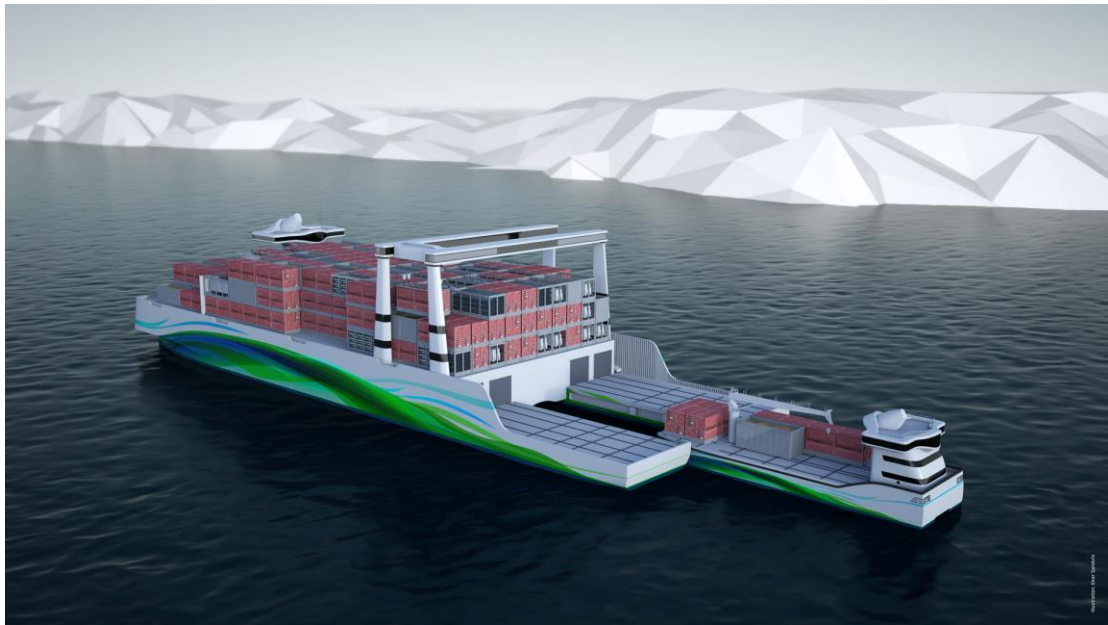




Høgskulen
på Vestlandet

Mulighetsstudie av fornybare energikilder på skip



Bachelorprosjekt utført ved
Høgskolen på Vestlandet Haugesund – Studie for ingeniørfag

Maskin, Prosess- og energiteknikk, Sikkerhet Kvalitet og HMS

Av: Martin Bakk Andersen
Fredrik Balchen Gundersen

Kand.nr 404
Kand.nr 401

Haugesund

Våren 2017



BACHELORPROSJEKT

Studenten(e)s navn: Martin Bakk Andersen
Fredrik Balchen Gundersen

Linje & studieretning Bachelor i ingeniørfag, maskin
Marin konstruksjonsteknikk
Bachelor i ingeniørfag, HMS

Oppgavens tittel: *Mulighetsstudie av fornybare energikilder på skip*

Oppgavetekst:

Er fornybare energikilder et godt alternativ for å redusere utslipp fra containerskip?

Oppgaven ser på om fornybare energikilder som sol- og vindenergi kan gi tilstrekkelige energimengder til å drifte ulike systemer om bord på et skip. Data fra vær, vind og tiltenkt seilingsrute er alle faktorer som påvirker energimengde produsert. Dette datagrunnlaget vil bli analysert.

Sikkerhetsaspekter vedgående produksjon og lagring av energi om bord vil bli vurdert ved hjelp av risikoanalyser.

Endelig oppgave gitt: 9. Mars 2017

Innleveringsfrist: Onsdag 10.mai 2017 kl. 12.00

Intern veileder: Ajit Kumar Verma – HVL, tlf: 52 70 27 76

Ekstern veileder: Ivan Østvik – Maritime CleanTech, tlf 995 30 720

Adresse ekstern veileder: Meattjønnsvegen 74 N-5412 Stord

**Godkjent av
studieansvarlig:**
Dato:

Forum S. Nysted
3/5-17



Høgskulen
på Vestlandet

Fornybare energikilder på skip



Norwegian Centres of Expertise
NCE Maritime CleanTech



Høgskulen
på Vestlandet

Høgskolen på Vestlandet
Studie for ingeniørfag
Bjørnsonsgt. 45
5528 HAUGESUND
Tlf. nr. 52 70 26 00
Faks nr. 52 70 26 01

