

# ROTORSEGEL PÅ FARTYG

Simon Eriksson



35:2017

Datum för godkännande: 03.04.2018  
Handledare: Johan Hansen

# EXAMENSARBETE

## Högskolan på Åland

|                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| <b>Utbildningsprogram:</b> | Sjöfart              |
| <b>Författare:</b>         | Simon Eriksson       |
| <b>Arbetets namn:</b>      | Rotorsegel på fartyg |
| <b>Handledare:</b>         | Johan Hansen         |
| <b>Uppdragsgivare:</b>     |                      |

### Abstrakt

Rotorsegel på fartyg är ett alternativ att få ner bunkerförbrukningen. Det här arbetet handlar om just rotorsegel och dess användning ombord på fartyg i dagsläget samt hur de kan komma att användas i framtiden. Arbetet beskriver hur rotorseglen fungerar med hjälp av Magnuseffekten och om de har potential att påverka växthuseffekten till det bättre. Det är idag få rederier som har installerat rotorsegel ombord på sina fartyg, men intresset har de senaste åren ökat och flera rederier har börjat undersöka om rotorsegel kan vara en bra lösning för miljövänligare sjöfart. I takt med att kunderna blir mer och mer miljömedvetna och vill minska sin egen miljöpåverkan genom klimatvänligare transporter kan användningen av rotorsegel på fartyg tänkas öka. Nya obligatoriska regelverk om effektivare energianvändning och minskade utsläpp av växthusgaser är även det en bidragande orsak till att fler rederier blivit intresserade av rotorsegel.

### Nyckelord (sökord)

Rotorsegel, magnuseffekt, Flettner-rotor, EEDI, SEEMP, växthuseffekt, energieffektivitet, bränsleförbrukning, transport, sjöfart.

|                                |              |               |                  |
|--------------------------------|--------------|---------------|------------------|
| <b>Högskolans serienummer:</b> | <b>ISSN:</b> | <b>Språk:</b> | <b>Sidantal:</b> |
| 35:2017                        | 1458-1531    | Svenska       | 34 sidor         |

|                         |                            |                               |
|-------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| <b>Inlämningsdatum:</b> | <b>Presentationsdatum:</b> | <b>Datum för godkännande:</b> |
| 24.11.2017              | 01.12.2017                 | 03.04.2018                    |

# DEGREE THESIS

## Åland University of Applied Sciences

|                              |                              |
|------------------------------|------------------------------|
| <b>Study program:</b>        | Nautical Science             |
| <b>Author:</b>               | Simon Eriksson               |
| <b>Title:</b>                | Rotorsails on Merchant Ships |
| <b>Academic Supervisor:</b>  | Johan Hansen                 |
| <b>Technical Supervisor:</b> |                              |

|   |
|---|
| <b>Abstract</b>   |
| <p>This thesis is about rotor sails and its use on board vessels at the present and how they can be used in the future. It describes how the rotor sails work with the Magnus effect and if they can affect the greenhouse effect for the better. Today, few shipping companies have installed rotor sails aboard their ships, but the interest has increased in recent years, and several shipping companies have begun investigating whether rotor sails can be a good solution for environmentally friendly shipping. As customers become more and more environmentally conscious and want to reduce their own environmental impact through climate-friendly transportation, the use of rotor sails may increase. New mandatory regulations on more efficient energy use and reduced greenhouse gas emissions are a contributing factor to the fact that more shipping companies have become interested.</p> |

|  |
|--|
| <b>Keywords</b>  |
| Rotor sails, magnus effect, Flettner-rotor, EEDI, SEEMP, greenhouse effect, energy efficiency, fuel consumption, sea transport, shipping |

|                       |              |                  |                         |
|-----------------------|--------------|------------------|-------------------------|
| <b>Serial number:</b> | <b>ISSN:</b> | <b>Language:</b> | <b>Number of pages:</b> |
| 35:2017               | 1458-1531    | English          | 34 pages                |

|                   |                              |                     |
|-------------------|------------------------------|---------------------|
| <b>Handed in:</b> | <b>Date of presentation:</b> | <b>Approved on:</b> |
| 24.11.2017        | 01.12.2017                   | 03.04.2018          |



# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

|   |    |
|---|----|
| 1. INLEDNING.....                                       | 7  |
| 1.1 Syfte .....   | 7  |
| 1.2. Frågeställningar.....                              | 8  |
| 1.3 Avgränsningar .....                                 | 8  |
| 2. BAKGRUND.....  | 9  |
| 2.1 EEDI, Energy Efficiency Design Index .....          | 10 |
| 2.2 SEEMP, Ship Energy Efficiency Management Plan ..... | 11 |
| 2.3 Vad är rotorsegel? .....                            | 11 |
| 2.4 Magnuseffekten.....                                 | 16 |
| 2.5 Fartyg utrustade med rotorsegel idag .....          | 17 |
| 2.6 Planerade fartyg med rotorsegel .....               | 19 |
| 3. METOD .....  | 21 |
| 3.1 Respondenter.....                                   | 21 |
| 3.2 Tillvägagångssätt .....                             | 21 |
| 3.3 Etiska principer .....                              | 21 |
| 4. RESULTAT .....                                       | 22 |
| 4.1 Norsepower .....                                    | 23 |
| 4.2 Bore .....  | 24 |
| 4.3 Enercon .....                                       | 26 |
| 5. DISKUSSION.....                                      | 30 |
| 6. SLUTSATS.....  | 31 |
| KÄLLOR .....  | 33 |
| BILAGOR.....  | 35 |

# Förkortningar

EEDI - Energy Efficiency Design Index

HFO – Heavy Fuel Oil

IMO – International Maritime Organization

MARPOL – International Convention for the Prevention of Pollution from Ships

MEPC – Marine Environment Protection Committee

MGO – Marine Gas Oil

RO/RO – Roll on–Roll off

SEEMP - Ship Energy Efficiency Management Plan

# Figurförteckning

|  |    |
|--|----|
| <i>Figur 1. Huvudsyftet med SEEMP</i> .....  | 11 |
| <i>Figur 2. Buckau år 1924 (Enercon, 2013)</i> .....   | 12 |
| <i>Figur 3. Barbara år 1927 (Enercon, 2013)</i> .....  | 12 |
| <i>Figur 4. Hur ett Norsepower Rotor Sail fungerar (Norsepower, 2017)</i> .....  | 14 |
| <i>Figur 5. Illustration av Norsepower Rotor Sail Solution (Norsepower, 2017)</i> .....  | 14 |
| <i>Figur 6. Seglingspunkter för fartyg utrustat med rotorsegel (Wikimedia, 2015)</i> .....   | 15 |
| <i>Figur 7. Bilden visar övertrycksidan och undertrycksidan vid ett rotorsegel. (International Windship Association, 2017)</i> ..... | 16 |
| <i>Figur 8. Skiss av Magnuseffekten (Preciseish, 2017)</i> .....   | 17 |
| <i>Figur 9. Tryck- och hastighetsförändringarna runt rotorseglet (Enercon, 2013)</i> .....   | 17 |
| <i>Figur 10. M/V Estraden (Bore, 2017)</i> .....   | 17 |
| <i>Figur 11. Ro-Ro Cargo Ship M/V Estraden (Norsepower, 2017)</i> .....  | 17 |
| <i>Figur 12. General Cargo Ship E-Ship 1 (Shipspotting, 2017)</i> .....  | 18 |
| <i>Figur 13. E-Ship 1 (Motorship, 2011)</i> .....  | 19 |
| <i>Figur 14. Viking Grace (Norsepower, 2017)</i> .....   | 19 |
| <i>Bild 15. Maersk Tanker (Norsepower, 2017)</i> .....   | 20 |
| <i>Bild 16. Påväxt på botten på fartygen strävar fartygets framfart. (Foto: Purdue Engineering)</i> .....                            | 24 |
| <i>Figur 17. ENERCONs utbredning av fabriker och produktion för vindenergi (Enercon, 2013)</i> .....                                 | 27 |
| <i>Figur 18. Effektbesparing med hjälp av rotorsegel som resultat av fartskillnad. (Enercon, 2013)</i> .....                         | 28 |
| <i>Figur 19. Enercons shipping routes; E-ship 1 (Enercon, 2013)</i> .....  | 29 |

# 1. INLEDNING

Miljötankandet har blivit mer och mer viktigt i dagens samhälle. Därför har jag valt ett miljöämne som ligger i tiden. Med tanke på växthuseffekten<sup>1</sup> och annan miljöpåverkan behöver vi minska vår användning av fossila bränslen<sup>2</sup>. Inte minst sjöfarten är en stor konsument av dessa. Vid förbränning av olja bildas gaser som t.ex. koldioxid (CO<sub>2</sub>) som bidrar till klimatförändringar och växthuseffekten på vår planet. Dessa utsläpp och annan miljöpåverkan vill man försöka minska.

Användningen av rotorsegel<sup>3</sup> är ett alternativ att bidra till bättre miljö men det är ännu inte så utbrett. Detta är en relativt obeprövad metod och endast ett litet antal fartyg har det idag installerat. Ny teknik och större vilja till miljöförbättring har dock gett utvecklingen lite fart den senaste tiden. I takt med att kunderna blir mer och mer miljömedvetna och att de vill minska sin egen miljöpåverkan genom klimat vänligare transporter kan användningen av rotorsegel tänkas öka.

