

Kimmo Kuosmanen

# KIINTEÄLAPAISEN LAIVAPOTKURIN TUOTANTOPROSESSI

Merenkulun koulutusohjelma

2018

# KIINTEÄLAPAISEN LAIVAPOTKURIN TUOTANTOPROSESSI

Kuosmanen, Kimmo  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Merenkulun koulutusohjelma  
Lokakuu 2018  
Sivumäärä: 23  
Liitteitä: 0

Asiasanat: potkuri, merenkulun valmistustekniikka, laivanrakennus

---

Kilpailukykyisen telakkateollisuuden ylläpitämiseen vaaditaan sekä yritteliäisyyttä, että kykyä innovoida. Suomalaista laivanrakennusprosessia jatkojalostetaan jatkuvasti nopeammaksi, luotettavammaksi ja kustannustehokkaammaksi. 2000-luku on sisältänyt useita eri uudisrakentamisen jättiharppauksia, osin tietoteknisten sovellusten ansiosta. Eräät näistä merkittävimmistä edistysaskelista on otettu potkurituotantotekniikan saralla.

Tässä työssä selvitettiin tämänhetkistä kiinteälapaisen potkurin tuotantoprosessia suunnitteluvaiheesta asennukseen. Työn tarkoituksena on esitellä kunkin prosessiosan työvaiheet selkeästi ja ymmärrettävästi. Lisäksi lukijalle selvennetään nykyisen tuotantometodin etuja verrattuna aiempaan tuotantotapaan.

## MANUFACTURING PROCESS OF SOLID PROPELLER

Kuosmanen, Kimmo

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Sea Captain, Bachelor of Marine Technology

October 2018

Number of pages: 23

Appendices: 0

Keywords: propeller, maritime manufacturing technology, ship building

---

Finnish shipyards have been able to keep up in the race of best competitiveness to build sea going vessels thanks to their industriousness and ability to innovate. The Finnish ship building process is constantly in refinement to make it faster, more reliable as well as taking in the account the best cost efficiency. 21st century has included many constructional advancements, namely thanks to information technology. Some of these steps forward have been taken in the manufacturing technology of propellers.

In this thesis the manufacturing process of solid propeller was investigated from initial design decisions to final installation to a vessel. The purpose of this thesis is to explain the stages of the manufacturing process in a clear manner and explicate the benefits of the methods currently in use over the previous ones.

# SISÄLLYS

KÄSITTEET JA LYHENTEET .....	5
1 JOHDANTO.....	6
2 TUOTANTOPROSESSIN SUUNNITTELUOSUUS .....	7
2.1 Kiinteälapaisesta potkurista yleisesti .....	7
2.2 Tilaajakohtaiset potkuriin vaikuttavat tekijät.....	7
2.2.1 Satamamanöveerauskykyyn vaikuttavat tekijät .....	9
2.2.2 Talvimerenkulun potkuriin kohdistama lisärasite .....	9
2.3 Potkurin CAD-mallinnus .....	10
2.3.1 Hydrodynaamisten ominaisuuksien simulointi .....	11
3 TUOTANTOPROSESSI.....	13
3.1 Siipiprofiilin valmistus.....	13
3.2 Muotin valmistus siipiprofiilin avulla.....	14
3.3 Metalliseos ja valu .....	15
3.4 Valumuotin poisto.....	16
3.5 Lastuava työstö .....	17
3.5.1 Akselireiän työvaiheet.....	17
3.5.2 Lapojen alkuteroitus robotiikan avulla.....	18
3.6 Lapojen hienohionta.....	19
3.7 Korroosionestokäsittely .....	19
4 POTKURIN ASENNUS AKSELIIN .....	20
4.1 Testaus "Blue fit test" .....	20
4.2 Potkurin yhdistäminen akseliin.....	21
5 POHDINTA.....	22
LÄHTEET .....	23

## KÄSITTEET JA LYHENTEET

CAD Computer Aided Design

CFD Computational Fluid Dynamics

CNC Computer Numerical Control

Antifouling Laivoissa käytettävä biologista kasvustoa estävä maali

## 1 JOHDANTO

Nykyisin käytetyt ruuvipotkurit ovat lähes 200-vuotisen kehityksen lopputulos. 1830-luvulla brittiläisten kehittämät prototyypit johtivat potkurityypin läpilyöntiin konekäyttöisissä aluksissa ja lisäksi vuosikymmeniä kestäneisiin kokeiluihin, joissa lapojen kokoa, määrää ja jopa paikkaa vaihdeltiin parhaan lopputuleman löytämiseksi. Potkureiden muoto vähitellen vaakintui – yrityksen ja erehdyksen kautta – vuosisadan loppuun tultaessa, samoihin aikoihin W.J.M. Rankinen kehittämän ideaalipropulsorin matemaattisen teorian kanssa. Aluksiin potkureita tuottivat mestarit kisälleineen ja potkurinvalmistustaito periytyi eteenpäin oppipojille tekemisen, ei teorian, kautta.

1900-luvulla potkurituotantotekniikka kehittyi pitkälti nykyiseen malliinsa. Merkittävin vaikutus potkureihin on ollut nk. potkurisarjoilla, jotka perustuvat vakiogeometriaa varioimalla tehdyistä mallikokeista saatuihin käyrästöihin tai regressioyhtälöihin (Kanerva 1997, 8-4). Soveltamalla näihin potkurisarjoihin uudisrakennettavan laivan tietoja, kykeni potkurin valmistava taho tuottamaan sopivan potkurin laivaan kuin laivaan.

