

Opinnäytetyö AMK

Konetekniikan insinöörikoulutus

2024

Markus Kulmala

Roottoripurjeen tukirullaston tuotekehitysprosessi



Opinnäytetyö AMK | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Konetekniikan insinöörikoulutus

2024 | 19 sivua

Markus Kulmala

Roottoripurjeen tukirullaston tuotekehitysprosessi

Opinnäytetyössä tutkitaan Suomalaisen konevalmistajan Norsepower Oy Ltd:n roottoripurjeen tukirullan tuotekehitysprosessia. Roottoripurje on merenkulkualuksen avustava propulsiomenetelmä. Roottoripurjeen tukirulla on tukielementti, joka siirtää osan purjeen tuottamasta työntövoimasta merenkulkualukseen. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää tukirullan vaihtoehtoisen pinnoitteen toimivuus verrattuna alkuperäiseen pinnoitemateriaaliin. Toimeksiantaja oli havainnut parannettavaa alkuperäisen pinnoitemateriaalin toiminnassa ja kestävyudessa. Ihanteellinen pinnoitemateriaali aiheuttaisi toimiessaan vain vähän ääntä ja värähtelyä saavuttaen samalla pitkän käyttöiän.

Opinnäytetyössä seurataan pinnoitemateriaalien mittausprosessia. Opinnäytetyön kuvaamat toimet suoritettiin toimeksiantajan tuotekehitystiloiissa Naantalissa syksyllä 2022. Pinnoitemateriaalin toiminnalle olennaisimmiksi mittasuureiksi määritettiin sen pintalämpötila ja melu sekä värähtelyt roottoripurjeessa. Mittaukset suoritettiin ajamalla eri pinnoitemateriaalein varustettuja tukirullia roottoripurjeessa niiden toimintaa seuraten. Näiden mittatöiden tekemiseksi käytettiin toimeksiantajan roottoripurjetta todenmukaisten tulosten varmistamiseksi.

Opinnäytetyön aikana suoritetuissa mittauksissa havaittiin uuden pinnoitemateriaalin tehokkaampi toiminta. Pinnoitemateriaalin matalampi pintalämpötila, melu ja värähtelytaso olivat toimeksiantajan toivomusten mukaiset. Pinnoitemateriaali siirtyi opinnäytetyön toimien jälkeen jatkotutkimuksiin sen eliniän selvittämiseksi.

Asiasanat:

Roottoripurje, Tuotekehitys, Ympäristöystävällisyys, Polttoainesäästöt.

Bachelor's thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Mechanical Engineering

2024 | 19 pages

Markus Kulmala

Product development process of a rotor sail's support wheel

The thesis investigates the product development process of the rotor sail support wheel for the Finnish machine manufacturer Norsepower Oy Ltd. A rotor sail is an auxiliary propulsion method for maritime vessels. A support wheel of a rotor sail is a support element that transfers a part of the thrust generated by the rotor sail to the vessel. The objective of this thesis was to determine the functionality of an alternative coating for the support wheel compared to the original coating. The client had noticed room for improvement with the functionality and durability of the original coating material. An ideal coating would produce minimal noise and vibrations while achieving a long service life.

This thesis follows the measurement process of these coating materials. The actions described in the thesis were carried out in the client's product development facilities in Naantali during autumn of 2022. The most essential measurements for the functionality of the coating material were determined to be its surface temperature, noise and vibration during operation. These measurements were conducted by running the different coating materials in a rotor sail while monitoring their operation. Tests were conducted by using the client's rotor sail to ensure the most realistic results.

With the measurements conducted in this thesis, the more efficient operation of the new coating was observed. The lower surface temperature, noise level and vibrations were in line with the client's expectations. Following

the thesis, this new coating material was further researched to reveal its effective lifespan.

Keywords:

Rotor sail, Product development, Environmental friendliness, Fuel savings.