Det här arbetet handlar om ett sätt att försöka minska förbrukningen av olja och utsläpp av växthusgaser<sup>4</sup> genom användning av rotorsegel ombord på fartyg. Några relevanta regelverk som påverkar rederierna och fartygs miljöarbete, EEDI<sup>5</sup> & SEEMP<sup>6</sup> kommer att kort tas upp. Jag kommer i det här arbetet att förklara grunderna med rotorseglen och hur de ger kraft genom Magnuseffekten<sup>7</sup> och därmed hjälper fartygets framdrift.

## 1.1 Syfte

Syftet med det här arbetet är att samla information om rotorsegel, dess användning och effektivitet samt framtidsutsikter. Det är även intressant att undersöka om det är ett bra sätt att minska vår miljöpåverkan och om användningen av rotorsegel verkligen kan bromsa utvecklingen med påverkan av faktorer som bidrar till växthuseffekten.

---

<sup>1</sup> Växthuseffekten, uppvärmning av jordytan som åstadkoms av föroreningar i jordens atmosfär.

<sup>2</sup> Fossila bränslen, olja, kol och naturgas som består av organiskt material innehållande kol- och väteföreningar.

<sup>3</sup> Rotorsegel, roterande cylinder som utnyttjar magnuseffekten för att hjälpa ett fartygs framdrift (Flettner-segel).

<sup>4</sup> Växthusgaser, koldioxid (CO<sub>2</sub>), dikväveoxid (N<sub>2</sub>O), metan (CH<sub>4</sub>) och ozon (O<sub>3</sub>).

<sup>5</sup> EEDI, Index för energieffektivitet framtaget av den internationella maritima organisationen IMO.

<sup>6</sup> SEEMP, Fartygsspecifik plan för energieffektivitetshantering framtaget av den internationella maritima organisationen IMO.

<sup>7</sup> Magnuseffekten, ett fysikaliskt fenomen som uppträder för roterande kroppar som påverkas av en luftström.



## 1.2. Frågeställningar

Det finns egentligen mycket som man i en första anblick tänker på och vill ta reda på när man hör ordet rotorsegel. Jag har dock samlat mina tankar och kommit fram till följande frågeställningar som jag velat utforska närmare;

- Hur mycket hjälper rotorseglen ett fartygs framdrift?
- Hur mycket minskas fartygs utsläpp av växthusgaser med hjälp av rotorsegel?
- Hur påverkas fartygets stabilitet av rotorsegel?
- Hur mycket lastkapacitet går förlorad genom installation av rotorsegel?

## 1.3 Avgränsningar

Jag kommer avgränsa mitt arbete till att undersöka endast hur rotorsegel fungerar ombord på befintliga fartyg och om det finns möjlighet till bränslebesparing och minskade utsläpp av växthusgaser genom att endast installera rotorsegel på fartyg. Jag kommer också ta upp eventuella förändringar i fartygets stabilitet orsakat av rotorseglen. De mest relevanta regelverken som kommer att nämnas i detta arbete är av IMO<sup>8</sup> utfärdade SEEMP och EEDI. Några andra regelverk har inte tagits i beaktande.

---

<sup>8</sup> IMO, International Maritime Organization, Internationella sjöfartsorganisationen som har som uppdrag att stifta lagar rörande internationell sjöfart.

## 2. BAKGRUND

Vinden har i alla tider använts av sjöfarten, även långt in på 1900-talet. Olja var dock billigt och mer driftsäkert för framdriften och oberoende av väder och vind. Med långvarig användning av fossila bränslen världen över har klimatet förändrats. Detta har gjort att man försökt söka alternativa driftkällor för bl.a. fartygen.

Företag har blivit begränsade genom regelverk gällande hur mycket växthusgaser de får släppa ut. Användningen av rotorsegel kan för rederier vara ett sätt att minska sina utsläpp från fartygen och därmed bli mer attraktiva för miljömedvetna kunder. Rotorsegel kan varas ett sätt att kunna erbjuda kunderna mer miljövänliga transporter.

IMO har infört nya regelverk såsom EEDI (Energy Efficiency Design Index) som ska öka nybyggda fartygs energieffektivitet, och SEEMP (Ship Energy Efficiency Management Plan) som är en plan som fartyg och rederier ska ha för att kunna effektivisera fartyg under drift över tid. Båda regelverk trädde i kraft januari 2013. (Transportstyrelsen, 2017)

Sjöfarten är tvingad att investera i ökad energieffektivitet genom EEDI. *Slow-steaming*<sup>9</sup> har varit branschens vanligaste metod för utsläppsminskning och bränslebesparing, särskilt när det gäller större fartyg. Enligt IMO var, under perioden 2007-2012, den genomsnittliga minskningen av fart på sjön i förhållande till konstruktionshastigheten 12 % och den genomsnittliga minskningen av den dagliga bränsleförbrukningen 27 %. Minskningen i hastighet och bränsleförbrukning avser dock inte en motsvarande ökning av effektivitet. Detta eftersom ett större antal fartyg eller flera dagar till sjöss krävs för att göra samma transportarbete. (International Windship Association, 2017)

Den genomsnittliga årliga bränsleförbrukningen (2007-2012) varierade mellan cirka 250 miljoner och 325 miljoner ton bränsle som konsumeras av fartygen. För perioden 2007-2012 svarade sjöfarten i genomsnitt för cirka 3,1 % av de årliga globala koldioxidutsläppen. Koldioxidutsläppen från sjöfarten beräknas ligga mellan cirka 740 miljoner och 795 miljoner ton per år. (International Windship Association, 2017)

---

<sup>9</sup> Slow-steaming: Fartyget framförs med lägre hastighet för att på så sätt spara bränsle.

Internationell sjöfart är den dominerande källan till utsläpp av växthusgaser. Utsläpp av dikväveoxid<sup>10</sup> (N<sub>2</sub>O) från internationell sjöfart står för cirka 85 % av de totala N<sub>2</sub>O-utsläppen. Av växthusgaserna är dikväveoxid en betydligt kraftfullare gas än koldioxid<sup>11</sup>. Ett kilogram Dikväveoxid har lika stor effekt på växthuseffekten som ungefär 300 kg koldioxid. (International Windship Association, 2017)

Koldioxidutsläppen från sjöfarten bedöms även öka kraftigt under de kommande årtiondena. Beroende på framtida ekonomiska och energiutvecklingar, beräknas en ökning mellan 50 % upp till 250 % år 2050. Ytterligare åtgärder om effektivitet och utsläpp kan mildra utsläppstillväxten, även om utsläppen år 2050 troligtvis blir högre än 2012. (International Windship Association, 2017)

Utsläppsprognoser visar att effektivitetsförbättringar är viktiga för att bromsa utsläppsökningen. Modellerade förbättringar med de största energibesparingarna kan inte ensam ge en nedåtgående utsläppstrend. Om man jämför med regulatoriska eller marknadsdrivna förbättringar av energieffektiviteten har förändringar i bränsleblandningen en begränsad effekt på växthusgasutsläppen. Detta förutsatt att fossila bränslen fortfarande är de mest använda även i framtiden. (International Windship Association, 2017)

Utsläppen av partiklar visar en absolut minskning fram till 2020. Svavelhaltiga oxider fortsätter att minska till 2050, främst på grund av kraven i MARPOL Annex VI om svavelhalten i bränslen. (International Windship Association, 2017)

## 2.1 EEDI, Energy Efficiency Design Index

IMO antog 2011 obligatoriska regler för nya fartyg om ett index för energieffektiv design (EEDI). Reglerna trädde i kraft 2013 och gäller fartyg i internationell trafik med bruttodräktighet > 400. Enligt EEDI skall fartygen också ha en energieffektiviseringsplan (SEEMP). (Energimyndigheten, 2017)

---

<sup>10</sup> Dikväveoxid (N<sub>2</sub>O) eller ibland nämnt Lustgas är en av gaserna som påverkar växthuseffekten.

<sup>11</sup> Koldioxid CO<sub>2</sub> är en luktfri och färglös gas som är något giftig. Koldioxid räknas till en av gaserna som påverkar växthuseffekten.

## 2.2 SEEMP, Ship Energy Efficiency Management Plan

Den 1 januari 2013 kom kravet om att fartyg ska ha en fartygsspecifik plan för energiledning. Huvudsyftet med Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) är att bredda rederiets energipolicy, minska bränsleförbrukningen, förbättra fartygs effektivitet och minska utsläppen av växthusgaser från fartygen. Fartyg som har en bruttodräktighet  $> 400$  och går i internationell trafik måste således numera ha en Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP). Huvudsyftet med SEEMP beskrivs i figur 1. Innehållet och utseendet beskrivs i IMO:s Resolution MEPC.213(63) som återfinns i bilaga 1 (IMO, 2012)

