolloin muodostuu itsepaikoittuva liitos, joka on hyvin mittatarkka ja nopea asentaa, koska jäykisteiden paikkojen mittausta ei käytännössä tarvita.

Aluksen laipiot jäykisteineen asetetaan myös paikoilleen tässä vaiheessa. Usein laipiot ovat kaarijaon kanssa samalla pituussuuntaisella jaolla, jolloin laipion kohdalta jätetään pois kaari, pitkittäiset jäykisteet kulkevat myös laipioiden läpi jatkuvina.

Alumiiniveneen rungon osat hitsataan toisiinsa kiinni siltahitseillä, joiden sijoitustiheys vaihtelee eri kohdissa runkorakennetta n. 30–100 mm välillä. Silloitus tehdään osia asetettaessa osat tai osakokoonpanot runkoon, jolloin rungon kasaustapa määrittää silloitusjärjestyksen. Silloitus myös pitää kokoonpanon kasassa ja näin saadaan vähennettyä väliaikaisten tukien käyttöä mahdollisimman paljon. Varsinaisten runko-osien silloitusten lisäksi muodonmuutosten kannalta kriittisiin kohtiin rakennetta hitsataan usein erilaisia väliaikaisia apujäykisteitä.

Silloittamalla hitsattu kaarijärjestelmä ja tukijärjestelmä kansilevyineen ja laipioineen voidaan hitsata valmiiksi kokoonpanon ollessa tässä vaiheessa.

Valmiin kaarituksen päälle asetetaan pohja- ja kylkilevyt, jotka silloitetaan hitsaamalla ja erilaisten puristimien avulla paikoilleen. Osa levyistä on suorina ja ne painuvat ja painetaan ilman esitaivutusta paikoilleen kaarituksen päälle. Osaan levyistä saatetaan joutua tekemään esitaivutusta tai muokkausta. Levyjen esitaivutus tehdään levyä lämmittämättä tarpeen mukaan levymankeilla, särmäyspuristimella tai molemmilla halutun kaarevuuden tai muodon aikaansaamiseksi.

Levyjen asettamisen ja niiden oikean asemoinnin jälkeen levyt hitsataan kiinni kaarijärjestelmään ja toisiinsa. (Skriko, 2011)

3.1.5 Oikeinpäin koottu alumiinirunko

Oikeinpäin koottavassa alumiinirungossa työvaiheet tehdään käytännössä päinvastaisessa järjestyksessä kuin ylösalaisin koottavassa rungossa. Koontia varten valmistetulle alustalle asennetaan ensin köli, johon kiinnitetään poikittaisen kaaret, jotka on oikeinpäin koottavassa rungossa tuettava tukevasti ja huolellisesti paikalleen päinvastoin, kun ylösalaisin koottavassa rungossa. Koska oikein päin koottavassa rungossa kansilevyt liitetään vasta viimeisenä, on myös kaarien yläpäiden oikea sijainti ja etäisyys toisistaan varmistettava tukemalla ne huolellisesti oikeisiin kohtiin. Rungon oikeinpäin kokoamisessa on rakenneosia tuettava todella paljon ja kaikki osat on sijoitettava irrallisina pintapellityksen sisään. (Skriko, 2011)

3.1.6 Muut rakenteet

Muihin rakenteisiin kuuluu esimerkiksi kansirakenteet ja ohjaamot. Erilliset isot rakenteet pyritään tekemään edes metallivalmiiksi ennen runkoon asentamista. Yleinen pyrkimys on saada kannelle kiinnitettävät rakenteet kokonaan valmiiksi ennen niiden kiinnittämistä. Ovi- ja ikkuna-asennukset, maalaus ja varustelu on huomattavasti helpompaa tehdä kokonaisuuden ollessa erillään, koska silloin niitä voidaan valmistaa ja varustella rungon valmiusasteesta riippumatta. Ohjaamorakenteisiin asennetaan usein paljon erilaisia varusteita ja tekniikkaa, näiden asentaminen maan tasalla eikä ohjaamon ollessa rungon päällä on tehokkaampaa ja turvallisempaa. (Kosomaa,2023)

3.1.7 Hitsausjärjestys

Alumiinisten runkojen hitsaukseen ei ole olemassa mitään yleispätevää ohjetta, vaan etenkin suurempien tilauksesta tehtävien runkojen kokoonpanossa hitsausjärjestys on aina tapauskohtainen.