Sisältö

1 Johdanto	8
1.1 Taustatiedot	8
1.2 Tavoitteet	8
2 Esitiedot	10
2.1 Roottoripurjeen toimintaperiaate	10
2.2 Roottoripurjeen edut ja haitat	12
3 Testaussuunnitelma	13
3.1 Menetelmät	14
4 Tuotekehitys	15
4.1 Prosessin haasteet	15
4.2 Tulokset	16
4.3 Roottoripurjeen suorituskyky	16
4.4 Taloudellinen kannattavuus	17
4.5 Ympäristövaikutukset	17
5 Yhteenveto	18
5.1 Yhteenveto tuloksista	18
5.2 Lopulliset johtopäätökset	18
6 Lähteet	19

Kuvat

Kuva 1 Roottoripurjeen toiminta	10
Kuva 2 Roottoripurjeen tukirakenne	11

Käytetyt lyhenteet tai sanasto

Roottoripurje	Mekaaninen kone, joka tuulta käyttäen tuottaa propulsiota merenkulualukselle.
EEDI	Rakennettavien alusten päästöluokitus.
EEXI	Olemassa olevien alusten päästöluokitus.
CII	aluksen toiminnan päästötehokkuuden laskentatyökalu.
°C	aste celsius, SI- järjestelmän mukainen lämpötilan johdannaisyksikkö.
mm/s	Millimetriä sekunnissa, SI- järjestelmän mukainen nopeuden johdannaisyksikkö.
kW	Kilowatti, SI- järjestelmän mukainen tehon johdannaisyksikkö.
dB	Desibeli, Tehosuureiden suhdetta mittaava yksikkö, ei SI- järjestelmän mukainen.

1 Johdanto

1.1 Taustatiedot

Opinnäytetyö käsittelee Suomalaisen konevalmistajan Norsepower Oy:n roottoripurjeen tuotekehitysprosessia. Roottoripurje on mekaaninen kone, joka tuulen avulla tuottaa merenkulkualukselle työntövoimaa.

Opinnäytetyössä tutkitaan korvaavaa pinnoitemateriaalia roottoripurjeen tukielementille, tukirullalle. Toimeksiantaja oli havainnut parannettavia ominaisuuksia edellä mainitun tukirullan pinnoitteessa. Opinnäytetyössä tutkitaan kahden eri pinnoitemateriaalin ominaisuuksia edullisemmän pinnoitteen toteamiseksi. Opinnäytetyön käsittelemä toimet suoritettiin syksyllä 2022 pääosin toimeksiantajan tuotekehitystiloiissa Naantalissa. Opinnäytetyö alkoi suunnittelemalla testausprosessi, jolla pinnoitemateriaalien ominaisuudet selvitettiin.

1.2 Tavoitteet

Opinnäytetyössä tarkasteltiin ja vertailtiin kahden eri pinnoitemateriaalin ominaisuuksia, jotta voitaisiin määrittää toimeksiantajan toiminnalle edullisin pinnoite. Ihanteellisen materiaalin tulisi tuottaa mahdollisimman vähän värähtelyitä ja sitä kautta vähän melua, samalla säilyttäen osan pitkän eliniän.

Toimeksiannon tarkoituksena oli selvittää tukirullien korvaavan pinnoitusmateriaalin suorituskyky verrattuna alkuperäisen pinnoitemateriaalin toimintaan. Tukirullaston käyttövarmuuden parantaminen ja haittavaikutusten vähentäminen laskee roottoripurjeen huoltokustannuksia ja seisakkiaikaa. Matalampi käyttöäänäni myös parantaa työturvallisuustasoa roottoripurjeen sisällä. Tehokkaan toiminta-ajan lisääminen voi mahdollistaa suurempia polttoainesäästöjä ja päästövähennyksiä merenkulkualan säännösten, kuten IMO:n määrittelemien EEDI (Energy Efficiency Design Index), EEXI (Energy Efficiency Existing Ship) sekä CII (Carbon Intensity Indicator), mukaisesti. ("A

scenario-based assessment of the energy efficiency existing ship index (EEXI) and carbon intensity indicator (CII) regulations.", 2023).

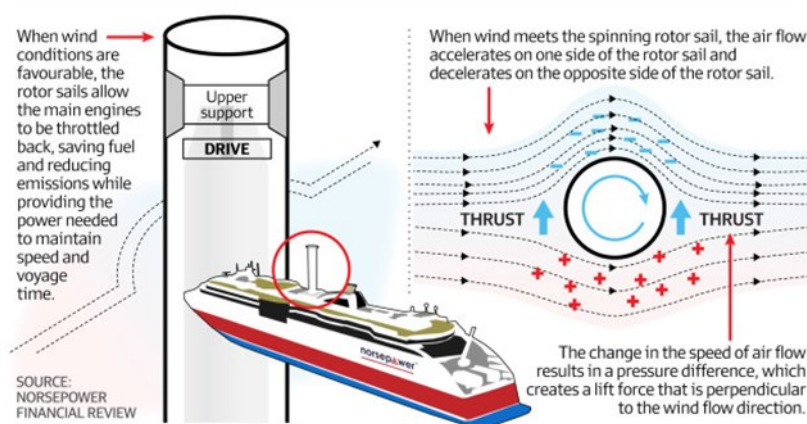
2 Esitiedot

Roottoripurje on merenkulkualusten avustava propulsiomenetelmä, joka fysikaalista Magnus – ilmiötä hyödyntäen luo alukselle työntövoimaa.