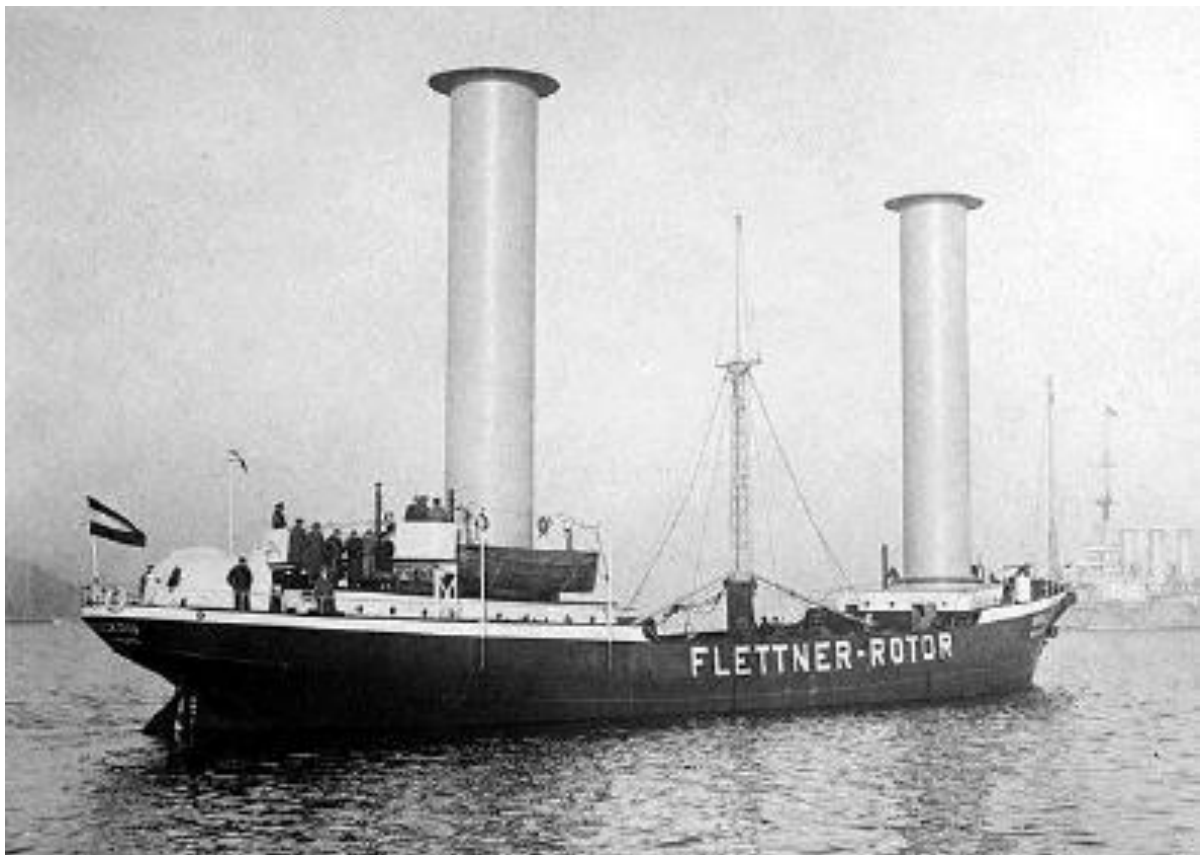


*Figur 1. Huvudsyftet med SEEMP*

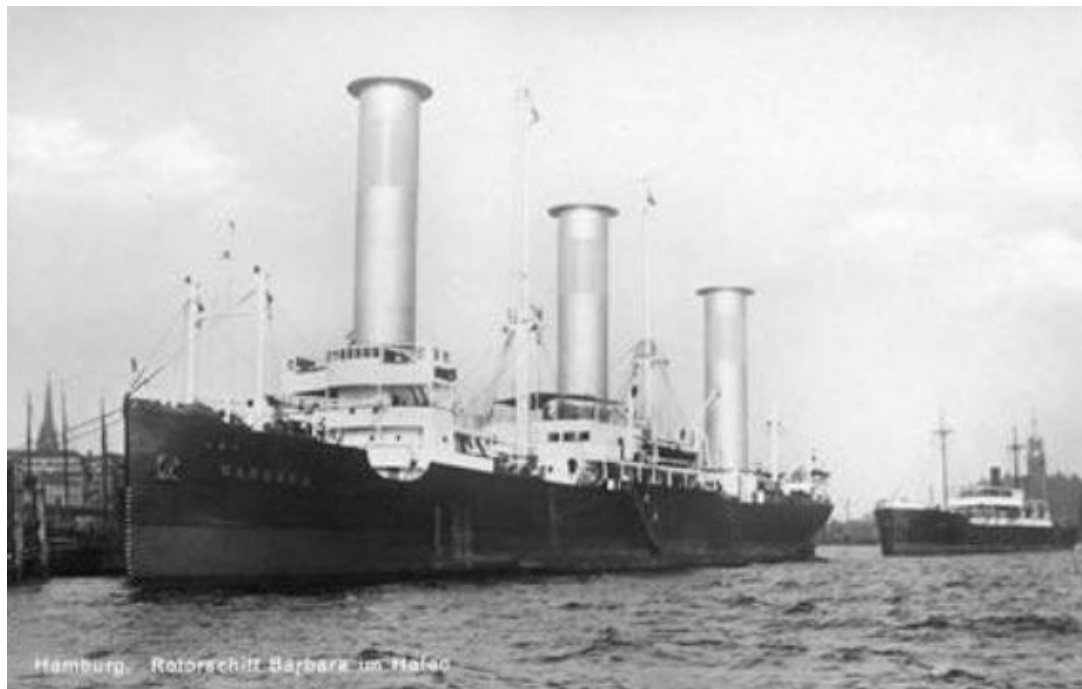
## 2.3 Vad är rotorsegel?

Rotorsegel, eller Flettner-rotorn är en uppfinning från år 1923 av Anton Flettner. Det är en roterande cylinder som utnyttjar vinden och dess tryckförändring runt cylindern för att få drivkraft framåt. Den kan således fungera som en variant av ett modernt segel för ett fartyg. Moderna rotorsegel tillverkas idag av komposit och drivs av en elmotor för att få seglet att rotera. Elmotorn får sin kraft från fartygets hjälpmaskineri. Rotationshastigheten ställs in beroende på vindriktningen och vindstyrkan för att få ut maximal magnuseffekt. Normalt är

rotationshastigheten minst 250 RPM (HISWA Symposium, 2016). Nedan visas i figur 2 och 3 de första fartygen utrustade med rotorseglen.



*Figur 2. Buckau år 1924 (Enercon, 2013)*



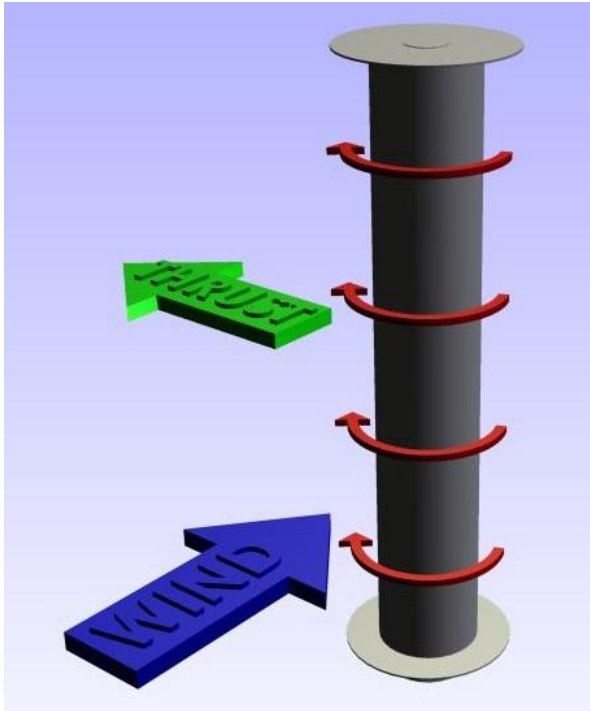
*Figur 3. Barbara år 1927 (Enercon, 2013)*

En stillastående cylinder, som utsätts för en luftström, påverkas av lufttrycket eller luftmotstånd i vindens riktning. En kraft uppstår i vindens riktning. Försätts cylindern i rotation, vrider sig luftkraftens riktning åt den sida, där cylinderytan och vinden rör sig åt samma håll. Till en början vrider luftkraftens riktning mer ju högre rotationshastigheten blir. Samtidigt ökas luftkraftens storlek. (Nerén, 1927)