Kuten monella muullakin alalla, ovat 2000-luvun merkittävimmät edistysaskeleet tietoteknisten sovellusten ansiota. Potkurituotannossa se on tarkoittanut suunnittelutyön siirtymistä CAD-mallintamiseen ja työvaiheiden osittaista siirtämistä ihmisiltä roboteille. Intressien keskipisteenä on myös potkurien muotoilun optimoiminen laivakohtaisesti, joka on mahdollistunut edistyneiden tietokonesimulaatioiden myötä. Tämä työ esittelee kiinteälapaisen potkurin tuotantoprosessin ja ne syyt, jotka ovat johtaneet tämänhetkiseen tuotantotapaan.

## 2 TUOTANTOPROSESSIN SUUNNITTELUOSUUS

### 2.1 Kiinteälapaisesta potkurista yleisesti

Kiinteälapainen potkuri on koostumukseltaan yhtenäinen, eli homogeeninen, kappale. Tasaisen koostumuksensa ansiosta se on kestävä, eikä vaurioidu helposti. Kavitaatio, jään aiheuttama vahinko tai potkuriin kohdistuva isku, esimerkiksi karille ajo tai toiseen alukseen törmäys, ovat yleisimmät syyt potkurin rikkoutumiselle. Taipuneet ja vähän lavan kärjestä lohjenneet siivet kyetään korjaamaan kuivatelakalla, eikä uutta potkuria tarvita. Kavitaation aiheuttamaa eroosiota kyetään korjaamaan hiomalla lavat uudestaan, mutta lavan muodon muuttuessa alkuperäisestä myös kavitaation aiheuttama eroosioprosessi kiihtyy. Potkurin kunnan tarkastelu talvikauden loputtua on aiheellista mahdollisten vikojen tunnistamiseksi ajoissa, eikä vasta ongelmien eskaloituttua. Aluksille ovat myös vaarana kalaverkot ja köydet, jotka voivat sotkeutua potkuriin. Verkkojen ja narujen irrottamiseksi tarvitaan sukeltajaa.

Kääntösiipipotkurit ovat yleistyneet järjestelmien ja huoltosopimusten halventuessa, mutta kiinteälapaiset potkurit ovat säilyttäneet kärkiasemansa käytetyimpänä potkurityyppinä aluksissa. Kiinteälapaisen potkurin etuja, verrattaessa kääntösiipipotkuriin, ovat yksinkertainen rakenne, huoltovapaus, parempi hyötysuhde matkanopeudella ja matalammat valmistuskustannukset. Kääntösiipipotkuri on polttoainekustannuksiltaan edullisempi ainoastaan lyhyillä matkoilla, joissa alus kulkee vaihtelevalla kuormituksella.

### 2.2 Tilaajakohtaiset potkuriin vaikuttavat tekijät

Tilaajan ja telakan välinen asiakirja, joka sisältää aluksen tekniset tiedot ennen laivanrakennuksen alkua, on nimeltään laivaerittely. Laivaerittelyn osana on koneerittely, jossa rakennettavan laivan potkurin alustavat tiedot ovat. Riippuen rakennettavan aluksen kokoluokasta ja tyypistä, myös potkurin ominaisuudet muuttuvat. Potkurin koon määrittää pääkoneesta saatava teho ja kierrosluku. Potkurin lapojen määrän päättävä tekijä on yleensä laivan käyttötarkoitus.

Kun tunnetaan haluttu teho tai työntö ja kierrosluku tai halkaisija, voidaan potkuri optimoida, eli löytää potkurisarjasta tätä kuormitus-geometria- yhdistelmää vastaava potkuri, jolla hyötysuhde saadaan mahdollisimman hyväksi (Kanerva 1997, 8-4).

Matemaattisesti potkurin energiatehokkuus on riippuvainen lapojen määrästä, siten että vähemmän lapoja omaavan potkurin hyötysuhde on parempi. Kaksi lapaa on energiatehokkaampi, kuin kolme lapaa jne. Parhaimmasta hyötysuhteestaan huolimatta kaksilapaisia potkureita ei käytetä kauppa-aluksissa, sillä kun otetaan huomioon meren, aluksen ja sääolojen kohdistama raskas kuormitus potkuriin, eivät lapojen lujuskertoimet ole riittävät. Lisäksi aluksen ohjailtavuus matalalla nopeudella kaksilapaisella potkurilla olisi huono.

Kolmelapaiset potkurit ovat yleisiä huviveneissä, sillä niillä ohjailtavuus nopeassa vauhdissa on hyvä, ja vastaavasti matalilla nopeuksilla huono. Kolmilapaisella potkurilla kiihtyvyys on parempi, kuin muun lapamäärän omaavilla potkureilla.

Neljä lapaa on yleisin lapojen määrä kauppa-alusten potkureissa. Symmetrinen muoto takaa parhaan kuormituksen jakautumisen kullekin lavalle, mikä lisää potkurin käyttöikä. Neljälapainen potkuri antaa myös hyvän matalan nopeuden ohjailtavuuden, mikä on tärkeää alusten liikkussa väylillä ja satamissa. Neljälapaisella potkurilla saavutetaan paras hyötysuhde ja sen vuoksi se kuluttaakin vähiten polttoainetta muihin verrattuna. Lisäksi tämä lapamäärä parantaa aluksen vakavuutta kovassa merenkäynnissä.

Viisi- ja kuusilapaisia potkureita käytetään suurilla konttialuksilla parhaimman lisävakavuuden saamiseksi. Tämä potkurityyppi tärisee vähiten ja ne ovat siten hiljaisimpia. Ne ovat myös kalleimmat potkurit valmistaa, sillä lavat ovat limittäin toistensa päällä, mistä johtuen lapojen teroituksessa tarvitaan erikoisjärjestelyjä. Vaihtoehtoisesti lavat voidaan hitsata kiinni teroittamisen jälkeen, mutta potkurista ei saada yhtä vahvaa, kuin muotoonsa valetusta.