Oppgavens tittel: Mulighetsstudie av fornybare energikilder på skip		Rapportnummer (Fylles ikke ut)
Utføres av: Martin Bakk Andersen Fredrik Balchen Gundersen		
Linje: Sikkerhet, KHMS Maskin, Marin Konstruksjonsteknikk		Studieretning: Ingeniør
Gradering: Åpen	Innlevert dato: 10.5.2017	Veiledere: Ajit Kumar Verma - HVL Ivan Østvik - Maritime CleanTech



Forord

Hovedoppgaven gjennomføres som siste del av den treårige ingeniørutdanningen ved Høgskulen på Vestlandet avd. Haugesund og teller 20 studiepoeng. Oppgaven går ut på å bearbeide en problemstilling som studentene selv har formulert, eller som en bedrift ønskes utført. Resultatet av hovedoppgaven skal presenteres som en rapport som reflekterer arbeidet som er gjennomført.

Målet med oppgaven er å vise at studenten er i stand til å løse en problemstilling ved å utnytte kunnskapene en har tilegnet seg under utdanningsforløpet. Oppgaven ble tildelt av NCE Maritime CleanTech som ønsket en mulighetsstudie om fornybare energikilder kunne anvendes til å redusere klimagasser fra containerskip.

Ettersom oppgaven ble skrevet tverrfaglig, ga det et reelt innblikk i hvordan en ingeniørs arbeidshverdag er i virkeligheten ved at oppgaven ble løst ved å samarbeide utover ens egne tilegnede kunnskap.

Rapporten er rettet mot NCE Maritime CleanTech, men resultatene som presenteres kan også anvendes for andre interesseparter som vil undersøke mulighetene for anvendelse av fornybare energikilder på skip som går langs norskekysten.

Vi ønsker å rette en stor takk til følgende:

Ajit Kumar Verma (Intern veileder) – Høgskulen på Vestlandet

Ivan Østvik (Ekstern veileder) – NCE Maritime CleanTech

Jean-Baptiste Curien – Gwind

Haugesund 10.5.2017

Fredrik Balchen Gundersen

Martin Bakk Andersen



Sammendrag

I dette mulighetsstudiet er det blitt sett på effektutnyttelsespotensialet til vind og solkraft og om hvorvidt disse ville kunne redusere klimagassutslippene til containerskip. Risiko forbundet med implementering av teknologien som omhandler denne ressursutnyttelsen ble også vurdert. Rapporten utreder beregnings-modeller for: Effekt-tap på skip og effektbidraget fra vingeseil, vindturbin- og solcelleteknologi. Det ble samlet inn værdata langs skipsruten fra Ålesund til Rotterdam, som gir et representativt bilde på hvilke fornybare energiforekomster som kan utnyttes langs den norske kysten. Teknologiene gruppen mente var representative for det kommersielle markedet og videre valgte å gjøre teoretiske utregninger på var:

- Vingeseil – NACA 0,0018
- Vertikalakset vindturbin – UGE - 4K
- Solcellepanel - REC TwinPeak series

Disse teknologienes årlige gjennomsnittlige effektutbytte ble beregnet i Microsoft Excel med de tilgjengelige værdataene fra den gitte ruten. Deretter ble disse sammenlignet med det årlige forbruket på henholdsvis 9000dwt, 19000dwt og 25000dwt skip for å se om Norges målsetning om å redusere klimagassutslippene med 40 % innen 2030 sammenlignet med 1990 kunne oppnås. Utregningene som ble gjort i rapporten er kun teoretiske og er ment som en veileder for hva som kan forventes av effektutbyttet til de diskuterte teknologiene.

Det ble funnet at vertikal akslede vindturbiner og solceller vil utgjøre under 1 % av skipenes totale effektforbruk og at installasjons- og vedlikeholdskostnader vil være høye sammenlignet med den lave miljøgevinsten. Vingeseil ble funnet til å kunne bidra med opptil 20 % av fremdriften på de aktuelle skipene, men vil kunne ha utfordringer med tanke på tilgjengelig dekksplass på containerskip og teknologiens umodenhet.