Yleisesti kuitenkin ylösalaisin kootussa rungossa silloitetaan ensin kaari- ja tukirakenne rakenneosat ja laipiot kerrallaan. Yleisesti ei ole tarvetta hitsata jäykisteitä kokohitsillä vaan riittävä silloitus riittää tarvittavan lujuuden saavuttamiseksi. Tällöin myös lämmöstä johtuvat muutokset ovat vähäisempiä. Sitten pintalevyt silloitetaan ja hitsataan jäykisterakenteeseen. Sen jälkeen pintalevyt vasta hitsataan toisiinsa kiinni. Pintalevyjen silloitukset avataan riittävästi, jolla varmistetaan koko mittaisten hitsien varmasti riittävä tunkeutuminen koko liitospituudelta. Ennen vastapuolen kokomittaista hitsiä avataan liitos vastapuolen juureen asti, jolla voidaan varmistaa hitsin riittävä tunkeutuminen ja välttyään juurivirheiltä. (Skriko,2011)

3.2 Pintakäsittely

Metallirakenteisten pienalusten yleisin pintakäsittely on maalaus. Maalaus toteutetaan käytännössä aina märkämaalauksena alusten koon vuoksi. Pintakäsittely tehdään kokoonpanon ja hitsauksen valmistuttua ennen varusteluvaiheen alkamista. Käytännössä maalausta joudutaan aina paikkaamaan koska varusteluvaiheessa huomataan kokoonpanossa tapahtuneita puutteita ja maalia joudutaan poistamaan esimerkiksi hitsausta varten. Paikkamaalaukset tehdään sivelynä tai telaamalla.

3.2.1 Esikäsittely

Valmiiksi hitsattu runko suihkupuhdistetaan eli hiekkapuhalletaan. Suihkupuhdistuksessa riittää uusille alumiinirungoille suihkupuhdistusluokka SaS, jolloin pinta on puhdistuksen jälkeen tasaisen himmeä kauttaaltaan. Alumiinin suihkupuhdistusluokka voi olla huomattavan paljon kevyempi kuin esimerkiksi teräksen, koska alumiinin pinnalla ei ole valssihilsettä eikä korroosion tuomia epäpuhtauksia. Alumiinin suihkupuhdistukseen käytetään luonnonhiekkaa tai kuonahiekkaa. Kumpikaan alumiinille yleisesti käytettävistä suihkupuhdistusmateriaaleista ei ole kierrätettävää, vaan alumiinin suihkupuhdistusaineet ovat käytön jälkeen jätettä. Hyvin harvoin on käytössä riittävän suuria tiloja kokonaisten runkojen puhdistukseen sisätiloissa vaan puhdistus tapahtuu ulkona. Ulkona tehtävä esikäsittely tuo omat vaatimuksensa pölyn ja puhallusjätteen käsittelylle. Suihkupuhdistuksen jälkeen puhdistetuista osista poistetaan pöly ja esimerkiksi koteloihin kertynyt puhallusmateriaali. Puhdistus tehdään mekaanisesti ja paineilmalla puhaltamalla. Osa aluksen osista saattaa olla niin pieniä tai vaikeasti suihkupuhdistettavissa että ne on hiottava ennen pintakäsittelyä. Hionta voidaan tehdä käytännössä millä tahansa hiontamenetelmällä käsin tai koneellisesti.