Oikeilla potkurikierroksilla ja lapojen lukumäärällä varmistetaan, että akselilinjan ja rungon resonanssitaajuudet ovat riittävän kaukana lapataajuudesta, joka on annettu kaavalla  $f_b = nZ$ . Hyvin usein käytetään neljää lapaa (Matusiak 2005, 53) Joskus,



resonanssia kuitenkin esiintyy, esimerkiksi telakoinnin yhteydessä alukseen tehdyn muutoksen jälkeen. Resonointia voi alkaa esiintyä tietyillä kierroksilla ja resonointi lakkaa, kun potkurikierrokset nousevat. Resonointia voidaan vähentää konehuoneeseen asennettavilla poikkipalkeilla, jotka yltyvät rungon laidasta laitaan.

### 2.2.1 Satamamanöveerauskykyyn vaikuttavat tekijät

Kiinteälapaisen potkurin suurin satamamanöveereihin vaikuttava tekijä on pääkoneen suunnanvaihdon jouheus. Koska kiinteälapainen potkuri on kiinni suoraan akselissa, täytyy akselin kiertosuunnan vaihtua, että aluksen kulkusuunta muuttuu. Satamaan saapuessa, että sieltä lähtiessä pyritään käyttämään vain eteenpäin vievää propulsiota, jotta suunnanvaihdolta vältyttäisiin. Hyvänä apuna ohjailussa ovat keulapotkurit. Joskus peruuttamiselta ei kuitenkaan voi välttyä, ja silloin potkurin kätisyydellä on merkitystä. Matalalla nopeudella liikuttaessa potkurin kätisyydestä riippuen perä hakeutuu paapuuriin tai styyrpuuriin. Liikettä voi kompensoida keulapotkureilla. Kovalla kohtisuoraan alusta laituria vasten puhaltavalla tuulella voi satamasta lähteminen olla hyvin vaikeaa ilman hinaajan avustusta kiinteälapaisella potkurilla. Samassa tilanteessa säätösiipipotkuri, tai azipodi, ei välttämättä tarvitsisi avustusta.

### 2.2.2 Talvimerenkulun potkuriin kohdistama lisärasite

Suomalaisten ja ruotsalaisten merenkulkuviranomaisten vuodesta 1971 yhdessä kehittämät ja julkaisemat suomalais-ruotsalaiset jääluokkasäännökset (FSICR) määrittävät jäissä liikkuvan aluksen minimikonetehon, koneiston, rungon sekä potkurin lujuuden. Aluksen jääluokka ja nettovetoisuus vaikuttavat sen maksaman väylämaksun suuruuteen. Toisin sanoen korkean jääluokan aluksen väylämaksut ovat pienemmät, joten polttoainehäviöt korkean jääluokan potkureille maksavat itsensä takaisin vähäisempien väylämaksujen muodossa. Järjestelyllä pyritään parantamaan talvimerenkulun turvallisuutta ohjaamalla varustamoja sijoittamaan alusten parempaan jääluokitukseen.

Potkurilapojen minimipaksuus, jonka luokituslaitokset määräävät jääluokitetuille aluksille, on paljon suurempi kuin aluksilla, jotka on suunniteltu operoimaan

ainoastaan jäävapailta alueilla. Arviolta jokainen 10% lisäys lavan paksuuteen vähentää vääjäämättä potkurin hyötysuhdetta jäältä vapaissa olosuhteissa 0.6-0.8% (Pustoshny, Darchiev & Frolova 2017).

Häviöiden kompensoimiseksi jääluokitetuissa potkureissa on kehitelty teräkselle vaihtoehtoisia materiaaleiksi. Suomessa tarjolla on esimerkiksi pronssisia luokkasäädökset täyttäviä kiinteälapaisia potkureita. Kun materiaali on kestävämpää, kyetään lapojen muotoa optimoimaan, esimerkiksi ohentamalla, ja täten potkurin hyötysuhdetta parantamaan myös arktiseen käyttöön suunnitelluissa potkureissa.



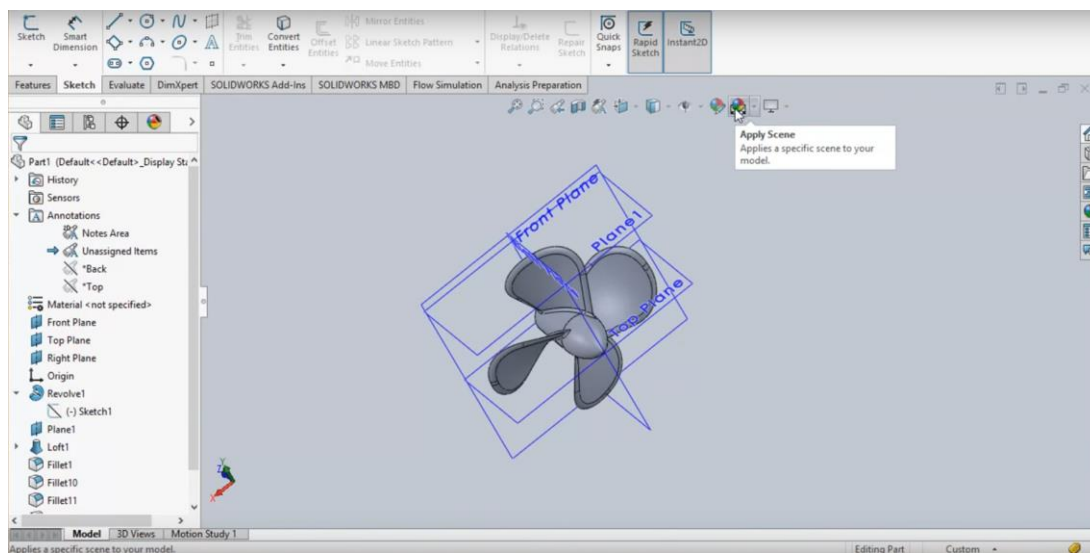
Kuva 1. Suomalaisen potkurivalmistaja Tevo Lokomon valmistama pronssipotkuri (Tevo Lokomo 2015)