For eventuelle fremtidige installasjoner vil det være nødvendig å designe skipet og det elektriske systemet etter hvilke teknologier som skal monteres. Installasjonene vil også kreve et stort areal for å få et signifikant effektutbytte, noe som vil redusere tilgjengelig plass for containere. Den samlede risikoen ved å implementere disse energiutnyttelsesteknologiene ble vurdert til å være på et akseptabelt nivå, men at videre tiltak burde gjennomføres for å redusere risikoen ytterligere.



Summary

The bachelor thesis looks at the possibility for solar and wind energy installed on container vessels to contribute to the reduction of greenhouse gasses. The safety concerns regarding implementing these technologies on a ship has also been analyzed. The report used calculation methods regarding the efficiency loss on ships and the combined efficiency contribution from wing sails, wind turbines and photovoltaic cells. Wind and solar data were collected along the route Ålesund to Rotterdam to give a representation of the renewable energy sources that are available along the Norwegian coastline. The study group made a conclusion based upon the representability of the technology in the current commercial market and made theoretical calculations regarding:

- Wingsail – NACA 0,0018
- Wind Turbine – UGE – 4K (Vertical axis wind turbine)
- Solar panel – REC TwinPeak Series

The technologies yearly average efficiency contribution was calculated with the use of Microsoft Excel, using the available weather data along the chosen route. The results from these calculations was then compared to the annual fuel consumption of ships with the size 9000dwt, 19000dwt and 25000dwt to see if the reduced greenhouse gases would contribute to reach the Norwegian goal of reducing the emissions by 40% within the year 2030 compared to the year 1990. The calculations in this thesis are theoretical and are only meant as a guide as of what to expect from the discussed technologies. The study group would like to emphasize that further studies should be conducted when more detailed weather data is available, and when a specific ship and route has been determined before installations are made on a ship.

The thesis found that vertical axis wind turbines and solar panels only would contribute with less than 1% of the ships total energy consumption and that the costs related to installation and maintenance would be significant compared to the environmental benefits. Wingsails were found to be able to contribute up to 20% of the ships total propulsion demand, but will have issues regarding the deck space available on container ships. The technology criterias in regards to size and electric grid system should be taken into consideration when designing a ship in future, and that these technologies would have to take up some space originally intended for container units. The collective risk related to implementing the renewable energy technologies on a ship were considered to be on an acceptable level, but further risk reducing measures should be considered to lower the risk even further.



Innholdsfortegnelse

FORORD	III
SAMMENDRAG	IV
SUMMARY	V
FORKORTELSER	X
1. INNLEDNING	1
1.1 BAKGRUNN	1
1.2 FORMÅL	1
1.3 PROBLEMSTILLING	1
1.4 AVGRENSINGER	1
2. MILJØ OG SKIPSTEORI	3
2.1 NORSK SJØFART HISTORIE	3
2.2 SHIPPINGINDUSTRIEN I ET MILJØPERSPEKTIV	3
2.3 IMO OG EEDI	3
2.4 NORGES MÅLSETNINGER	4
2.5 SKIPSTEORI	4
2.5.1 Totalt effekttap P_{tap}	5
2.5.2 Total resistanse kraft R_T	5
2.5.3 Våtareal, S	5
2.5.4 Total resistanskoeffisient C_T	6
2.5.5 Friksjonskoeffisienten C_F	6
2.5.6 Inkrementell resistanskoeffisient C_A	6
2.5.7 Vindresistanskoeffisienten C_{AA}	7
2.5.8 Restresistansen R_T	7
3. VINDKRAFT	8
3.1 GENERELT OM VIND	8
3.2 OFFSHORE VINDKRAFT	8
3.3 VINDUTNYTTELSES TEKNOLOGI	9
3.3.1 Vindturbiner	9
3.3.2 HAWT- turbiner	10
3.3.3 VAWT-turbiner	11
3.3.4 Vingeseil	12
3.3.5 Valg av vindutnyttelsesressurser	12
3.4 VIND DATA	13
3.5 SEIL OG VAWT-TEORI	14
3.5.1 Vingeseil	14
3.5.2 VAWT teori	18
4 SOLKRAFT	24
4.1 GENERELT OM SOLENERGI	24
4.2 PV-PANEL TEORI	25
4.3 SOLCELLE-TYPER OG VIRKNINGSGRAD	26
4.3.1 Monokrystallinske celler	26
4.3.2 Polykrystallinske celler	27
4.3.3 Tynn-film PV-panel	27
4.3.3 Solcelle konklusjon	27
4.4 SOLDATA	28
4.5 SOLCELLEUTREGNINGER	29