(Teräsrakenneyhdistys,2023)

3.2.2 Maalaus

Pintakäsittelynä maalaus on ehdottomasti yleisin pintakäsittelymenetelmä alumiinisille aluksille. Maalikerrokset levitetään ruiskuttamalla, mahdollisiin ahtaisiin tai vaikeapääsyisiin paikkoihin telaamalla tai sivelemällä. Useat maalivalmistajat suosittelevat maalin levittämiseen korkeapaineruiskutusta. Korkeapaineruiskutuksessa maali pumpataan hyvin suurella paineella suuttimen läpi. Maali hajoaa viuhkan malliseksi sumuksi suuren paineen ja suuttimen ansiosta. Suuttimen valinnalla voidaan vaikuttaa viuhkan muotoon ja suuttimesta tulevan maalin määrään. Korkeapaineruiskutuksessa ei käytetä ollenkaan ilmaa viuhkan muodostukseen, joten maalisumun muodostuminen on vähäisempää. Korkeapaineruiskutuksessa käytettävät suutinkoot ovat suuria, joten maalin voi olla viskositeetiltaan paksumpaa ja yhdellä maalauskerroksella saavutettavat kalvopaksuudet paksumpia kuin muilla ruiskutusmenetelmillä. Alumiinialusten maalaukseen tarkoitettuja teollisuusmaalit on kehitetty levitettäväksi korkeapaineruiskutuksella ja niiden ominaisuudet ovat siihen sopivat.

Toinen käytössä oleva ruiskutustapa on hajotusilmaruiskutus.

Hajotusilmaruiskutuksessa suuttimesta tai suuttimen sivuilta tulee hajotusilma, joka levittää maalin sumuksi ja viuhkaksi. Hajotusilmaruiskutuksessa maalin mukana tulee ilmaa ja maalisumua muodostuu runsaasti. Suutinkoot ovat myös pienempiä kuin korkeapaineruiskutuksessa, joten maali viskositeetti on pienempi ja maalikerrokset jäävät ohuemmiksi. Hajotusilmaruiskutus onkin käytännöllisempi menetelmä pienemmille osille ja kokonaisuuksille.

Hajotusilmaruiskutuksella pinnanlaatu on parempi, mikä saattaa jossain osissa olla merkityksellistä. kulmiin ja hankaliin paikkoihin, koska sumussa ei ole mukana lainkaan ilmaa. (Pihlasto,2015)

3.2.3 Maalit

Alumiinirunkoisten alusten maalauksessa pohjamaalina käytetään kaksikomponenttista epoksipohjamaalia. Markkinoilla on myös muun tyyppisiä pohjamaaleja, jotka soveltuvat alumiinin pohjamaalaukseen mutta käytäntö on osoittanut epoksipohjamaalin luotettavaksi ja kestäväksi ratkaisuksi. Lisäksi epoksipohjamaalin hyöty on sen soveltuvuus päälle maalattavaksi lähes kaikilla maalityypeillä. Suositus maalauksella on kaksi kerrosta, jolla saavutetaan riittävä maalikalvonpaksuus. Epoksipohjamaali suojelee myös osaltaan alumiinirunkoa korroosiolta, eristämällä rungon merivedestä. Pohjamaalaus onkin siksi tehtävä huolellisesti ja suositusten mukaan. Pohjamaalin valinnassa on otettava huomioon pintamaalien ja antifoulingmaalien laatu ja sopivuus muiden valittujen maalien pohjaksi. Kaikki markkinoilla olevat maalit eivät myöskään sovellu alumiinille, vaan maaleja valikoidessa on huolehdittava soveltuvuudesta alumiinille. Pintamaaleina teollisuudessa käytetään polyuretaani-, epoksi- ja alkydimaaleja tai näiden yhdistelmiä. Pintamaalin valintaan vaikuttaa eniten asiakkaan toivomukset ja vaatimukset, sekä maalilta toivotut ominaisuudet. (