### 2.3 Potkurin CAD-mallinnus

2000-luvun merkittävin tuotantotekninen muutos on ollut suunnittelun siirtyminen paperilta tietokoneiden suunnitteluohjelmiin. Ehkä merkittävin vaikutus tällä on ollut aikatauluihin. Potkurin suunnittelu ja valmistus voidaan aloittaa myöhemmässä

vaiheessa laivanrakennusta ja mahdolliset muutokset aluksen muotoilussa, tai pääkoneen vaihtuminen, eivät enää ole ylityspääsemättömiä tekijöitä suunnittelutyölle.

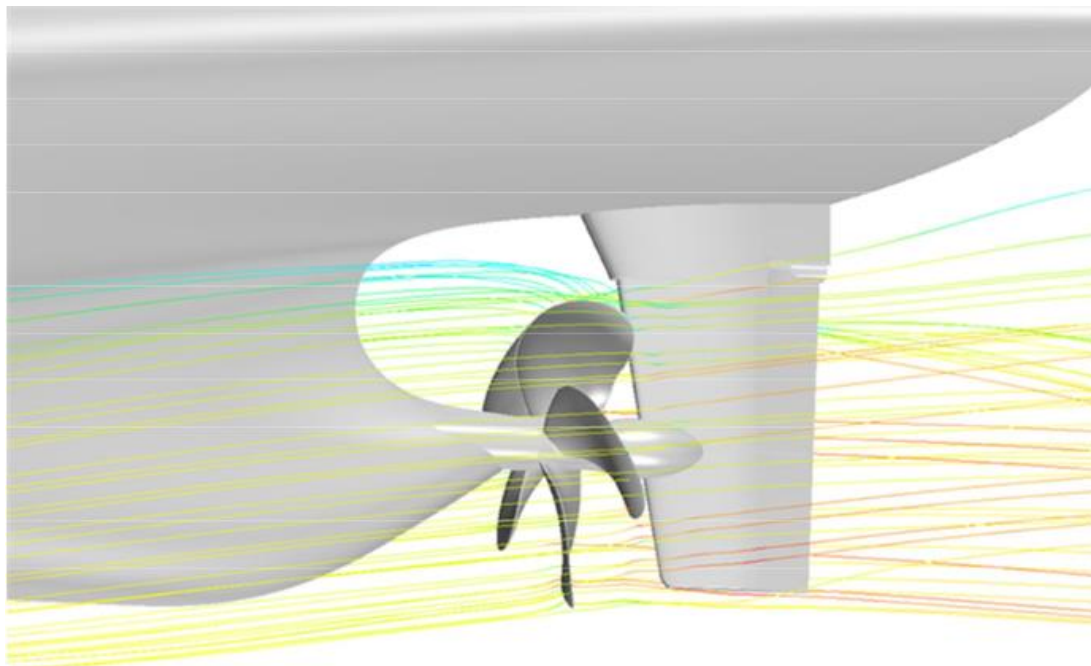
CAD-mallinnuksen kustannustehokkuus on myös kiistaton, aikaa ja vaivaa kuluu vähemmän pienemmältä määrältä suunnittelijoita. Virheiden syntymisen riski on vähäisempi, sillä suunnittelija näkee potkurin oleelliset tiedot ja ohjelman muodostaman kuvan potkurista reaaliaikaisena. Lisäetuna CAD-mallintamiselle on myös suunnitellun potkurin variaatioiden testaaminen simulaatiossa, mikä edesauttaa optimaalisimman vaihtoehdon löytämistä. Simulaatiotestauksen kustannukset ovat samaa luokkaa, kuin pienoismallilla tehtävät allaskokeet.



Kuva 2. Esimerkkikuva kiinteälapaisesta potkurista piirto-ohjelmassa (Smit Patel 2017)

### 2.3.1 Hydrodynaamisten ominaisuuksien simulointi

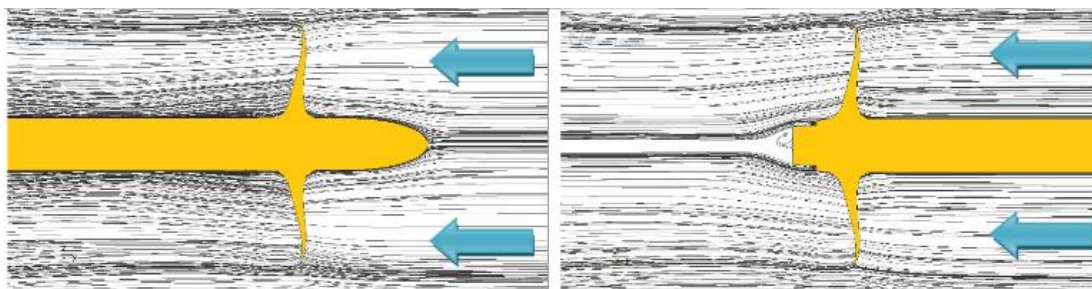
Perinteisesti aluksien pienoismalleja ja potkureiden käyttäytymistä on koeteltu allaskokeilla ja tuloksia on ekstrapoloitu vastaamaan oikean laivan käyttäytymistä. Nykytekniikan ansiosta on suunnitteluvaiheessa siirrytty osittain CFD-simulaatioihin, joilla selvitetään laskennallisesti veden käyttäytymistä suunnitellussa potkurissa ja sen ympäristössä.