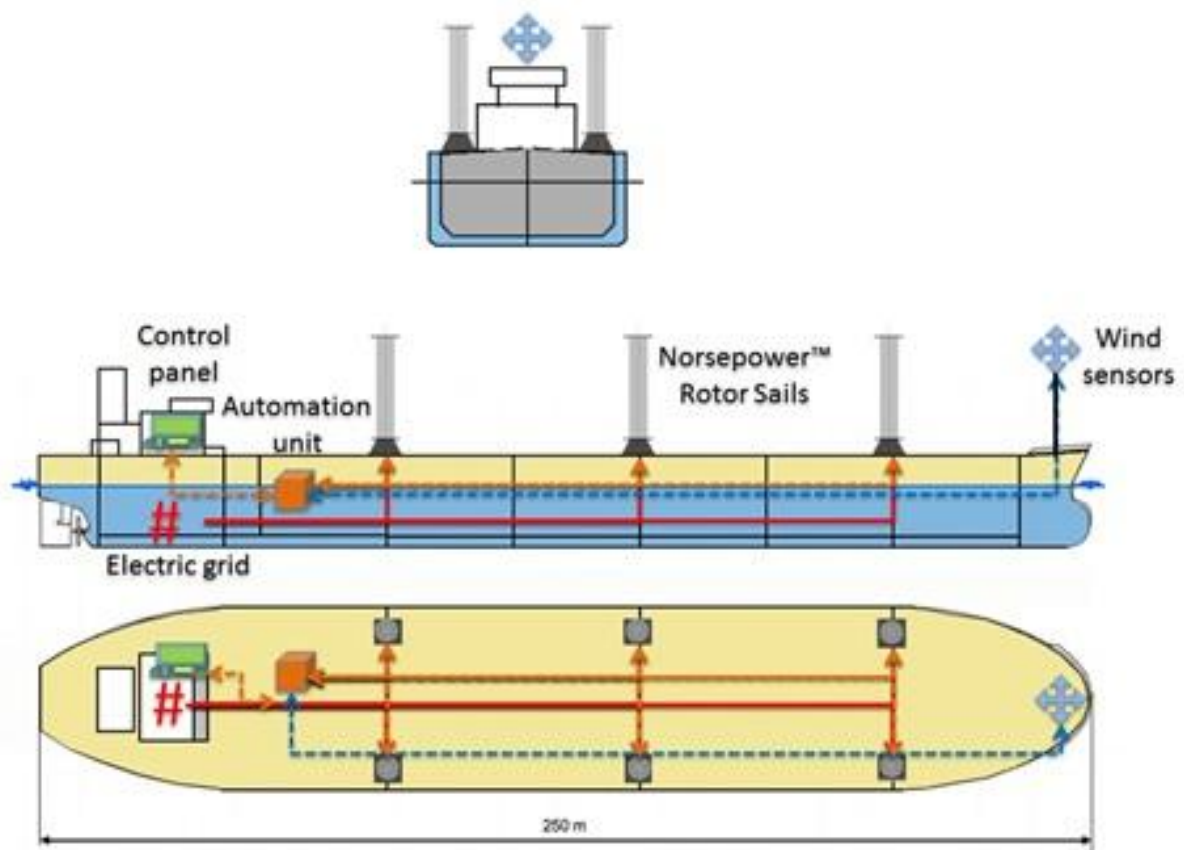
Största snedvridningen av kraften blir (vid en rotor, vars längd är 5 gånger diametern) ungefär  $74^\circ$  från vindriktningen och inträffar då cylinderns periferihastighet är två gånger vindhastigheten. Vinkeln minskas sedan vid större periferihastighet, men kraftens storlek fortsätter att öka, tills periferihastigheten är omkring fyra gånger vindhastigheten. Kraftriktningen är då ungefär  $60^\circ$  från vindriktningen. (Nerén, 1927)

Kraftens storlek ökas om cylinderändarna avgränsas med skivor av större diameter än cylindern. Kraften kan anses vara sammansatt av ett motstånd i vindriktningen och en tvärkraft, vinkelrätt mot vinden. Denna tvärkraft upptäcktes och förklarades 1852 av den tyske fysikern Magnus, denna tvärkraft kallas därför Magnuseffekten. Största värdet på tvärkraften är ungefär  $0,6 \cdot v$  [ $\text{kg/m}^2$ ] av cylinderns längdgenomsnitt (v = vindhastigheten i m/s). (Nerén, 1927)

Figur 4 visar ett rotorsegel som avgränsats med skivor och figur 5 visar sammansättningen av en modern installation av rotorsegel på ett fartyg.



Figur 4. Hur ett Norsepower Rotor Sail fungerar (Norsepower, 2017)

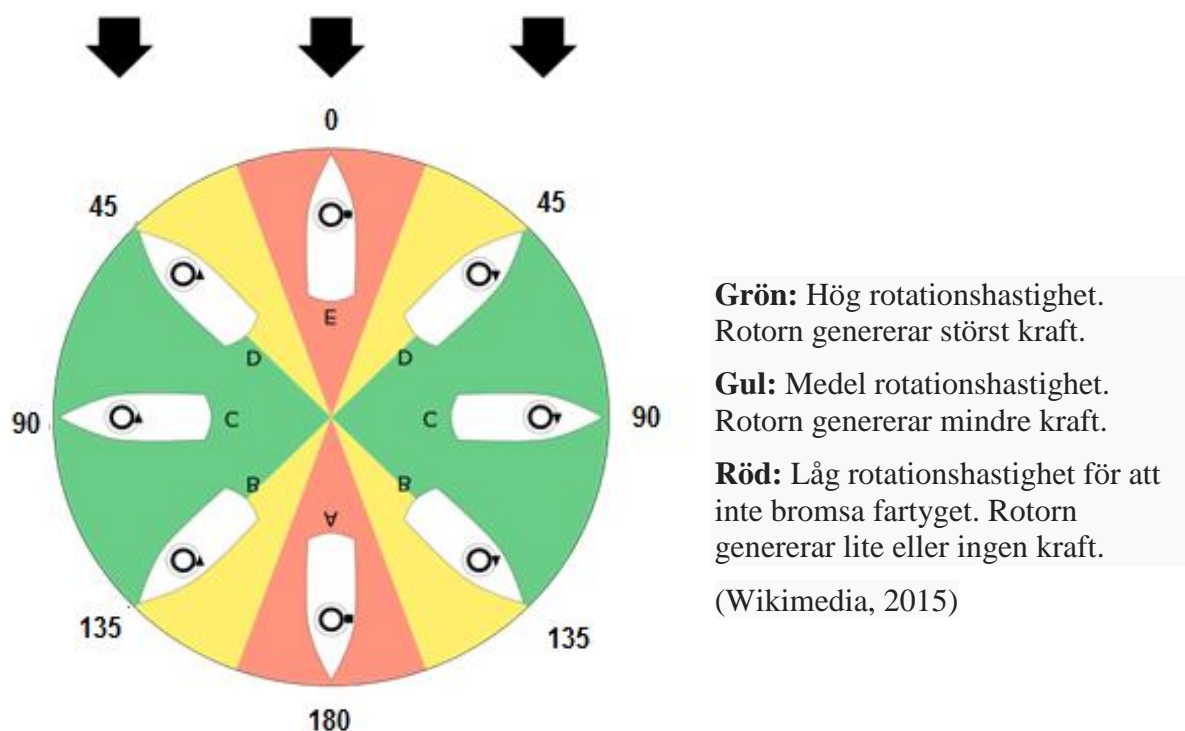


Figur 5. Illustration av Norsepower Rotor Sail Solution (Norsepower, 2017)

För att hålla rotorn i rotation krävs en särskild motor. Den för rotationen nödvändiga effekten ökas med varvtalet på motorn. Vid optimal vindriktning (ungefär sidovind) blir dock den tillgodogjorda vindeffekten för segling flera gånger större än den tillförda energin. Vid ogynnsam vindriktning (mot- och medvind) blir den tillgodogjorda vindeffekten mindre. Här ligger en allvarlig begränsning av rotorprincipens praktiska användning för framdrivning av fartyg. (Nerén, 1927)

Figur 6 visar seglingspunkter för ett fartyg utrustat med rotorsegel. De svarta pilarna visar från vilket håll vinden kommer ifrån och förklarar förenklat vilka relativa vindriktningar som ger bäst effekt för fartygets framdrift. Kraftig vind från rätt håll och lite sjögång kan anses som optimala väderförhållanden. (Wikimedia, 2015)

Som figuren nedan visar (fig.6) ger en kurs med relativ vindriktning inom det gröna fältet. Alltså ges bäst effekt där vinden kommer från sidan mellan 45-135° relativ vind. Inom de röda fälten har rotorn ingen effekt alls och roterar långsamt för att lättare släppa förbi vinden och inte bromsa fartyget. (Wikimedia, 2015)

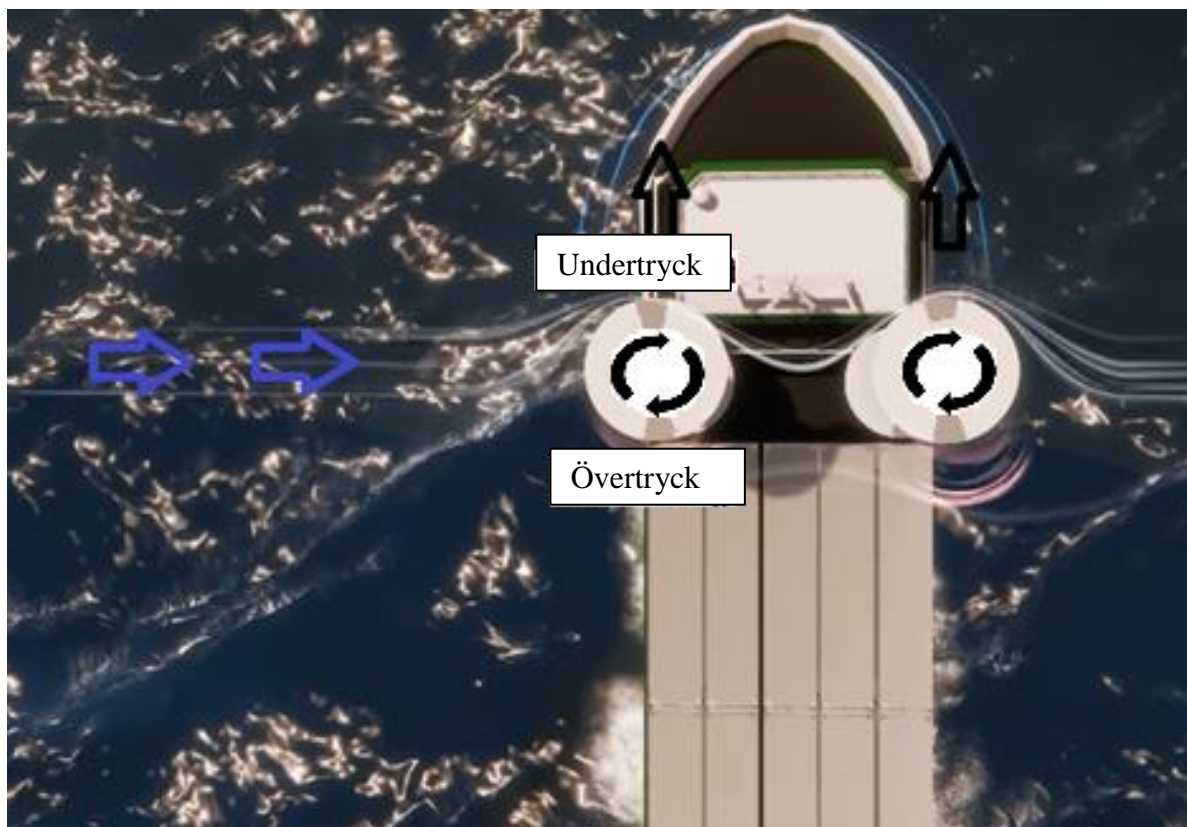


Figur 6. Seglingspunkter för fartyg utrustat med rotorsegel (Wikimedia, 2015)