5. CASE STUDIE	31
5.2 ÅRLIG MOTOREFFEKT.....	31
5.1 DRIVSTOFF	32
5.3 SKIPSUTSLIPP	32
5.4 RESULTATER OG DISKUSJON.....	33
5.4.1 Solceller	46
5.4.2 VAWT.....	46
5.4.3 Vingeseil	46
5.4.4 Klimagassreduksjon, økonomi og alternative løsninger	47
6. RISIKOANALYSE	49
6.1 BAKGRUNN	49
6.2 FORMÅL MED ANALYSEN	49
6.3 RAMMEBETINGELSER	50
6.3.1 Forutsetninger for analysen.....	50
6.3.2 Organisering av arbeidet.....	50
6.3.3 Styrende dokumenter	50
6.3.4 Grunnlagsdokumentasjon.....	51
6.4 METODE	52
6.5 GROVANALYSE	52
6.6 KATEGORISERING AV SANNSYNLIGHET OG KONSEKVENNS	54
6.7 VURDERING AV RISIKO.....	54
6.8 RISIKOREDUSERENDE TILTAK.....	55
6.9 TEKNISKE KOMPONENTER	56
6.9.1 Vindturbiner.....	56
6.9.2 Vingeseil.....	57
6.9.3 Solcellepanel	58
6.10 KONKLUSJON RISIKOANALYSE.....	59
7. KONKLUSJON	60
REFERANSER	62
VEDLEGG	I
VEDLEGG A REC 295 TP SPECSHEET.....	I
VEDLEGG B URBAN GREEN ENERGY 4K SPECSHEET.....	III
VEDLEGG C KOMPONENTLISTE TIL RISIKOANALYSE	V
VEDLEGG D GROVANALYSE VINDTURBINER.....	VII
VEDLEGG E GROVANALYSE SOLCELLER.....	XII
VEDLEGG F GROVANALYSE VINGESEIL	XVI
VEDLEGG G SOLRADIASJON	XIX
VEDLEGG H UTREGNINGER – VINGESEIL (EXCEL)	XXIV
VEDLEGG I UTREGNINGER – VINDTURBIN (EXCEL)	XXVI
VEDLEGG J KJELLERS VINDDATA	XXX
VEDLEGG K SKIPSSPESIFIKASJONER FOR CASER	XXXIII



Figurliste

FIGUR 1: INNSIDEN AV TURBINHUSET	9
FIGUR 2: EKSEMPELVERDIER FOR «CUT», VINDTURBIN	10
FIGUR 3: HAWT	10
FIGUR 4: VAWT	11
FIGUR 5: DARRIEUS TIL VENSTRE OG SAVONIUS TIL HØYRE	11
FIGUR 6: VÆRSTASJON LOKASJONER	13
FIGUR 7: SEIL POSISJONER FOR FORSKJELLIGE VINDRETNINGER	14
FIGUR 8: VINDHASTIGHET PÅ ET SEIL RESULTERER I TRYKKFORSKJELL	15
FIGUR 9: KREFTER OG TILHØRENDE KOEFFISIENTER SOM VIRKER PÅ EN SEILBÅT	15
FIGUR 10: FORHOLD MELLOM CL OG CD VERDIER	16
FIGUR 11: GJENNOMSNTTLIG EFFEKT FOR VINGESEIL NACA 0,0018 MED 30% FLAP	18
FIGUR 12: ELEKTRISK EFFEKT FRA TURBIN	20
FIGUR 13: EFFEKTUTNYTTELSE MED MOTSTAND FRA TURBIN	22
FIGUR 14: ÅRLIG TEORETISK EFFEKTUTBYTTE	23
FIGUR 15: AURIGA LEADER	24
FIGUR 16: FORKLARENDE SOLCELLEFIGUR	25
FIGUR 17: SOLRADIASJONSKART OVER EUROPA	28
FIGUR 18: ILLUSTRASJON FOR DE 3 ULIKE SKIPSKLASSENE [43],[44],[45]	31
FIGUR 19: FLYTSKJEMA FOR GJENNOMFØRELSE AV EN GROVANALYSE [42]	53
FIGUR 20: 5X5 RISIKOMATRISSE	55