Kuva 3. CFD-simulaatiokuva virtauksen käyttäytymisestä potkurissa ja peräsimessä (Bulten, Stoltenkamp, Van Hooijdonk 2014)

Kokeilla on pystytty edelleen parantamaan potkureiden hyötysuhdetta. Hyvänä esimerkkinä CFD-simulaatiolla huomatuista hyötysuhdetta parantavista tekijästä on potkurin napa.

Navan materiaalilla ja muotoilulla on hyötysuhdetta parantava vaikutus. Vuosikymmeniä tehdyistä allaskokeista huolimatta kukaan ei ottanut huomioon veden käyttäytymistä navan ympäristössä, sillä kyse on silmin huomaamattomasta muutoksesta, joka havaittiin vasta CFD-simulaatioanalyysissä. Huolimatta veden virtaussuunnasta potkuriin navan muotoilulla saavutetaan 2% hyöty muotoilemattomaan napaan verrattuna (Kawamura, Ouchi & Takeuchi 2013).

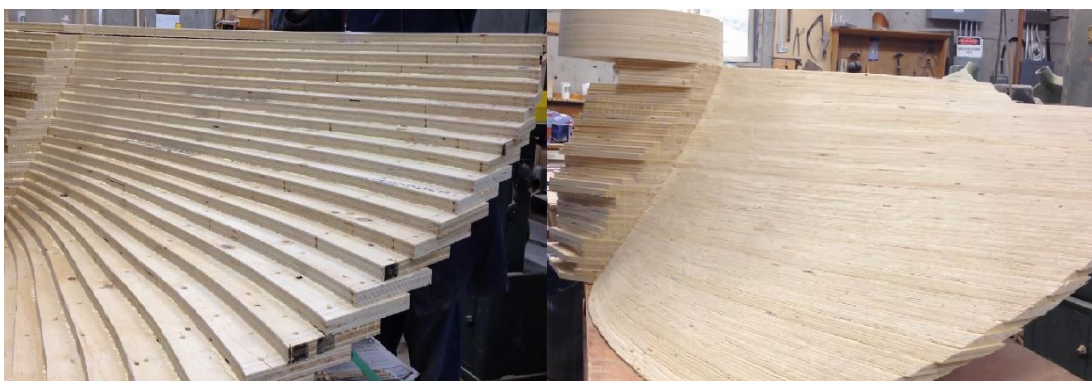


Kuva 4. Potkurinavan muotoilun vaikutus veden virtaukseen (Bulten, Stoltenkamp, Van Hooijdonk 2014)

### 3 TUOTANTOPROSESSI

#### 3.1 Siipiprofiilin valmistus

Ennen CNC-koneiden tuloa siipiprofiilit valmistettiin käsityönä puusta ja vanerista. Prosessi vei paljon enemmän aikaa tiimilliseltä ihmisiltä mittauksineen ja tarkastuksineen. Nykyisen tuotantomethodin edut ovat huomattavat sekä nopeudessa, että työvoimakustannuksissa. Puisen siipiprofiilin valmistukseen kului runsaasti aikaa, koska työ vaati suurta tarkkuutta ja potkureiden halkaisijoiden kasvaessa myös vaadittu työ määrä kasvoi.



Kuva 5. Käsityöllä valmistettavan siipiprofiilin työvaiheita (ShapeAndForm 2012)

Nykyisin valumallikappaleen, eli siipiprofiilin, valmistus tapahtuu CNC-koneen avulla. Potkurista tehty CAD-suunnitelma muutetaan komentosarjaksi robottia ohjaavalle tietokoneelle. Robotti työstää esiin halutun kokoisen ja mallisen kappaleen valitusta materiaalista. Potkurinvalmistuksessa siipiprofiilin materiaalina käytetään yleisimmiten korkeatiheyksistä ( $60\text{kg/m}^3$ ) EPS-vahtoa eli tutummin puhekielellä styroxia, joka on edullista, kevyttä suurinakin kappaleina ja helppoa työstää. Siipiprofiiliin tarvitaan vain yksi lapa, jotta sillä voidaan valmistaa potkurin valumuotti. Vaahtomuovista valmistetty siipiprofiili päällystetään maalilla ennen valumuotin valmistuksen aloittamista.

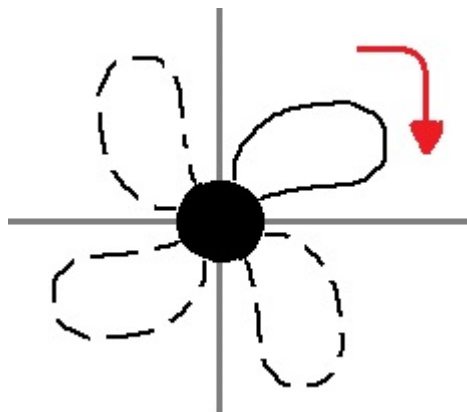


Kuva 6. Valmis siipiprofiili (Wärtsilä 2016)