3.3 Varustelu

Aluksen varustelu alkaa jo runkomateriaalien saapuessa tuotantoon. Rungon kokoamisvaiheessa tehdään niin sanottu kuumavarustelu, jolla tarkoitetaan runkoon hitsattavan varustelun asennus. Kuumavarusteluun kuuluu rungon hitsattavat läpiviennit, varusteiden telineitä ja petejä, sekä johtojen ja putkien kannakkeita. Rungon koonnissa tehdään myös putkituksia ja moottoreiden ja apulaitteiden petien ja niihin liittyvien osakokonaisuuksien asennuksen valmistelua. Kuumavarustelussa olisi tavoitteena saada kaikki hitsattavat osat, telineet ja kannakkeet valmiiksi ennen maalausta. Alumiinirungon pakolliset läpiviennit pyritään tekemään hitsaamalla ja samasta materiaalista kuin runkokin. Hitsatut läpiviennit ovat varmasti tiiviitä ja minimoidaan erilaisten materiaalien yhdistämisestä aiheutuvan galvaanisen korroosion riskiä.

Rungon maalauksen jälkeen alkaa varsinainen varusteluvaihe. Varustelu aloitetaan rungon mahdollisella sisäpuolisella eristämällä ja palosuojauksella. Alumiinirunkoja ei maalata sisäpuolelta. Eristämiseen käytetään mineraalivillaa, eristemassoja sekä eristevaahoja. Maalattuun runkoon asennetaan tekniikka, sähköt ja putkitukset. Alumiinisten alusten varustelussa kiinnitetään erityistä huomiota sähköasennuksiin. Huolimattomat tai virheelliset asennukset saattavat johtaa galvaaniseen korroosioon, missä alumiini epäjalompana metallina saattaa syöpyä nopeastikin. (Kosomaa, 2023)

Galvaanisen korroosion riski koskee myös kaikki alukseen kiinnitettäviä metalliosia tai rakenteita. Rakenteissa suositellaan käyttämään EN1999-1-1 mukaisia ruuveja, pultteja ja muita kiinnikkeitä, jotka on tehty A4 316 – haponkestävästä materiaalista. Alumiiniseen alukseen joudutaan asentamaan myös suositusten vastaisista materiaaleista valmistettuja laitteita. Moottori ja apulaitteiden materiaalit on yksi iso kokonaisuus minkä materiaalivalintoihin alumiinialuksia valmistettaessa ei ole mahdollisuutta vaikuttaa. Moottoriasennuksissa pyritään eristämään ne kokonaan aluksen rungosta. Eristäminen tapahtuu asentamalla moottorin ja moottoripedin väliin eristeet ja maadoittamalla asennettavat komponentit erityisen huolellisesti.

Galvaanista korroosiota esiintyy silloin, kun samassa elektrolyytissä on kaksi eri metallia sähköisessä kosketuksessa toisiinsa. Tällöin elektrodipotentiaaliltaan alemmasta (epäjalommasta) metallista muodostuu anodi ja se syöpyy. Vastaavasti elektrodipotentiaaliltaan korkeammasta (jalommasta) muodostuu katodi ja sen pinnalla tapahtuu pelkistymistä. Merivesi toimii hyvin elektrolyytinä ja metalliparien käyttäytymistä voidaan arvioida määritellyn potentiaalisarjan avulla Galvaaninen korroosio muodostaa merkittävän riskin alumiinirunkoisissa aluksissa. Varsinkin propulsiojärjestelmän vedenalaisten osien läheisyydessä korroosiovaara on ilmeinen: Potkuri- ja jetti akselit tuottavat pyöriessään staattisen sähkövarauksen, joka purkautuessaan aiheuttaa vaurioita akseliläpivienteihin ja/tai kannatinlaakereihin. Tämän vuoksi niitä ei voida eristää sähköisesti rungosta, vaan ne tulee olla maadoitettu. (Saarinen,2018)