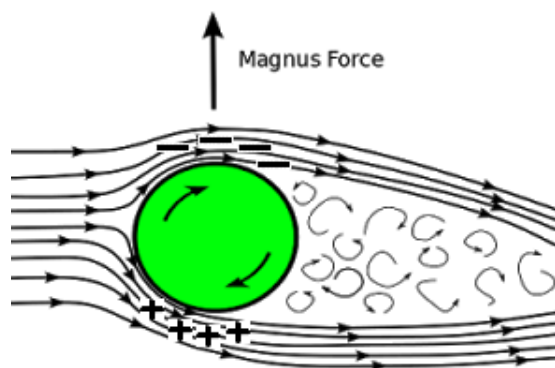
## 2.4 Magnuseffekten

Magnuseffekten innebär att när vinden i det här fallet träffar den roterande cylindern kommer luftflödet framför cylindern att accelerera så att ett lägre tryck skapas. På motsatt sida blir trycket då högre. Tryckförändringarna gör att cylindern vill flytta sig framåt, som beskrivs i figur 7. Det är den kraft man vill använda sig av för att hjälpa ett fartygs framdrift. Ju snabbare cylindern roterar ju större blir Magnuseffekten. (International Windship Association, 2017)

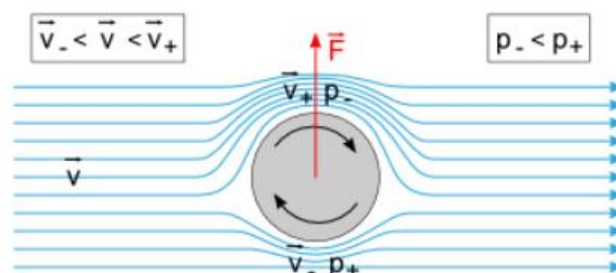


*Figur 7. Bilden visar övertrycksidan och undertrycksidan vid ett rotorsegel. (International Windship Association, 2017)*

Figur 8 och 9 visar tryckförändringarna och förändringen av luftens hastighet. Framför cylindern ökar luftens hastighet och trycket minskar. På motsatt sida minskar luftens hastighet och trycket ökar.



Figur 8. Skiss av Magnuseffekten (Preciseish, 2017)



Figur 9. Tryck- och hastighetsförändringarna runt rotorseglet (Enercon, 2013)

## 2.5 Fartyg utrustade med rotorsegel idag

M/V Estraden, som visas i figur 10 och 11, är byggt 1999 vid Aker Finnyards i Raumo, Finland. M/V Estraden utrustades med två rotorsegel 2014. (Bore, 2017). I tabell 1 visas M/V Estradens fartygsdata.

Tabell 1. M/V Estradens fartygsdata

|                    |          |
|--------------------|----------|
| Gross tonnage (GT) | 18 205 t |
| Net tonnage (NT)   | 5 462 t  |
| Deadweight (DWT)   | 9 700 t  |
| Length over all    | 162.70 m |
| Breadth moulded    | 25.70 m  |
| Max draft          | 6.60 m   |

|                |  |
|----------------|--|
| Huvudmaskineri | 2 x Wärtsilä 8L46A, 7 240 kW/500 RPM each, total 14 480 kW |
| Hjälpmaskineri | 2 x Caterpillar 3508B 856 kW total 1 712 kW                |
| Bowthruster    | 900 kW   |
| Service speed  | 19 knop  |
| Rotorsegel     | 2 st. 18 x 3m  |



*Figur 10. M/V Estraden (Bore, 2017)*



*Figur 11. Ro-Ro Cargo Ship M/V Estraden (Norsepower, 2017)*

E-ship 1, som visas i figur 12 och 13, är byggt 2010 vid Cassens Shipyard i Emden, Tyskland. E-ship 1 sköter transporter åt Enercon, som tillverkar vindkraftverk. Fartyget är specialbyggt för just det ändamålet. (Motorship, 2011). I tabell 2 visas fartygsdata för E-Ship 1.

*Tabell 2. E-Ship 1, fartygsdata*

|                    |               |
|--------------------|---------------|
| Gross tonnage (GT) | 12 968        |
| Deadweight (DWT)   | 12 800        |
| Length o a         | 130 m         |
| Rotor Sail         | 4 st. 27 x 4m |



*Figur 12. General Cargo Ship E-Ship 1 (Shipspotting, 2017)*





*Figur 13. E-Ship 1 (Motorship, 2011)*

## 2.6 Planerade fartyg med rotorsegel

Viking Line har annonserat att Viking Grace, figur 14, ska utrustas med rotorsegel, men detta är något som inte ännu förverkligats.



*Figur 14. Viking Grace (Norsepower, 2017)*

Norsepower har meddelat att de kommer att installera och prova rotorsegel ombord på ett Maersk tankfartyg, figur 15.



*Bild 15. Maersk Tanker (Norsepower, 2017)*

Att fler och fler rederier har blivit intresserade och undersöker möjligheterna med hjälpframdrift av rotorsegel visar att det finns planer för installation på många olika typer av fartyg i framtiden.

### **3. METOD**

Jag har utformat en enkät med frågor gällande rotorsegel som sänts till tillverkare av rotorsegel, för att få information om deras produkter och syn på användningen av rotorsegel i framtiden. Jag har även varit i kontakt med rederier som har installerat rotorsegel och rederier som överväger en installation på sina fartyg. Ytterligare har jag genom litteraturstudier samlat fakta från tillförlitliga artiklar utgivna i olika vetenskapliga publikationer. Även intressanta internetsidor har varit en bidragande källa för detta arbete.

#### **3.1 Respondenter**

Respondenterna för enkäten är sakkunniga personer från både tillverkare och rederier som varit involverade i användningen av rotorsegel och är insatta i funktionen. Totalt har 3 personer från olika företag bidragit med svar på frågorna som jag skickat ut. Det skulle givetvis ha varit roligare med lite fler svarande.

#### **3.2 Tillvägagångssätt**

Jag började med att sammanställa ett frågeformulär till de företag jag ville ha information ifrån. Jag har sedan kontaktat respondenterna och lagt fram mina frågeställningar och mejlade dem enkäten som jag ville ha svar på. De har sedan skickat in sina svar som också getts via email. Svaren har gått igenom, analyserats och jag har samlat de mest intressanta och väsentliga svaren för detta arbete. Frågorna i enkäten återfinns i bilaga 2. Utöver kontakter med tillverkare och rederier har jag sökt information om rotorsegel i faktalitteratur och på internet.

#### **3.3 Etiska principer**

Enligt vetenskapsrådet är de fyra grundkraven vid intervjuer och enkäter: informationskravet, samtyckeskravet, konfidentialitetskravet och nyttjandekravet. Arbetet och intervjuerna har utförts med vetenskapsrådets forskningsetiska principer i beaktande. Respondenterna hålls anonyma enligt god sed men företagen är dock nämnda. (Vetenskapsrådet, 2017)

## 4. RESULTAT

För att få ett rotorsegel att fungera behöver det rotera och driva luftströmmen runt seglet. Rotorseglen drivs hela tiden med el från fartygets hjälpmaskineri och rotationshastigheten ställs in automatiskt genom ett elektroniskt styrsystem. Ett exempel visar följande: För att driva ett 18 x 3m rotorsegel i 250 RPM krävs 35 kW som tas från hjälpmaskineriet ombord. Rotorseglet genererar då tillsammans med vinden en framdrivningskraft på 500 kW. Vinningen blir då 465 kW i framdrift.

Rotorseglen är mycket beroende av vilken riktning vinden kommer från, i förhållande till fartyget, d.v.s. den relativa vindriktningen. Bäst effekt får man om vinden kommer in från sidan i 90 graders infallsvinkel. Ju högre hastighet cylindern roterar desto större blir även Magnuseffekten. Om vinden kommer in från fören eller aktern så har rotorseglen ingen eller väldigt liten framdrivningseffekt. Om det är vindstilla eller väldigt svag vind så har rotorseglen heller ingen effekt. För att de inte ska bromsa fartygets framfart på grund av luftmotståndet så kan de ställas in så de roterar sakta och skickar på så sätt vinden lättare runt sig. Då påverkar de inte framfarten nämnvärt. (Bore, 2017)

Efter intervju med ett av rederierna som installerat rotorsegel på ett av sina fartyg, fick jag reda på att de redan efter några månader kunde se att bunkerförbrukningen hade gått ner. De kunde dock inte ge något exakt svar på hur mycket inbesparingen berodde på just rotorseglen. De kunde även, under gynnsamma väderförhållanden, dra ner på effekten på huvudmaskineriet med 2000 kW och ändå hålla samma fart med hjälp av rotorseglen.