### 3.2 Muotin valmistus siipiprofiilin avulla

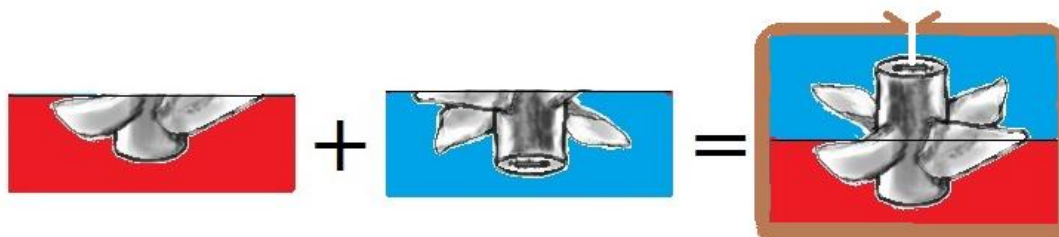
Valimot käyttävät lähes yksinomaan hiekkamuotteja, sillä valuprosessin muotin tulee kestää sulan metallin 1500 °C lämpötilaa. Tärkeätä on myös materiaalin helppo ja tarkka muovailtavuus. Lisäksi käytettävän hiekan tulee täyttää useita muita vaadittuja ominaisuuksia, joista tärkeimmät ovat kemiallinen reagoimattomuus, riittävä permeabiliteetti ja kustannustehokkuus. Permeabiliteetilla tarkoitetaan hiekan kykyä imeyttää itseensä valun aikana syntyviä kaasuja. Jos kaasut eivät imeydy muottiin, syntyy potkuriin valuvirheitä, kuten reikiä ja ilmataskuja. Osa valuprosessin aikana käytetystä hiekasta voidaan kierrättää ja käyttää myöhemmin uudelleen.

Potkuria valmistettaessa muottiin tulee kaksi kappaletta. Ylämuotti ja alamuotti, jotka yhdistämällä saadaan muotti, johon valu voidaan tehdä. Hiekkaan painetaan siipiprofiilin jälki ja kierrättämällä siipiprofiilia saadaan valmista potkuria vastaava painojälki.



Kuva 7. Siipiprofiilin käyttö

Hiekkaan sekoitettu kovettava lisäaine, joka voi olla esimerkiksi savea, kovettaa hiekan, jolloin muottia voidaan siirrellä, ilman että muotti rikkoutuu. Sama toimenpide toistetaan siten, että painojälki tehdään siipiprofiili käännettynä ympäri. Kovettuneet muotit asetetaan päällekkäin. Muotin sisään jäävä tyhjä tila on halutun potkurin muotoinen. Ylämuottiin jätetään reikä, josta sula metalli voidaan valuttaa sisään.



Kuva 8. Valumuottien käyttö

### 3.3 Metalliseos ja valu

Potkureissa käytettyjen metalliseoksien tulee vahvuuskriteereiden täyttämisen lisäksi olla vastustuskykyisiä meriveden korroosiolle. Tämän takia potkureissa käytetyt metalliseokset sisältävät useata eri metallia.

Yleisimmät kauppa-alusten potkureissa käytetyt seokset teräksen ohella ovat alumiini-pronssi ja mangaani-pronssi. Alumiini-pronssiseoksesta valmistettu potkuri on noin 10% alumiini-mangaania kevyempi, mutta kalliimpi valmistaa. Alumiini-

pronssiseoksisen potkurin huoltoväli on lyhyempi, kuin mangaani-pronssiseoksinen (Aybars 2012).

Materiaali	Alumiini-pronssi (%)	Mangaani-pronssi (%)
Kupari	78 - 81	55 - 60
Sinkki	0.38 - 0.62	35 - 40
Nikkeli	4.5 - 5.5	4.3
Rauta	3.5 - 5.5	0.9 - 2.0
Mangaani	0.5 - 1.0	0.3 - 0.9
Alumiini	9.0 - 10.3	0.7 - 1.0
Lyijy	0.01 max.	0.4 max.
Tina	-	1.5 max.
Muut	0.5 max.	-

Kuva 9. Pronssiseosten metallisisällöt (Aybars 2012)

Valu suoritetaan kaatamalla sula metalliseos muotissa olevasta reiästä sisään.

Vaaditun metallin määrä on muotin sisätilavuus. Täytetyltä muotilta menee, potkurin koosta riippuen, kahdesta neljään päivää jäähtyä. Kun metalli on jäähtynyt voidaan potkuri poistaa valumuotista.

### 3.4 Valumuotin poisto

Valumuotti poistetaan rikkomalla se. Käytetystä kovettavasta lisäaineesta riippuen työhön voidaan tarvita voimatyökaluja. Savea käytettäessä muotin rikkominen on helpompaa, ja käytetty hiekka voidaan käyttää pääosin uudelleen. Isoimpia potkureita valmistettaessa muotin kovettajana käytetään sementtiä, eli valumuotti on osittain betonia. Tällöin käytettyä hiekkaa ei voida kierrättää käytettäväksi uudelleen. Betonimuotin poistaminen on työläämpää, sillä potkurin ei haluta vahingoittuvan.





Kuva 10. Jäähtynyt potkuri nostetaan pois rikutusta valumuotista (Wärtsilä 2016).

### 3.5 Lastuava työstö

Lastuavalla työstöllä tarkoitetaan potkurin työstämistä sorvaamalla, poraamalla tai jyrsimällä. Lastuavaa työstöä tekevät koneet ovat tietokoneohjattuja, ja ne pitävät itsenäisesti huolen oikeiden mittojen valvonnasta. Lastuavan työn tarkoituksena on muokata potkurin akselireiästä sopivan kokoinen ja teroittaa potkurin lavat.

Koneistajan, eli prosessin ihmiskomponentin, tehtäväksi jää koneen suorittaman työn valvominen. Kehityksen etuina voidaan mainita, että manuaalinen sorvaaminen on pitkäväteistä ja on hyvin vaikea kertoa, milloin millimetrilleen oikea määrä metallia on poistettu. Potkurivalmistajilla oli myös vaikeuksia löytää työn osaavia ammattilaisia sekä sorvaamiseen, että lapojen teroitukseen (Emmerson, 2008). Koneiden etuna on myös se, että ne tekevät töitä kellon ympäri tasaisella laadulla.

#### 3.5.1 Akselireiän työvaiheet

Akselireiän työvaihe on yksinkertaisuudessaan sopivan kokoisen reiän työstäminen jyrsimällä. Mittojen täytyy olla tarkat, sillä lopullisessa akseliinyhdistämisessä

käytetään apuna kylmäkuuma-menetelmää, jossa potkurin akselireikää lämmitetään, jolloin reiän halkaisija kasvaa. Vastaavasti aluksen akselia viilennetään ja sen halkaisija pienenee. Tällöin normaalilämpötilassa näennäisesti pienemmän halkaisijan omaava kappale saadaan yhdistettyä suurempaan halkaisijaan.