Formelliste

$P_{tap} = RT * V_{skip}$ (1)	5
$RT = 12 * \rho_{vann} * CT * S * V_{skip}^2$ (2)	5
$S = 1,025 * \nabla T + 1,7 * L * T$ (3)	5
$CT = CF + CA + CAA + CR$ (4)	6
$CF = 0,075(\log Rn - 2)^2 = RF12 * p * S * V^2$ (5)	6
$Rn = V * Lv$ (6)	6
$1000 * CA = 12 * \log \nabla - 0,1 * (\log(\nabla))^2$ (7)	6
$CAA * 1000 = 0,28 * TEU - 0,126$ (8)	7
$L = 12 * \rho_{luft} * Va^2 * A_{seil} * CL$ (9)	16
$D = 12 * \rho_{luft} * Va^2 * A_{seil} * CD$ (10)	16
$FX = L \sin \alpha - D \cos \alpha$ (11)	16
$FY = L \cos \alpha - D \sin \alpha$ (12)	16
$P_{seil} = Fx * V_{skip}$ (13)	17
$P_{Seil} = 12 * A_{seil} * \rho_{luft} * Cx * V_{vind}^2 * V_{skip}$ (14)	17
$P = 12 * CP * \rho_{luft} * v^3 * A$ (15)	18
$V_{ap} = V_{true}^2 + V_{skip}^2 - V_{true} * V_{skip} * \cos \psi$ (16)	19
$P_{el} = 12 * CP * \rho_{luft} * A * V_{ap}^3$ (17)	19
$P_{situasjon,1} = 12 * CP * \rho_{luft} * A * V_{true}^3$ (18)	19
$P_{situasjon,2} = 12 * \rho_{luft} * A * (CP * V_{ap}, mot3)$ (19)	19
$P_{situasjon,3} = 12 * \rho_{luft} * A * (CP * V_{ap}, med3)$ (20)	19
$P_{situasjon,4} = 12 * \rho_{luft} * A * (CP * V_{ap}, 45deg3)$ (21)	19
$P_{test2} = 12 * \rho_{luft} * A * CP - CT * V_{skip}^2 + (CP - CT) * V_{true}^2 * V_{ap}$ (22)	21
$P_{test3} = 12 * \rho_{luft} * A * CP - CT * V_{skip}^2 + (CP + CT) * V_{true}^2 * V_{ap}$ (23)	21
$P_{test4} = 12 * \rho_{luft} * A * CP - CT * V_{skip}^2 + CP * V_{true}^2 * V_{ap}$ (24)	21
$P_{solcelle} = U * I$ (25)	26
$P_{solcelle} = A_{solcelle} * r * H * PR$ (26)	29
$P_{motor} = MCR * 0,85 * 0,7$ (27)	31
$CO_2 \text{ Årlig} = P_{motor} * UCO_2 * 24 * 365$ (28)	32
$SO_x \text{ Årlig} = P_{motor} * USOX * 24 * 365$ (29)	32
$NO_x \text{ Årlig} = P_{motor} * UNOX * 24 * 365$ (30)	32



Tabelliste

TABELL 1: S-VERDIER FOR FORSKJELLIGE SKIPS-TYPER.....	5
TABELL 2: INKREMENTELL RESISTANSVERDIER FOR SKIPSSTØRRELSER.....	6
TABELL 3: VINDRESISTANS KOEFFISIENT TABELL FOR FORSKJELLIGE TANK-SKIP.....	7
TABELL 4: GJENNOMSNITTLIGE VINDHASTIGHETER FOR DE VALGTE VÆRSTASJONENE.....	13
TABELL 5: ANGREPSVINKEL ψ OG TILHØRENDE CX VERDIER FOR NACA 0,0018 30 % FLAP.....	17
TABELL 6: VINGESEL NACA 0,0018.....	17
TABELL 7: UGE-4K SPESIFIKASJONER.....	20
TABELL 8 REC 295 TWINPEAK.....	30
TABELL 9: IRRADIASJON OG EFFEKT VERDIER FOR DE AKTUELLE LOKASJONENE.....	30
TABELL 10: SKIPS-SPEIFIKASJONER FOR DE FORSKJELLIGE SKIPSSTØRRELSENE [43], [44], [45].....	32
TABELL 11: KLIMAGASS VERDIER FOR DE 3 SKIPSSTØRRELSENE.....	33
TABELL 12: EFFEKT PRODUSERT AV DE ULIKE FORNYBARE ENERGIKILDENE OG EFFEKTESPARELSE I %.....	45
TABELL 13: UTSLIPPSREDUKSJON I TONN PER ÅR.....	45
TABELL 14: STYRENDE DOKUMENTER FOR GJENNOMFØRING AV RISIKOANALYSE.....	50
TABELL 15: GRUNNLAGSDOKUMENTASJON FOR VURDERING AV SANNSYNLIGHET OG KONSEKVENSTIL RISIKOANALYSE.....	51
TABELL 16: KATEGORIER FOR SANNSYNLIGHET.....	54
TABELL 17: KATEGORIER FOR KONSEKVENSTIL.....	54