Merenkulkualan päästövaatimusten kiristyessä alusten omistajien on rajoitettava aluksiensa päästöjä säännöllisesti lähivuosien aikana. ("A scenario-based assessment of the energy efficiency existing ship index (EEXI) and carbon intensity indicator (CII) regulations.", 2023)

2.1 Roottoripurjeen toimintaperiaate

How rotor sails propel ships by creating areas of high and low pressure

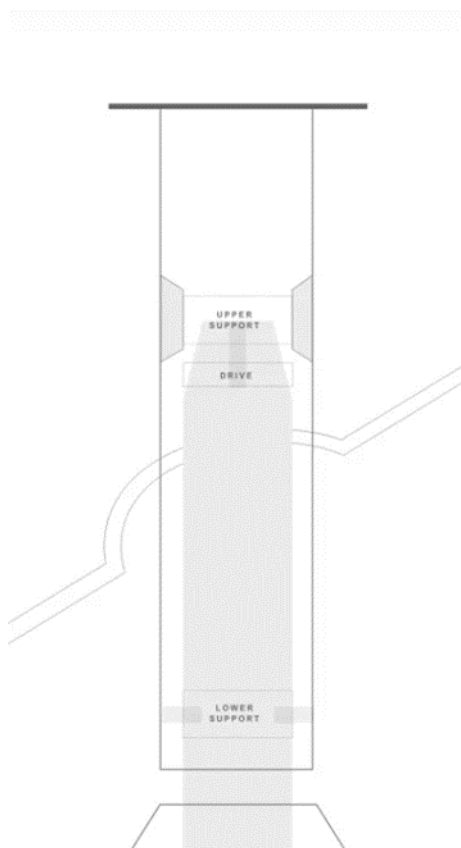


Kuva 1 Roottoripurjeen toiminta

Roottoripurje on mekaaninen kone, joka luo työntövoimaa käyttäen hyödyksi fysikaalista Magnus – ilmiötä, jossa pyörivään kappaleeseen kohdistuu työntövoimaa sen liikkuessa väliaineen läpi. Roottoripurjeen pyöriminen ilman läpi luo sen ympärille paikalliset paine-erot, jotka synnyttävät työntövoimia kuvan 1. mukaisesti.

Alukselle asennettu purje tuottaa työntövoimaa, näin avustaen päämoottorien toimintaa ja vähentäen polttoaineen kulutusta sekä päästöjen

tuottoa. Roottoripurjeiden käyttö mahdollistaa raportoidusti jopa 15 % säästöt niitä hyödyntävälle merenkulkualukselle (Schmidt, 2013)



Kuva 2 Roottoripurjeen tukirakenne

Kuvan 2 havainnollistuksen mukaisesti koneen rakenne koostuu terästornin ympärille ripustetusta komposiittipurjeesta, joka on tuettu terästorniin kahdelta tasolta. Terästorni kantaa komposiittipurjeen painon yläpäässään olevan laakeriliitoksen avulla. Roottoripurjeen tukirulla on tukielementti, joka yhdessä laakeriliitoksen kanssa siirtää komposiittipurjeeseen kohdistuvat voimat terästornin kautta alukseen. Tukirullat sijaitsevat tornin alapäässä.

Tukirullat kehikoineen on kiinnitetty terästornin kehälle liukutankojen varaan, ja kokoonpano joustaa komposiittipurjeen pyöriessä. Tukirullat puristetaan komposiittipurjetta vasten elastomeeriholkkeja käyttäen, joiden kiristys mitataan holkkien puristuman perusteella.

Tukirulla koostuu laakeroidusta alumiinivanteesta, jonka pinnoitemateriaalin ominaisuuksia tutkitaan opinnäytetyössä. Pinnoitemateriaalin kulumisen aiheuttamat huoltotoimenpiteet lisäävät huoltokustannuksia ja vähentävät roottoripurjeen hyödyllistä toiminta-aikaa.