### 3.5.2 Lapojen alkuteroitus robotiikan avulla

Tietokoneohjattu robotti suorittaa teroitustyön. Tässä monimutkaisessa prosessissa järjestelmä valvoo lavan kaarevuuden oikeellisuutta ja kompensoi samanaikaisesti jyrksinnässä käytetyn voiman suuruutta. Koska lapa on ohuempi kärjestä ja reunoilta, ei sitä voi jyrsiä kauttaaltaan samalla voimalla. Potkurin lavat on pukitettu alapuolelta lisätuen saamiseksi. Alusta, jolle potkuri on asetettu, on pyörivä, jolloin yhden lavan valmistuttua voidaan alustaa pyöräyttämällä tuoda seuraava teroitettava lapa robotin ylettyville ilman nostotyötä. Kun potkurin lavat on teroitettu, käännetään potkuri ympäri, että laite voi teroittaa myös lapojen kääntöpuolet.



Kuva 11. Automatisoitu työstölaite teroittaa potkurin lapaa (S.C. 2016)

### 3.6 Lapojen hienohionta

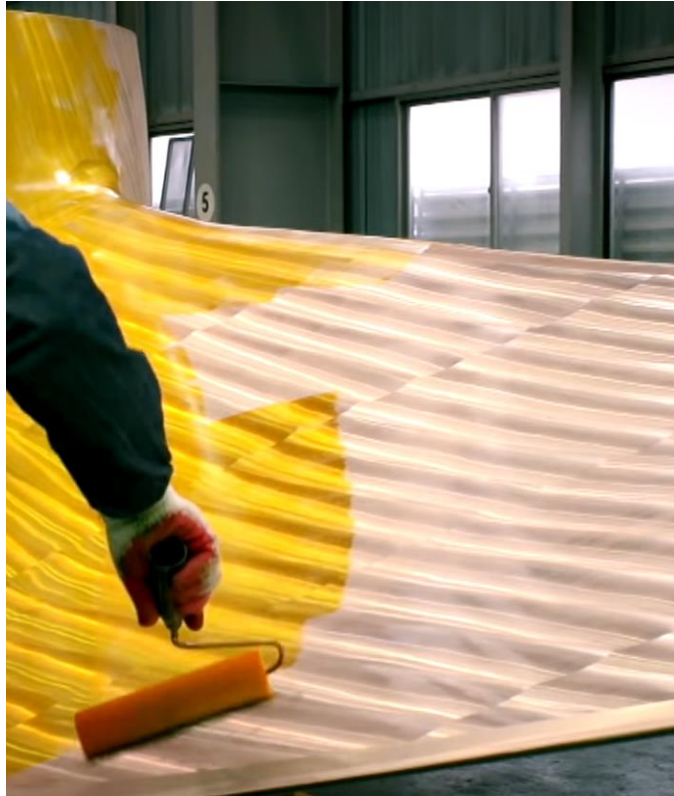
Hienohiennolla tarkoitetaan käsin tehtävää hiontaa, joka tehdään potkurille robotin käsittelyn jälkeen. Tähän työvaiheeseen kuuluvat lapojen reunojen teroitus ja potkurin pinnan muotoilu, jos sitä ei ole suunniteltu sileäpintaiseksi. Työn suorittaa specialisti, joka on erikoistunut juuri tähän työvaiheeseen. Työvaiheen lopussa potkuri kiillotetaan kauttaaltaan.



Kuva 12. Potkurin kiillottaminen ja pintakuviointi tehdään käsityönä (Wärtsilä 2016)

### 3.7 Korroosionestokäsittely

Valmis potkuri käsitellään suojapinnoitteella. Pinnoite on monitoiminen. Ensimmäinen se suojaa potkurin metallipintaa suolavedeltä ja biologiselta kasvustolta. Toisena funktiona on aiheuttaa metallipinnassa kemiallinen reaktio, joka tekee potkurin pinnasta kemiallisesti vähemmän reaktiivisen, hidastaen suolaveden korrosioivaa vaikutusta pinnoitteen kuluttua pois. Pinnoite on tarkoituksellisesti kellertävän läpinäkyvää. Väri auttaa havaitsemaan alueet, johon pinnoite on levitetty.



Kuva 13. Suojapinnoitteen levitys (S.C. 2016)

Koska pinnoite ei peitä potkurin pintakuviointia, potkurin kunnan tarkastelu on jälkeempään helpompaa. Ne kohdat, joista suojapinnoite ja metallin pintakuviointi on häipynyt, vaativat huoltoa ja uuden kerroksen suoja-ainetta telakoinnin yhteydessä. Suojapinnoitteen antifouling ominaisuudet estävät kasvuston kiinnittymisen potkuriin.

## 4 POTKURIN ASENNUS AKSELIIN

### 4.1 Testaus "Blue fit test"

Ennen potkurin kiinnittämistä akseliin suoritetaan testiasettaminen, jonka tarkoituksena on havaita pienimmätkin mahdolliset epätasaisuudet. Tätä vaihetta kutsutaan nimellä blue fit test, joka viittaa akseliin laitettavan indikaatiomaalin väriin.