Vad gäller stabiliteten så menar rederiet att den inte påverkas nämnvärt av rotorseglen. Detta för att anläggningen väger så pass lite i förhållande till fartygets displacement. Tyngdpunktförflyttningen blir därför försumbar. Fartyget man installerat rotorsegel på är så pass styvt från början med stort GM<sup>12</sup> så lite sämre stabilitet är bra för rullningen, lasten och gör det behagligare att vistas ombord.

---

<sup>12</sup> GM är avståndet mellan fartygets systemvikstyngdpunkt (tyngdpunkt) och Metacentrum (rullningscentrum/upphängningspunkt) och är således ett mått på fartygets stabilitet.



## 4.1 Norsepower

Norsepower är ett finskt företag som grundades 2012 och som specialiserat sig på tillverkning av rotorsegel. Deras Norsepower Rotor Sail Solution lämpar sig bäst för tank-, bulk-, Ro/Ro-fartyg<sup>13</sup> och färjor. (Norsepower, 2017)

Många rederier är intresserade och utvärderar möjligheterna för olika bränslebesparingar. Norsepowers Rotor Sail-teknik är ny på marknaden och de ser en ökning på efterfrågan.

De har utvecklat tre standardutföranden på rotorsegel med måtten (längd x diameter);

18 x 3m

24 x 4m

30 x 5m

Bästa placeringen för rotorseglen är på ett öppet däck där rotorseglen exponeras för vind från alla håll. Avståndet mellan två segel eller ett hinder, såsom däckshus eller skorsten, bör vara minst  $10 \times D$ , där  $D$  är rotordiametern. (Norsepower, 2017)

Rotorns vikt och placering har enligt Norsepower en viss påverkan på fartygets stabilitet och måste kontrolleras och tas i beaktande vid varje nyinstallation. En 18 x 3m enhet väger 20 ton och har en segelyta på  $169 \text{ m}^2$ .

Kraften som seglen genererar är helt beroende av vindförhållandena och enligt företaget själva så ligger, vid goda vindförhållanden, de genomsnittliga bränslebesparingsresultaten inom 3 – 5 % av fartygets framdrivningseffekt för varje Norsepower Rotor Sail-enhet.

Lämpliga vindförhållanden finns till exempel i Nordsjön och Nordatlanten. Norsepower rekommenderar dock inte att dra slutsatser av potentiella besparingar baserat på grova uppskattningar. De har simuleringsverktyg för mer noggranna beräkningar av bränslebesparingar för enskilda fall. Som exempel nämner de ett Ro/Ro-fartyg som är utrustat med två 18 x 3 Norsepower Rotor Sails som med hjälp av dem sparar, i genomsnitt, 400 ton MGO<sup>14</sup> per år. (Norsepower, 2017)

---

<sup>13</sup> Ro/Ro: Roll on Roll off. Fartyg där lasten lätt kan köras ombord via en akterramp.

<sup>14</sup> MGO: Marine Gas Oil, En typ av Dieseldrivmedel för fartyg.

De omnämner även en planerad nyinstallation på ett Aframax-tankfartyg<sup>15</sup> som kommer att utrustas med två 30 x 5 Norsepower Rotor Sails och beräknas därigenom spara ungefär 1000 ton HFO<sup>16</sup> per år.

Vad gäller minskning av utsläpp av koldioxid, menar de att den är ungefär tre gånger besparingen av bränsle. T.ex. fartyget som minskar sin bränsleförbrukning med 400 ton per år minskar också sitt koldioxidutsläpp med 1200 ton per år. (Norsepower, 2017)

## 4.2 Bore

Bore är ett finskt rederi grundat 1897 som i huvudsak inriktar sig på Ro/Ro-frakt. De har utrustat ett av sina fartyg med Norsepowers Rotor Sail Solution. Den variant som Bore valt har måtten 18 x 3m. De uppger att inbesparingen uppfyllde de överenskomna värdena som tillverkaren satt. Dock kan de inte säga exakt hur mycket bränsle som sparats enbart med hjälp av rotorseglen eftersom det är mycket annat som spelar in, t ex bottenfärg, borstning av botten eller mer variation med kombinatordrift<sup>17</sup>. (Bore, 2017)



*Bild 16. Påväxt på botten på fartygen strävar fartygets framfart. (Foto: Purdue Engineering)*

<sup>15</sup> Aframax: Tankfartyg med dödvikt mellan 80 000 – 120 000 designade för att anlöpa hamnar i USA.

<sup>16</sup> HFO: Heavy Fuel Oil, Trögflytande olja som måste upphettas för att kunna användas som bränsle för fartyg.

<sup>17</sup> Kombinatordrift: Varierande varvtal och propellerstigning

I tabell 3 visas tillverkarens (Norsepower) uppskattning av Estradens inbesparing i motoreffekt och kostnader.

Tabell 3. M/V Estraden, förväntad besparing (Bore, 2017)

|   | <b>Estraden</b> |
|---|-----------------|
| Average savings kW                              | 368             |
| Open sea hours yearly                           | 6500            |
| Saved MWh per year                              | 2394            |
| Fuel price (IFO380 \$/mt, Rotterdam 2013-02-19) | 638             |
| Fuel consumption (g/kWh)                        | 190             |
| Fuel cost eur per kWh                           | 0.091           |
| <b>Eur per year</b>                             | <b>218000</b>   |

Vad gäller förlorad lastkapacitet menar Bore att den inte påverkas nämnvärt eftersom fartyget är byggt för att köra tunga trailers, pappersrullar och dylikt. I verkligheten finns det nästan alltid också delvis tomma trailers och containers som går i retur. Det är ytterst sällan man kör fartyget fullt nerlastat på lastmärket.

Tabell 4. Beräkning på reducering av motoreffekt (Bore, 2017)

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| <b>Huvudmaskineri</b>          | 2 x Wärtsilä Vasa 8L46, 14480 kW (19693 hp) |
| <b>Service speed</b>           | 19,0 kn at full draft                       |
| <b>Bunkerkonsumtion</b>        | 55ton/24h at 85 % power                     |
| <b>Genomsnittlig besparing</b> | 368 kW                                      |

$$\frac{368 \text{ kW}}{14480 \text{ kW}} = 2,5 \%$$

Från tabell 4 och uträkningen ovan kan man alltså visa att rotorseglen, vid optimala vindförhållanden (105 grader relativ vind), förväntas spara 368 kW av huvudmaskineriet. Besparingen dividerat med huvudmaskineriets fulla effekt ger en minskning i effektuttag på ca. 2,5 %.

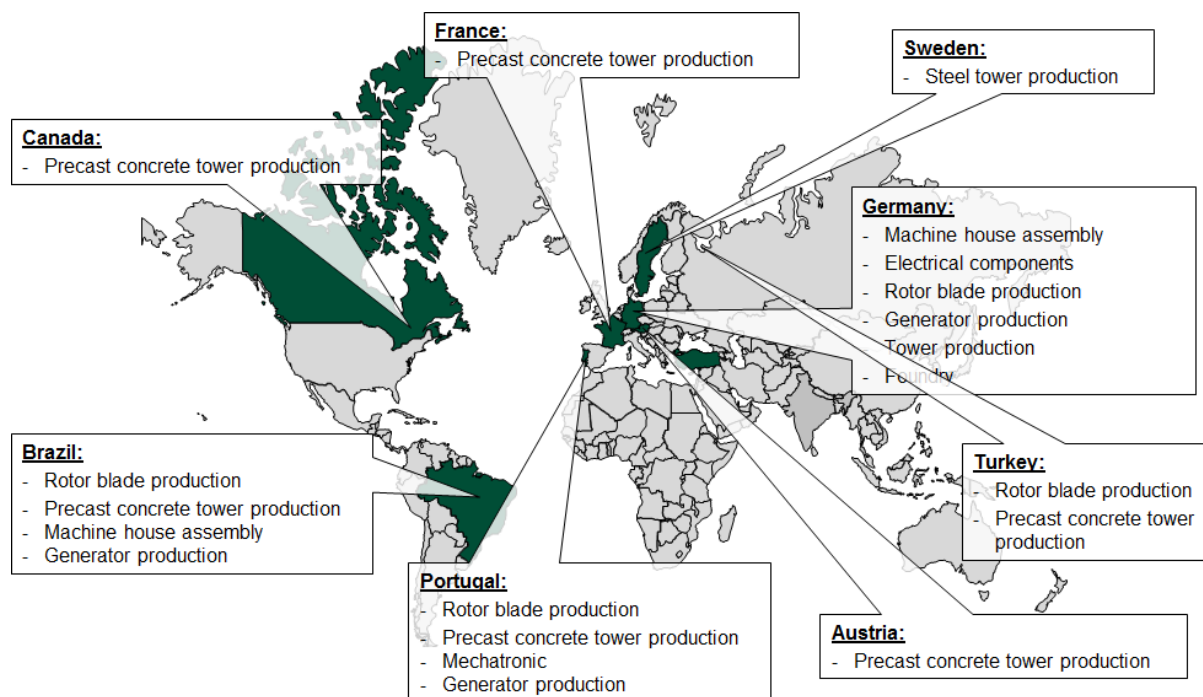
Vid frågan om hur rotorseglen påverkar fartygets stabilitet uppger de att fartyget är onödigt styvt från början, så med två rotorsegel placerade på översta däckets minskar fartygets GM en aning, vilket gör att det blir mjukare rullning som är bra för last och behagligare för besättningen.