2.2 Roottoripurjeen edut ja haitat

Roottoripurjeiden pääetu merenkulkualalle on niiden mahdollistama polttoainesäästö. Polttoainesäästöjen luoma vähennys aluksen päästömääriin on suuri PR- etu maailmassa, jossa kuluttajien suosio vihreitä arvoja noudattaville yrityksille tulee esiin. ("Competition and sustainability: The impact of consumer awareness.", 2013) Lähivuosien aikana olemassa olevilta aluksilta vaadittavat prosentuaaliset päästövähennykset painostavat alusten omistajia tutkimaan investointeja ja ratkaisuja, joiden avulla nykyisen aluskannan käytön tulevaisuudessa pysyy mahdollisena. ("A scenario-based assessment of the energy efficiency existing ship index (EEXI) and carbon intensity indicator (CII) regulations.", 2023)

Roottoripurjeeseen sijoitetun investoinnin takaisinmaksu polttoainesäästöinä vaatii aluksen reitiltä roottoripurjeen toiminnalle suotuisia tuuliolosuhteita. ("Techno economic and environmental assessment of wind assisted marine propulsion systems.", 2016) Näin ollen huolimattomasti suoritettu kannattavuuslaskenta projektin suunnitteluvaiheessa voi aiheuttaa koneen investoinnin takaisinmaksuajan venymisen. Suhteellisen suuren kokonsa vuoksi roottoripurje voi toimia näköhaitana, jos sen sijoitus aluksen kannelle on huolimattomasti suunniteltu. Purjeen sijoituskohdan huolellisella suunnittelulla voidaan varmistaa sen tehokas käyttö ja näköhaitan välttäminen.

3 Testaussuunnitelma

Valvottavat mittasuureet ja ominaisuudet päätettiin ennen testien aloittamista. Ulkoiset sääolosuhteet voivat vaikuttaa mittasuureisiin, joten niiden seuranta lisättiin testaussuunnitelmaan. Testaussuunnitelmassa roottoripurjetta ajetaan molempia pinnoitemateriaaleja käyttäen. Molempia pinnoitemateriaaleja suunniteltiin pyöritettävän yhteensä 12 tuntia. Pinnoitemateriaalien kestävyuden selvittämiseksi tukirullien esikiristystasoa nostettiin neljän tunnin ajon välein. Nostamalla tukirullien esikiristystasoa komposiittipurjetta vasten saatiin niihin kohdistuvaa rasiusta nostettua huomattavasti kokeiden aikana. Koko testaussuunnitelman läpikäynti epäonnistui alkuperäistä pinnoitemateriaalia käyttäen sen synnyttämien värähtelyjen vuoksi.

Mittausprosessin aikana kerättiin seuraavat olosuhde- ja mittasuureet tunnin välein; ulkoinen lämpötila (°C), ulkoiset tuuliolosuhteet (m/s), roottoripurjeen tehonkulutus (kW), roottoripurjeen sisäinen melutaso (dB), pinnoitemateriaalin pintalämpötila (°C), tukirullien laakeroinnin lämpötila (°C), roottoripurjeen värähtely (mm/s) sekä neljän valvottavan tukirullan värähtely (mm/s).

Näistä valvotuista mittasuureista pinnoitemateriaalin toiminnalle olennaisimmiksi määritettiin pinnoitteen pintalämpötila, roottoripurjeen sisäinen melutaso sekä roottoripurjeen rakenteen värähtely. Nämä mittasuureet ilmaisevat tehokkaasti roottoripurjeen toiminnan käyttöluotettavuutta, asiakasystävällisyyttä sekä turvallisuutta.

3.1 Menetelmät

testausprosessi suoritettiin hyödyntäen toimeksiantajan tuotekehitystiloissa sijaitsevaa roottoripurjetta. Asiakkaan laitteissa suoritettu tuotekehitys voi aiheuttaa laiterikkojen riskin, mikä voi vähentää asiakkaan polttoainesäästöjä koneen seisakin aikana. (Schmidt, 2013) Tästä syystä tuotekehitys päätettiin suorittaa toimeksiantajan tuotekehitystiloissa, jotta asiakkaat olisivat suojassa mahdollisilta haittavaikutuksilta tuotekehitysprosessin aikana.

Mittauksien suorittamiseksi käytettiin roottoripurjeen kunnonvalvonta ja ohjausjärjestelmän mittalaitteiden lisäksi myös ulkoisia mittalaitteita. Pinnoitemateriaalin pintalämpötilan ja roottoripurjeen sisäisen melutason mittaukseen käytettiin käsimittalaitteita.