Forkortelser

HVL	-	Høgskulen på Vestlandet
HMS	-	Helse, miljø & sikkerhet
DNV	-	Det Norske Veritas
IMO	-	International Maritime Organization
FN	-	De Forente Nasjoner
EEDI	-	Energy Efficiency Design Index
LNG	-	Liquid Natural Gas
TEU	-	Twenty-foot Equivalent Unit
DWT	-	Dead Weight Ton
HAWT	-	Horizontal Axis Wind Turbine
VAWT	-	Vertical Axis Wind Turbine
NACA	-	National Advisory Committee for Aeronautics
UGE	-	Urban Green Energy
NASA	-	National Aeronautics and Space Administration
PV	-	Photovoltaic
REC	-	Renewable Energy Corporation
AC	-	Alternating Current
DC	-	Direct Current
MCR	-	Maximum Continuous Rating
V.T	-	Vindturbin
V.S	-	Vingeseil



1. Innledning

1.1 Bakgrunn

NCE Maritime CleanTech kontaktet HVL med et ønske om at fornybare energikilder på containerskip skulle analyseres gjennom en mulighetsstudie. Maritime CleanTech ønsket å vite om fornybare energikilder som sol og vind var mulig å anvende på et skip med planlagt rute mellom Ålesund og Rotterdam, for å kunne redusere miljøskadelige utslippsgasser. Norge har som målsetting å redusere mengden utslippsgasser fra skip på norsk sokkel med 40 % innen 2030 og NCE Maritime CleanTech ønsker å være en viktig aktør for å kunne bidra til å nå dette målet. Fokus på sikkerhet ved eventuell anvendelse av de ulike fornybare energikildene var også et ønske fra oppdragsgiver, der kvalitative grovanalyser skulle gjennomføres for å gi en identifikasjon på eventuelle faremomenter som var forbundet ved å anvende en eller flere fornybare energiproduksjonskilder på et skip.

1.2 Formål

Formålet med oppgaven er å identifisere tilgjengelige fornybare energikilder og hvor mye denne energien vil kunne bidra til å redusere utslippsgassene til et skip. Effektproduksjonen fra de ulike fornybare energiteknologiene vil bli kalkulert og presentert for å kunne gi et estimat på hvor høy prosentandel den tilførte energien kan bidra med til fremdriftssystemet. Dette energibidraget kan igjen gi et tall på hvor mye miljøskadelige utslippsgasser som kan bespares.

1.3 Problemstilling

Studiegruppen skal undersøke om de fornybare energikildene sol og vind vil kunne redusere klimagassutslippene til container skip. Det blir sett på fornybare energiteknologier som finnes på det kommersielle markedet i dag, og om noen av disse vil være aktuelle å installere på et containerskip.

1.4 Avgrensinger

For å kunne gi effekt-verdier levert fra de aktuelle fornybare energiteknologiene fant gruppen det nødvendig å gjøre flere avgrensinger og antagelser. Disse vil bli nevnt i oppgaven når nødvendig og er som følge:

- Vinddataen som ble funnet er årlig gjennomsnittlige verdier, som kun vil gi en representasjon av hva som kan forventes at vindforekomster langs norskekysten.
- Vinden virker like mye fra alle retninger, ettersom det ikke var tilstrekkelige ressurser til å lage en vindroseoversikt langs den aktuelle ruten.
- Soldata er basert på årlig gjennomsnittlig solirradiasjon langs den tiltenkte ruten.
- Beregningene for vingeseil og VAWT ble gjort teoretisk, hvor begrensede C_T og C_P verdier for begge gjorde at faglig begrunnede antagelser for disse måtte bli tatt.