Manöverförmågan påverkas inte heller nämnvärt. Detta på grund av att under en viss fart slår systemet om till ”invisible mode”. Då roterar rotorseglen lagom långsamt för att endast släppa förbi vinden utan att bromsa fartyget. I det läget genererar de ingen eller liten effekt.

Rederiet har i nuläget inga planer på att utrusta fler fartyg med rotorsegel.

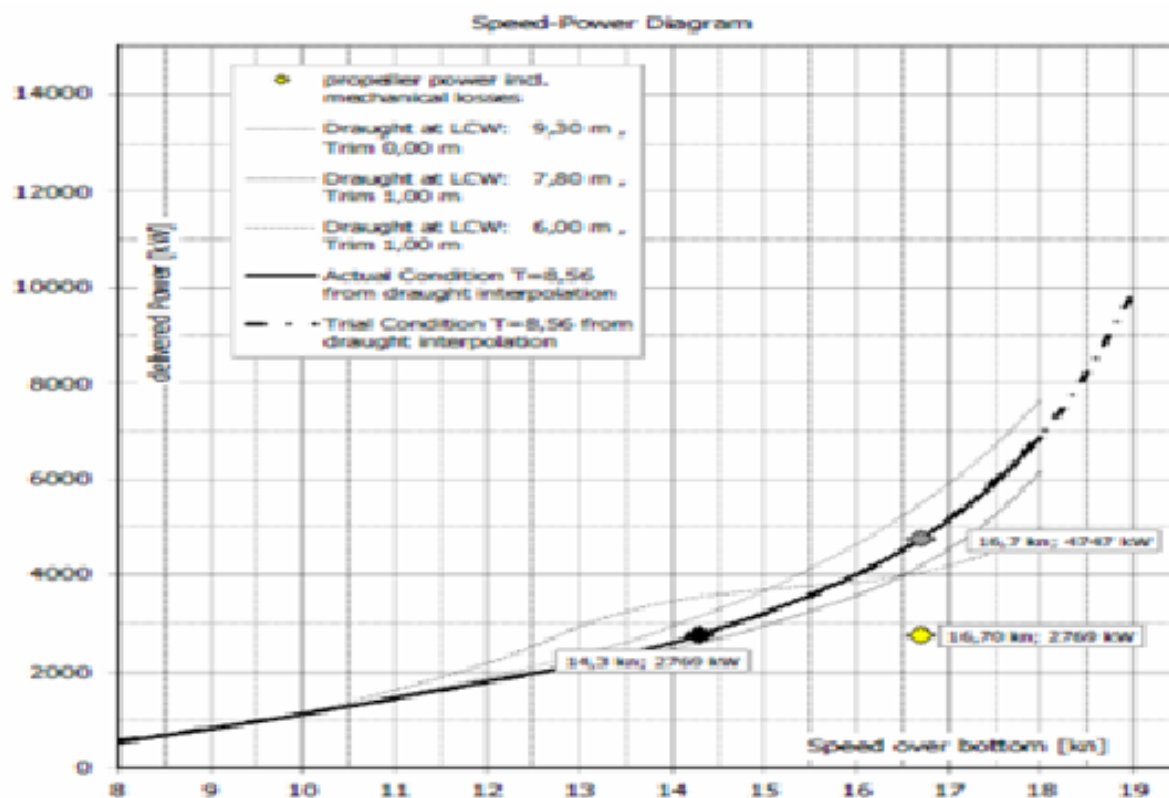
### **4.3 Enercon**

Enercon är ett företag som tillverkar komponenter till huvudsak vindkraftverk. De har fabriker i Europa, Nord- och Sydamerika enligt figur 17. Där tillverkar de bl.a. rotorblad, generatorer, elektriska komponenter, och vindkrafttorn. Enercon har byggt ett fraktfartyg E-Ship 1 som är utrustat med fyra rotorsegel specialanpassat för deras transporter av egna produkter. De menar också att det är ett sätt att genomföra transporterna på ett sätt som minimalt påverkar miljön. Kontrollsystemet för rotorseglen är helt automatiserat och ställs in efter vindförhållandena. De uppger att deras system kräver lite underhåll och ingen omfattande extra utbildning av besättningen. Det krävs inte heller någon extra besättning pga. rotorseglen.



Figur 17. ENERCONs utbredning av fabriker och produktion för vindenergi (Enercon, 2013)

Som diagrammet nedan visar, figur 18, så menar Enercon att med en huvudmaskineffekt på 2769 kW kan de hålla 14,3 knop. Med hjälp av rotorseglen ökar farten med 2,4 knop med samma maskineffektuttag. Om E-Ship 1 skulle hålla samma fart med enbart huvudmaskin så skulle det då behövas en huvudmaskineffekt på 4747 kW. (Enercon, 2013)



$V_{\text{with Rotors}} = 16,7 \text{ kn}$   
 $P_{\text{Shaft}} = 2769 \text{ kW}$   
 $P_{\text{Shaft theor.}} = 4747 \text{ kW}$

$V_{\text{without Rotors}} = 14,3 \text{ kn}$   
 $P_{\text{Shaft}} = 2769 \text{ kW}$

$\Delta P_{\text{Shaft}} = 1978 \text{ kW}$   
 $- \text{Rotor } P_{\text{rotors}} = 280 \text{ kW}$   
 $\text{netto } P_{\text{red}} = 1698 \text{ kW}$

Figur 18. Effektbesparing med hjälp av rotorsegel som resultat av fartskillnad. (Enercon, 2013)

En del fartyg har redan använt rotorsegel på längre sträckor. Figur 19 visar vilka rutter E-ship 1 hittills har seglat med hjälp av sina rotorsegel.

**Shipping routes**  
**E-Ship 1**



*Figur 19. Enercons shipping routes; E-ship 1 (Enercon, 2013)*

## 5. DISKUSSION

Jag har under dessa studier och arbetets gång fått en mer ingående bild av vad rotorsegel är och i vilken utsträckning de används ombord på fartyg idag. Användningen av rotorsegel i dagsläget är tyvärr inte så utbredd ännu och det har visat sig vara lite problematiskt att samla in riktigt bra användningserfarenheter och information om driften. Framtiden ser ändå enligt tillverkarna ljus ut. Allteftersom måste sjöfarten och rederierna reducera sina utsläpp av bl.a. växthusgaser och samtidigt reducera sitt beroende av fossila bränslen på grund av nyttillkomna hårdare internationella regelverk.

Kundernas ökande krav på miljövänligare transportmetoder, har gjort att fler och fler rederier börjat undersöka om rotorsegel kan vara en hållbar lösning för hjälpdrift av framdrivning av fartyg. Det har visat sig att rotorseglen har en viss inverkan på bränsleförbrukningen och är därmed även bra för miljön. Men om besparingarna av bränslen väger upp investeringskostnaderna och den förlorade lastkapaciteten är ännu inte helt klart. Samtidigt ska rotorseglen drivas med el från fartygets hjälpmaskineri vilket också förbrukar bränsle. I framtiden kanske rotorseglen kan drivas med hjälp av andra energikällor t.ex. solceller. Då blir miljövinningen om ännu större.

Rotorseglen är, som tidigare nämnts, helt beroende av vindens styrka och relativa riktning för att de ska generera en bra magnuseffekt och när det är vindstilla eller när vinden kommer från ”fel” riktning så är rotorseglen tyvärr bara extra vikt ombord. Optimala förhållanden för rotorsegel är kraftig sidovind och då med lite sjögång. De lämpar sig därför inte för alla sjöområden och all typ av sjöfart, men där man alltid kör samma kurser och vinden oftast kommer från samma håll skulle det fungera bra. Rotorseglen ändrar också fartygets utseende kraftigt och fartyget blir avsevärt mycket högre. Det skapar såklart problem vid passager i vissa farleder där höjden är begränsad av t.ex. broar och/eller kraftledningar.

Exakt hur mycket rotorseglen hjälper fartygets framdrift är fortfarande svårt att säga, eftersom den bedömningen måste göras från fall till fall och från fartyg till fartyg.

Det är mycket annat som kan påverka fartygets framdrift och ge bättre bränsleekonomi och mindre utsläpp, t.ex. faktorer som hur mycket påväxt som finns på undervattenskrovet.



## 6. SLUTSATS

En frågeställning var hur mycket rotorseglen påverkar fartygets framdrift. Efter arbetets gång blev det tydligt att rotorseglen faktiskt har en inverkan på fartygets framdrift och möjligheten att både spara på uttagen maskineffekt och att minska bränsleförbrukningen. Det är dock svårt att säga exakt hur mycket, på grund av att det är mycket som påverkar det slutgiltiga resultatet. Vindarna och sjögången måste vara gynnsamma och det varierar också mycket med årstiderna. Så man kan alltid diskutera om det är värt att installera rotorsegel på fartyg med tanke på om besparingarna täcker upp investeringskostnaden på tid.

Växthuseffekten sägs orsakas till stor del av användningen av fossila bränslen. Vid förbränning av dessa bildas gaser som t.ex. koldioxid. Gaserna stannar kvar i jordens atmosfär. Detta gör att solens värmestrålning som når jorden hindras från att lämna atmosfären, vilket leder till att temperaturen på jordytan fortsätter att stiga. Genom att använda rotorsegel på fartyg kan man dra ner effekten på huvudmaskinerna och på så sätt minska bränsleförbrukningen, vilket också minskar utsläppen av växthusgaserna.