4 Tuotekehitys

Tuotekehitysprosessi alkoi toimeksiantajan halusta löytää optimaalinen pinnoitemateriaali. Alkuperäisen pinnoitemateriaalin toiminnassa oli havaittu parannettavaa kestävydessä ja käyntiäänien tasossa. Prosessin siirryttyä testausvaiheeseen haluttiin selvittää erot kahden eri pinnoitemateriaalin toiminnassa.

Testausprosessi alkoi asentamalla kehityskäytössä käytössä olevaan roottoripurjeeseen 12 kpl alkuperäismateriaalilla pinnoitettuja tukirullia. Testaussuunnitelman mukaisesti pinnoitetta suunniteltiin testattavan pyörittämällä sitä roottoripurjeessa neljä tuntia kolmella eri esikiristystasolla. Alkuperäistä pinnoitemateriaalia käyttäen testaussuunnitelman läpikäynti kuitenkin keskeytettiin korkeinta esikiristystasetta ajaessa sen luomien epäturvallisten värähtelytasojen vuoksi.

Vastaavat mittaukset suoritettiin onnistuneesti uutta pinnoitemateriaalia käyttäen. Testaussuunnitelman mukaisesti pinnoitemateriaali altistettiin kolmelle eri esikiristystasolle yhteensä 12 tunnin ajan.

Havaittua uuden pinnoitemateriaalin selvinneen vahingoitta läpi testaussuunnitelman sisältämistä rasituksista päätettiin pinnoitemateriaali altistaa pidempiaikaiselle ajolle aikomuksella selvittää pinnoitemateriaalin rikkoutumispiste. Seuraavien viikkojen aikana rullia pyöritettiin 57 tuntia ilman aktiivista mittausta suurimalla esikiristystason rasituksella. Havaittavien muutosten puutteen vuoksi kestävyysajo päätettiin keskeyttää.

4.1 Prosessin haasteet

Testaussuunnitelman mukaisesti pinnoitemateriaaleja suunniteltiin testattavan pyörittämällä niitä roottoripurjeessa neljä tuntia kolmella eri esikiristystasolla. Kuitenkin alkuperäismateriaalilla pinnoitettuja tukirullia käyttäen purjetta ei voitu

pyörittää raskaimmalla esikiristystasolla, sillä niiden aiheuttamat värähtelyt koneessa eivät olleet turvallisten hyväksyttävien rajojen sisällä. Tämän vuoksi alkuperäisen pinnoitemateriaalin testauksessa otanta suoritettiin vain kahdelta eri esikiristystasolta. Suoritetut testit kuitenkin paljastivat selkeän eron kahden eri tukirullamateriaalin aiheuttamissa värähtelyissä.

4.2 Tulokset

Uuden pinnoitemateriaalin mittatuloksista havaittiin jopa 10 dB ero roottoripurjeen sisä-äänessä verrattuna alkuperäispinnoitteeseen. Matalampi äänitaso todettiin lupaavaksi ominaisuudeksi asiakaskäyttöön matkustaja-aluksille tai aluksille, joissa purjeiden käyttöäni voi häiritä miehistön toimintaa. Uuden pinnoitemateriaalin pintalämpötila havaittiin ajon aikana keskimääräisesti 5 astetta alhaisemmaksi verrattuna vanhaan pinnoitemateriaaliin. Pinnoitemateriaalien välillä ei havaittu olennaisia eroja muissa mitatuissa suureissa, kuten moottorin tehonkulutuksessa tai tukirullien laakeroinnin lämpötiloissa.

4.3 Roottoripurjeen suorituskyky

Uuden pinnoitemateriaalin käytön havaittiin parantavan roottoripurjeen suorituskykyä verrattuna alkuperäiseen materiaaliin, etenkin raskaimmalla tukirullien esikiristystasolla. Alkuperäisen pinnoitemateriaalin aiheuttamat värähtelyt raskaimmalla esikiristystasolla eivät olleet hyväksyttävissä rajoissa. Nämä värähtelyt voivat aiheuttaa rasituksia muihin roottoripurjeen komponentteihin, kuten komposiittipurjeeseen ja sen laakerointiin. Näin ollen uusi pinnoitemateriaali voi mahdollistaa roottoripurjeen tehokkaamman käytön epäedullisimmissä käyttöolosuhteissa, joissa sen kierrosnopeutta jouduttaisiin muuten rajoittamaan.