4 Yhteenveto

Opinnäytetyön tarkoituksen oli tutkia alumiinisten pienalusten valmistusprosessia käytännön läheisesti. Opinnäytetyössä sain selvitettyä tärkeimmät työvaiheet ja niihin oleellisesti liittyvät työt. Sain kerättyä niistä riittävästi tietoja ja tehtyä jokaisesta vaiheesta yhtä laajan kuvauksen. Tärkeäksi ja hyväksi lähteeksi osoittautuivat aikaisemmin tehdyt opinnäyteyöt ja vierailu Uudenkaupungin työveneellä. Kirjallisina lähteinä on muutamia laivatekniikkaa käsitteleviä teoksia, joiden sisältöä voi soveltaa etenkin pienalusten suunnitteluun, koska prosessi on suurilta osilta täysin samanlainen. Oman kokemuksen ja tiedon tuominen työhön on mielestäni onnistunut hyvin.

Aiheen laajuus on valtava ja kaiken tiedon tuominen työhön on todella haastavaa. Aihetta olisi mahdollista käsitellä vaikka jokaista tuotantovaihetta erikseen käsittelevällä jatkotutkimuksilla.

Lähteet

Alumeco Oy. asiantuntemus-ja-tekniikka, alumiinin-tiedot. [Viitattu 22.11.2023]

Saatavissa: <https://www.alumeco.fi/asiantuntemus-ja-tekniikka/alumiinin-tiedot/seoksen-kaytto>

Ammattiveneohjeisto. 2021. [Viitattu 19.11.2023]

Saatavilla: https://cdnmedia.eurofins.com/european-east/media/2858345/eurofinsexpertservices_ammattiveneohjeisto_2021.pdf.

Babicz, J. 2020. Ship design in practice. Gdańsk: Baobab naval consultancy.

Baoyu, N. & Zeng, L. 2019. Encyclopedia of Ocean Engineering. Ship Design Process. Singapore: Springer. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://doi.org/10.1007/978-981-10-6963-5_36-1

Kosola, P. 2000. Laivatekniikka. Modernin laivanrakennuksen käsikirja. Jyväskylä: Gummerus.

Kosomaa, J. 2023. Operatiivinen johtaja. Yritysvierailu. 30.10.2023. Uudenkaupungin työvene oy.

Lukkari, J. Alumiinit ja niiden hitsaus. Tampere: Tammerpaino Oy, 2001. ISBN 951-817-756-2

Pihlasto, M. 2015. Alusten pintojen käsittely ja maalaus. Opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Merenkulun koulutusohjelma. (AMK).

Pouttu, K. 2016. Suunnitteluprosessin kehittäminen sarjalaivoissa – Rungon valmistussuunnittelu. Opinnäytetyö. Turun ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikka. Meritekniikka (AMK).

https://puolustusvoimat.fi/documents/1948673/2267766/GQA_ ja_AQAP_2019.pdf/ [Viitattu 1.11.2023]

Saarinen, M. 2018. Alumiinirunkoisen sota-aluksen korroosiomekanismien tunnistaminen ja ennaltaehkäisy. Opinnäytetyö. Kaakkois-suomen ammattikorkeakoulu. Merenkulun ammattikorkeakoulututkinto. (AMK)

<https://sfs.fi/standardeista/mika-on-standardi/>

<https://sfs.fi/standardeista/tutustu-standardeihin/suosittu-standardit/iso-14000-ymparistojohtamisen-standardisarja/>

<https://www.stat.fi/meta/kas/pienalus.html> 26.9.2023

https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/528/cf92927/Teraspinnan_esikasittely.pdf [Viitattu 15.10.2023]

TRAFI_9321_03_04_01_00_2013_FI_Alusten_runkorakenteet.pdf

Ventomäki, Juuso. 2023. Uuden aluksen hankinta ja käyttöönotto . Opinnäytetyö. Kaakkois-suomen ammattikorkeakoulu. Merenkulun ammattikorkeakoulututkinto. Merenkulun koulutus, Merikapteeni (AMK)

https://menetelmat.tikkurila.fi/ammattilaiset/ratkaisut/menetelmat/veneiden_maalaus/alumiiniveneet [viitattu 23.11.2023]