Hur mycket fartygets utsläpp av växthusgaser minskas med hjälp av rotorsegel är såklart beroende av vilken typ och storlek på rotorseglen som används och förekomsten av gynnsamma vindar. Ett fartyg som nämnts tidigare i arbetet, kunde spara i genomsnitt 400 ton MGO per år, vilket ger en minskning i utsläpp med 1200 ton CO<sub>2</sub>. Detta kan anses vara ett rimligt och bra miljöresultat.

Den tredje frågeställningen var hur rotorseglen påverkar fartygets stabilitet. Eftersom rotorseglen idag tillverkas av komposit är de lätta och påverkar inte fartygets stabilitet så mycket även om de är höga och placerade högt upp i fartyget. En viss minskning av GM uppger respondenterna att rotorseglen ger, men det är inget som försämrar fartygets stabilitet eller manöverförmåga nämnvärt. Rotorseglets vikt är ändå bara en bråkdel av ett stort fartygs displacement.

Den fjärde frågeställningen var hur mycket lastkapacitet som går förlorad vid en installation av rotorsegel. Det beror såklart på vilken typ av fartyg det gäller samt vilken storlek på rotorseglen som valts. Ett Ro/Ro fartyg har t.ex. ofta outnyttjad lastkapacitet, ibland genom

tomma containers och trailers. Vikten borde därmed inte orsaka någon större förlust av lastkapaciteten. Däremot är placeringen och den plats som rotorseglen tar upp troligtvis det största problemet. Alla fartyg är inte från början byggda och konstruerade för att ge plats åt eller bära ett eller flera rotorsegel.

Det skall ändå bli intressant att se hur användningen av rotorsegel utvecklar sig i framtiden. Kanske fler och fler fartyg utrustas med rotorsegel och kanske de kan drivas på något annat sätt än med hjälp av fartygets hjälpmaskineri, t.ex. med hjälp av solceller, för att på så sätt göra dem ännu miljövänligare. Varje rotorsegel som monteras på fartyg är en vinst för miljön.

# KÄLLOR

Bore. (den 24 10 2017). Bore. *Svarsformulär* .

Bore. (den 14 11 2017). *Bore*. Hämtat från Bore: <http://www.bore.eu/fleet/mv-estraden/> den 14 11 2017

Enercon. (den 24 09 2013). *Ship Efficiency*. Hämtat från Ship Efficiency: [http://www.ship-efficiency.org/onTEAM/pdf/06-STG\\_Ship\\_Efficiency\\_2013\\_100913\\_Paper.pdf](http://www.ship-efficiency.org/onTEAM/pdf/06-STG_Ship_Efficiency_2013_100913_Paper.pdf) den 14 11 2017

Energimyndigheten. (10 2017). *Energimyndigheten*. Hämtat från Sjöfartens omställning till fossilfrihet: <https://energimyndigheten.a-w2m.se/FolderContents.mvc/Download?ResourceId=5664> den 09 11 2017

HISWA Symposium. (den 14 11 2016). *HISWA Symposium*. Hämtat från HISWA Symposium: <http://www.hiswasymposium.com/wp-content/uploads/2017/06/S4-1-OPERATIONAL-EXPERIENCES-AND-RESULTS-FROM-....pdf> den 30 11 2017

IMO. (2012). Hämtat från RESOLUTION MEPC.213(63): [http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-\(MEPC\)/Documents/MEPC.213\(63\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-(MEPC)/Documents/MEPC.213(63).pdf) den 18 10 2017

International Windship Association. (2017). *International Windship Association*. Hämtat från International Windship Association: [www.wind-ship.org/en/grid-homepage/does-it-pollute/](http://www.wind-ship.org/en/grid-homepage/does-it-pollute/) den 10 11 2017

Marine Insight. (den 21 07 2016). *Marine Insight*. Hämtat från What is Ship Energy Efficiency Management Plan: <https://www.marineinsight.com/maritime-law/what-is-ship-energy-efficiency-management-plan/> den 14 10 2017

Motorship. (den 05 09 2011). *Motorship*. Hämtat från Motorship: <http://www.motorship.com/news101/industry-news/e-ship-1-passes-kiel-canal-for-first-time> den 14 11 2017

Nerén, J. (1927). *Motorencyklopedi*. P.A. Norstedt & Söners Förlag.

Norsepower. (den 01 01 2017). *Crusie ferry*. Hämtat från Crusie ferry: <http://www.norsepower.com/references/cruise-ferry> den 17 11 2017

Norsepower. (den 14 11 2017). *Norsepower*. Hämtat från Norsepower: <http://www.norsepower.com/> den 14 11 2017

Norsepower. (2017). *Norsepower Rotor Sail Solution*. Hämtat från Norsepower Rotor Sail Solution: <http://www.norsepower.com/rotor-sail-solution> den 18 10 2017

Norsepower. (den 01 01 2017). *Tanker*. Hämtat från Tanker: <http://www.norsepower.com/references/tanker> den 17 11 2017

Preciseish. (2017). *Preciseish*. Hämtat från The Magnus Effect: <http://www.preciseish.com/2013/05/the-magnus-effect.html> den 24 10 2017

Shipspotting. (den 14 11 2017). *Shipspotting*. Hämtat från Shipspotting: <http://www.shipspotting.com/gallery/photo.php?lid=1287778> den 14 11 2017

Transportstyrelsen. (2017). *Regler om energieffektiv konstruktion och drift av fartyg*. Hämtat från Regler om energieffektiv konstruktion och drift av fartyg: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/sjofart/Miljo-och-halsa/Klimat-och-energi/Energy-Efficiency-Design-Index-EEDI/> den 01 11 2017

Vetenskapsrådet. (den 13 11 2017). *Forskningsetiska principer*. Hämtat från Forskningsetiska principer: <http://www.codex.vr.se/texts/HSFR.pdf> den 16 11 2017

Wikimedia. (den 24 10 2015). *Points of sail for rotorships*. Hämtat från Points of sail for rotorships: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Points\\_of\\_sail\\_for\\_rotorships.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Points_of_sail_for_rotorships.svg) den 24 10 2017

# BILAGOR

## BILAGA 1

RESOLUTION MEPC.213(53)

Adopted on 2 March 2012

2012 GUIDELINES FOR THE DEVELOPMENT OF A  
SHIP ENERGY EFFICIENCY MANAGEMENT PLAN (SEEMP)

MEPC 63/23

Annex 9, page 12

### APPENDIX

#### A SAMPLE FORM OF A SHIP EFFICIENCY ENERGY MANAGEMENT PLAN

|                 |  |           |  |
|-----------------|--|-----------|--|
| Name of Vessel: |  | GT:       |  |
| Vessel Type:    |  | Capacity: |  |

|                                  |              |                 |  |
|----------------------------------|--------------|-----------------|--|
| Date of Development:             |              | Developed by:   |  |
| Implementation Period:           | From: Until: | Implemented by: |  |
| Planned Date of Next Evaluation: |              |                 |  |

#### 1 MEASURES

| Energy Efficiency Measures | Implementation (Including the starting date)   | Responsible Personnel  |
|----------------------------|--|--|
| Weather Routing            | <Example><br>Contracted with [Service providers] to use their weather routing system and start using on-trial basis as of 1 July 2012. | <Example><br>The master is responsible for selecting the optimum route based on the information provided by [Service providers]. |
| Speed Optimization         | While the design speed (85% MCR) is 19.0 kt, the maximum speed is set at 17.0 kt as of 1 July 2012.                                    | The master is responsible for keeping the ship's speed. The log-book entry should be checked every day.                          |
|                            |  |  |
|                            |  |  |
|                            |  |  |

#### 2 MONITORING

Description of monitoring tools

#### 3 GOAL

Measurable goals

#### 4 EVALUATION

Procedures of evaluation

(Annexes 10 to 34 to the report are contained in document MEPC 63/23/Add.1)

## BILAGA 2

Här bifogas de frågor jag ställt till tillverkare och rederier jag varit i kontakt med.

Frågor ställda till tillverkare av rotorsegel:

- Hur mycket används rotorsegel vid fartygsdrift?
- Vad är vanligaste placeringen ombord för rotorsegel? Varför?
- Hur mycket väger rotorseglen?
- Hur påverkar rotorseglen stabiliteten?
- Hur dyr är installationen av rotorsegel?
- Vilket underhåll kräver rotorseglen?
- Hur mycket hjälper rotorseglen fartygets framdrift?
- Hur mycket kan fartyget spara i bunker genom installation av rotorsegel?
- Hur mycket kan fartyget minska utsläpp av växthusgaser med hjälp av rotorsegel?
- Ser ni en ökning i efterfrågan?

Frågor ställda till rederier som installerat rotorsegel på något fartyg:

- Hur mycket kan Ert fartyg utrustat med rotorsegel spara i bunker?
- Hur mycket förlorar fartyget i lastkapacitet genom installationen av rotorsegel?
- Hur ligger besparing av bunker i förhållande till förlorad lastkapacitet?
- Hur mycket beräknar ni kunna minska utsläpp av växthusgaser med fartyget utrustat med rotorsegel?
- Planerar ni att installera rotorsegel på fler fartyg?
- Hur påverkas stabiliteten?
- Hur påverkas fartygets manöverförmåga?
- Hur mycket hjälper rotorseglen fartygets framdrift?
- Vad är optimala väderförhållanden?
- Vad är normal rotationshastighet?
- Hur lång tid förväntade ni er att tjäna in investeringen av rotorsegel genom bunkerbesparing? Hur lång tid tog det?