Kuva 14. Potkurin testiasettaminen (Wärtsilä 2016)

Jos epätasaisuutta havaitaan, pyritään se poistamaan ennen varsinaista asennusta mahdollisimman hyvän yhteensopivuuden takaamiseksi. Tällä prosessivaiheella pyritään estämään se, että varsinaisessa asennuksessa potkurista ei hankaudu irti metallisiruja akselin ja potkurin väliin. Menneisyudessa on ollut tapauksia, joissa akseli on mennyt pilalle, kun metallisiruihin varastoinut staattinen sähkölataus on purkautunut sulattaen kolosia akselin ja potkurin kosketuspintaan. Metallisirujen sähköinen varautuminen tapahtuu akselin kiertoliikkeestä, kun alus on jo otettu käyttöön. Akselin rikkoutumisen seuraukset ovat olleet taloudellisesti huomattavia, kun jo käyttöönotettu alus on jouduttu tuomaan takaisin telakalle ja akseli vaihtamaan. Akseli on yksi laivan kalleimmista osista ja akselin vaihto on erittäin vaikeaa.

#### 4.2 Potkurin yhdistäminen akseliin

Kun potkuri on saatettu valmiiksi, ja yhteensopivuudesta akselin kanssa on varmistuttu, voidaan potkuri kiinnittää akseliin. Tässä työvaiheessa hyväksikäytetään metallien lämpölaajenemista. Metallit laajenevat niitä kuumennettaessa, ja vastaavasti

supistuvat, kun niitä viilennetään. Menetelmää kutsutaan lämpösovitukseksi, tai vaihtoehtoisesti kylmäkuuma-asennukseksi. Potkurin akselireikä on halkaisijaltaan pienempi, kuin akselin halkaisija. Kun potkuria lämmitetään ja akselia jäähdytetään saadaan potkurin akselireiän halkaisijasta suurempi, kuin akselin halkaisijasta. Jäähtyessään potkuri puristuu tiukasti kiinni akseliin ja aikaiseksi saadaan luja kiinnitys.

## 5 POHDINTA

Mielestäni kiinteälapaisen potkurin tuotantoprosessi on saatettu tilaan, jossa ei ole enää parantamisen varaa. Jos piirrookset ovat olemassa haluttuun potkuriin, eli se menee varaosaksi tai korvaa rikkoutuneen potkurin, niin laadukas potkuri valmistuu valimolla ja konepajalla todennäköisesti yhtä nopeasti, kuin minkä siltä ottaa kulkeutua alusta korjaavalle kuivatelakalle. Merenkulussa seisontapäivät ovat menetettyä rahaa ja saatavuus kriittisille osille, kuten potkureille, elintärkeätä ja se onkin todennäköisesti vaikuttanut potkurituotantotekniikan kehitykseen nykyiseen tilaansa.

Hakiessani aineistoa ja materiaalia työhön selvisi, että potkurien suunnittelussa ja hyötysuhteiden simuloinnissa käytetään kirjavaa joukkoa, joko itse luotuja tai kaupallisia, ohjelmistoja. Alalle ei tuntunut löytyvän yhtä selvää markkinajohtajaa tai brändiä, mikä lienee ymmärrettävää yrityksiä halutessa säilyttää etulyöntiasema itsellään. Arvelisin, että suurimmat hyötysuhteen parannukset lähitulevaisuuden potkureissa saavutetaan nimenomaan tehostetun suunnittelun ja simuloinnin yhteistyönä.

## LÄHTEET

- Kanerva, M. 1997. Nopeus ja koneteho. Teoksessa P. Räisänen (toim.) Laivatekniikka modernin laivanrakennuksen käsikirja. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy, 9-1-9-14.
- Matusiak, J. 2005. Laivan propulsio, M-176, 6. laajennettu ja korjattu painos. Otaniemi: Teknillinen korkeakoulu.
- Tevo Lokomo, Pronssipotkuri, Tevo Lokomo Oy, Turenki.
- Smit Patel, yacht propeller 3d modeling, 21.7.2017. Viitattu 6.10.2018. <https://youtu.be/VFx5Rfd3VD8>
- Pustoshny, A., Darchiev, G. & Frolova, I. 2017. The problem of propeller design for high ice class transportation ships. Presentation in fifth international symposium of Marine Propulsors, Espoo, June, Finland 2017
- Kawamura, T., Ouchi, K. & Takeuchi, S. Model and full scale CFD analysis of propeller boss cap fins (PBCF). Proc. of third international symposium of Marine Propulsors, Launceston, Australia, 2013
- Bulten, N., Stoltenkamp, P., Van Hooijdonk, J. Efficient propeller designs based on full scale CFD simulations, Wärtsilä propulsion, RP Drunen, The Netherlands, 2014. Viitattu 8.10.2018. <https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/product-files/gears-propulsors/propellers/white-paper-o-p-2014-efficient-propeller2287854a7f0f601bb10cff00002d2314.pdf>
- ShapeAndForm, How it's made: propeller pattern, 17.4.2012. Viitattu 14.10.2018. <https://youtu.be/mV48f5D6kBY>
- Wärtsilä, Propeller manufacturing in Santander, 19.4.2016. Viitattu 15.10.2018. <https://youtu.be/DhosUKaFtUI>
- Aybars, O., Construction materials for ship propeller, 18.12.2012. Viitattu 9.10.2018. <http://e-marineeducation.com/en/construction-materials-for-ship-propeller/>
- Emmerson, B., Big ships big propellers, ABB, The Netherlands, 25.11.2008. Viitattu 11.10.2018. [https://library.e.abb.com/public/c6ef4be96b45681dc12577c7002f607e/EN\\_10-11\\_wartsila\\_proof1\\_abb\\_foundry\\_108.pdf](https://library.e.abb.com/public/c6ef4be96b45681dc12577c7002f607e/EN_10-11_wartsila_proof1_abb_foundry_108.pdf)
- Science Channel, Casting a gigantic propeller at 1,800°F, 3.12.2016. Viitattu 16.10.2018. <https://youtu.be/Di6fu7F2BxQ>