Uuden pinnoitemateriaalin viileämpi pintalämpötila ilmentää sen sitovan itseensä vähemmän energiaa roottoripurjeen operoidessa. Pinnoitteen liiallinen kuumentuminen ajona aikana voi aiheuttaa sen rikkoutumisen.

4.4 Taloudellinen kannattavuus

Uuden pinnoitemateriaalin hankintakustannukset ovat huomattavasti alhaisemmat verrattuna noin 30 % korkeampaa alkuperäisen pinnoitemateriaalin hankintahintaan. Halvemmat varaosat voivat vähentää roottoripurjeen huoltokustannuksia. Asennettujen roottoripurjeiden tukirullaston päivitys käyttämään uutta pinnoitemateriaalia on suhteellisen pieni investointi sen mahdollisiin hyötyvaikutuksiin verraten.

4.5 Ympäristövaikutukset

Roottoripurje voi tarjota merenkulkualukselle merkittävät vähennykset polttoaineen kulutukselle ja tätä kautta hiilidioksidipäästöille. Huoltotoimenpiteiden ja laiterikkojen aikana roottoripurje ei voi tuottaa alukselle työntövoimaa. Roottoripurjeen tehokkaan toiminta-ajan lisääminen voi siis mahdollistaa suurempien säästöjen saavuttamisen. (Schmidt, 2013) Kestävä pinnoitemateriaali voi pidentää koneen huoltovälejä.

5 Yhteenveto

5.1 Yhteenveto tuloksista

Opinnäytetyön aikana pinnoitemateriaalien välillä huomattiin mittavia eroja niiden pintalämpötilassa, äänenkorkeudessa ja värähtelytasoissa.

Pinnoitemateriaalien välillä havaittiin keskimääräisesti viiden asteen ero pintalämpötilassa. Roottoripurjeen sisäisen käyntiääni havaittiin uutta pinnoitemateriaalia käyttäen jopa 10 dB alhaisemmaksi verrattuna alkuperäiseen pinnoitemateriaaliin. Vanhan pinnoitemateriaalin tuottamia epäturvallisia värähtelytasoja ei havaittu uutta pinnoitemateriaalia tutkiessa. Muissa mittasuureissa ei prosessin aikana mitattu havaittavia eroja eri pinnoitemateriaalien toiminnan aikana.

5.2 Lopulliset johtopäätökset

Opinnäytetyön toimien päätteeksi havaittiin uuden pinnoitemateriaalin ominaisuuksien olevan edulliset toimeksiantajan toiminnalle. Pinnoitemateriaalin tehokkaampi toiminta lisää koneen toimintavarmuutta eri meriolosuhteissa sekä nostaa miehistön työturvallisuustasoa ja matkustajatytyväisyyttä matalamman käyntiäänien avulla. Näiden päätelmien vuoksi opinnäytetyö todettiin onnistuneeksi selvittämään eri pinnoitemateriaalien eroja roottoripurjeen toiminnassa.

Uuden pinnoitemateriaalin ominaisuudet havaittiin houkutteleviksi, joten ne siirtyivät testauskäyttöön asiakkaan koneeseen. Tuotekehitysprosessi vaatii lisätutkimusta uuden pinnoitemateriaalin todenmukaisen eliniän selvittämiseksi. Tutkimuksen aikana vaaditaan tukirullien tarkkaa valvontaa pinnoitemateriaalin kunnon valvomiseksi ja rikkoutumispisteen turvalliseksi ennakoimiseksi

6 Lähdeet

"A scenario-based assessment of the energy efficiency existing ship index (EEXI) and carbon intensity indicator (CII) regulations." **Bayraktar, Murat, and Onur Yuksel. 2023.** 278, s.l. : Ocean Engineering , 2023.

"Competition and sustainability: The impact of consumer awareness." **Galbreth, Michael R., and Bikram Ghosh. 2013.** 44.1, s.l. : Decision Sciences, 2013.

"Techno economic and environmental assessment of wind assisted marine propulsion systems." **Talluri, Lorenzo, et al. 2016.** 121, s.l. : Ocean Engineering, 2016.

Schmidt, A. 2013. *"Ship 1 A Wind-Hybrid Commercial Cargo Ship."* *Proceedings of the 4th Conference on Ship Efficiency.* s.l. : Enercon E., 2013.