- For skipene er det regnet med at motoren vil gå på en 85 % MCR, ha en marsjfart på 15 knop og vil være i drift 70 % av året.
- Grovanalyse for vingeseil ble gjennomført etter konsept-tegninger ettersom ingen komponentliste for denne teknologien var tilgjengelig ved skrivende stund.
- Det antas at kilder og referanser i oppgaven er pålitelige og korrekte
- Alle forkortelser og enheter som ikke er oppgitt i begrep og definisjonsforklaringen er enten forklart eller almen kjent.



2. Miljø og skipsteori

I denne delen av rapporten gis det et kort innblikk i historien til norsk skipsindustri, miljømessige utfordringer skipsnæringen står ovenfor i dag og grunnleggende skipsteori.

2.1 Norsk sjøfart historie

Med en kystlinje som strekker seg 103 000 km har skipsindustrien alltid vært en viktig del i norsk næringsliv. Norsk skipsbyggingsteknikk har utviklet seg mye siden vikingene regjerte norsk farvann i år 1000 til dagens situasjon. På 1200-tallet ble de tidligere langbåtene fra vikingtiden erstattet med tyske koggerskip som hadde større lastekapasitet for frakt av varer. Videre var ikke norsk sjøfartsindustri i nevneverdig vekst før Nederland gjenreiste den norske handelsflåten på 1600-tallet da Norge hadde stor eksport av trelast og tørrfisk. Den Norske handelsflåten utviklet seg videre fra 150 000 tonn i begynnelsen av 1800-tallet til 1,5 millioner tonn i 1880. Norges svake kapital gjorde at omvendingen fra seil til dampskip ble en lang prosess som gjorde landet svakt i eksport-markedet i motsetning til andre etablerte europeiske land. Det var ikke før i 1907 at Norge hadde flere dampskip enn seilskip. Norsk skipsindustri ble hardt rammet av den internasjonale skipsfartskrisen i 1973 som førte til at $\frac{1}{4}$ av all tonnasje var i opplag [1]. Etter dette har det vært omstillinger i sektoren i form av drift med lavere kostnader og en satsing på andre områder, som for eksempel offshore-næringen. I dag har norsk handelsflåte 16,4 millioner bruttotonn som er fordelt på 1402 skip[2].

2.2 Shippingindustrien i et miljøperspektiv

Shipping industrien står i dag for 90 % av den globale verdenshandelen og er den mest miljøvennlige transportmetoden med hensyn på utslipp pr cargoenhet fraktet. Den internasjonale skipsflåten står for ca. 3 % av verdens samlede CO₂ utslipp, og den økende veksten i næringen, som følge av den globale handelsetterspørselen, vil gjøre at dette tallet vil kunne stige med 17 % med mindre strenge reguleringer vil skje innenfor sektoren.[3] Innenriks skipstrafikk slapp i 2013 ut 3,4 millioner tonn CO₂ og i følge DNV er det estimert at dette tallet vil øke til 5,2 millioner tonn i 2040 dersom ingen miljø -og klimabesparende tiltak gjøres. [4]

2.3 IMO og EEDI

I 1948 ble IMO (International Maritime Organization) opprettet under FN for å øke skipssikkerhet og redusere utslipp fra maritime fartøy. Organisasjonen har siden den gang kommet med flere utslippsreducerende traktater som har påvirket sjøfartspolitikken til FN-landene. I 1973 opprettet organisasjonen en konvensjon for ”Prevention of Pollution from Ships” (MARPOL) som er en traktat som forhindrer dumping av miljøfarlig avfall til sjøs. Denne konvensjonen gjelder for 138 land som representerer litt under 98 % av verdens handelsflåte. [5]



I nyere tid har organisasjonen introdusert «Energy Efficiency Design Index», som går under traktaten MARPOL, som er et krav som omhandler en tillatt utslippsmengde pr tonn av last som er fraktet pr nautisk mil for forskjellige skips-størrelse for nybygde skip. Kravet slo i kraft 1. januar 2013 og hadde som mål å redusere CO₂-utslippene for nybygde skip med 10 %. Hvert femte år vil kravet stramme seg med ytterligere 10 % og det er satt et ønske om og nå en utslippsreduksjon på 30 % innen 2025 for alle nybygde fartøy. Skip som inngår under dette kravet er: tank-skip, bulk-skip, gass-skip, generelle lasteskip, containerskip, LNG-fraktere, bilcargoskip, roro skip, cruise- og passasjerskip. Disse skipene utgjør 85 % av de totale CO₂-utslippene for internasjonal shipping. Flere av IMO sine regelverk og retningslinjer kan finnes igjen i norsk sjøfartsdirektorat sine lovverk. [6]

2.4 Norges målsetninger

I dag er grønn skipsfart et tema som stadig dukker opp når det snakkes om norsk skipsnæring. I januar 2015 opprettet DNV GL «Grønt kystfartsprogram», bestående av 30 aktører fra forskjellige maritime industrier. Hensikten med programmet er å utføre mulighetsstudier på miljø og klimabesparende tiltak. I november 2016 publiserte programmet «Sjøkart for grønn kystfart», som har målsetninger om å etablere Norge til verdens mest miljøvennlige kystfartsnasjon og redusere utslippene med 40 % innen 2030, og å oppnå et nullutslipp innen 2050. [7]

Regjeringen har gjennom flere tiltak ønsket å fremme innovasjon av grønn skipsnæring gjennom å bevilge øremerkede midler til ulike maritime klimabesparende prosjekter. I mai 2016 la regjeringen frem et forslag hvor de ønsket å revidere budsjettet for å legge inn støtte til næringen med ytterligere 65 millioner kroner for miljøvennlige skipsløsninger. Samtidig ønsker myndighetene å nå et ambisiøst mål om å kutte utslippene fra norsk næring med 40 % innen 2040 sammenlignet med 1990. Ikke-kvotepliktige næringer, som transportsektoren, er i 2040 forventet at vil måtte kutte utslippene med 40 % sammenlignet med 2005. Resultater fra DNV sin rapport om *”Reduksjon av klimagassutslipp fra norsk innenriks skipsindustri”* viste at dersom de ny innførte EEDI-kravene møtes, vil industrien spare CO₂ utslippene med 0,5Mt årlig. Dersom den norske flåteveksten også tas i betraktning kunne rapporten konkludere med at det ville kreve en reduksjon på 63 % av dagens utslipp dersom Norge skal nå målet innen 2040. For å nå dette målet legger rapporten også til at det vil kreve større og raskere innovasjon av nullutslippsteknologi for skip, og at næringen trenger en stor omstilling både med tanke på skipsdesign og havneinfrastruktur. [4]

2.5 Skipsteori

Det er mange faktorer som påvirker effektiviteten og motstanden til et skip i drift. Alt fra sjøfriksjonen på skroget, luftmotstanden på oversiden av skipet og sjøsprøyt er friksjonsfaktorer som bør tas hensyn til for å optimalisere skipets fremdrift og redusere drivstofforbruket. I henhold til oppgaveteksten mener gruppen det er hensiktsmessig å se på teorien rundt krefter som virker på skipet og hva skipets



effektkrav er regnet ut i fra. Gruppen har brukt samme utregningsmetode som rapporten «*Prediction of Resistance and Propulsion Power of Ships*» [8], som igjen har basert sine utregninger på «*Harvald og Guldhammer*» sin rapport fra 1965 [9].

2.5.1 Totalt effekttap P_{tap}

Skipets totale effekttap P_{tap} fra omgivelseskraftene kan bli beskrevet med formel 1 ved å multiplisere den totale resistanskraften R_T med skipets hastighet V_{skip} .

$$P_{tap} = R_T * V_{skip} \quad (1)$$

2.5.2 Total resistanskraft R_T

Den totale resistanskraften R_T er summen av alle motstandsfaktorer fra hav og vind som vil virke på et skip og er gitt av formel 2.

$$R_T = \frac{1}{2} * \rho_{vann} * C_T * S * V_{skip}^2 \quad (2)$$

2.5.3 Våtareal, S

S representerer arealet av den våte flaten på skipet som vil være i kontakt med sjøen til en hver tid. Det brukes oftest hydrostatiske programmer til å simulere denne verdien for skip under designfasen. Med begrensede tilganger på skipsdimensjoner kan likevel denne verdien bli beregnet med en usikkerhet på 7 %, ved hjelp av "Mumford", gjengitt i formel 3[8].

$$S = 1,025 * \left(\frac{\nabla}{T} + 1,7 * L * T \right) \quad (3)$$

T =kjøldybde (m)

L =skipets lengde (m)

∇ = er kjøll posisjonen (m³)

Fra en analyse hvor S -verdiene ble testet for 129 forskjellige moderne skip ble det utledet en tilnærings formel for forskjellige type skip, som vist på tabell 1. [8]

Bulk carriers and tankers	$S = 0.99 \cdot \left(\frac{\nabla}{T} + 1.9 \cdot L_{wl} \cdot T \right)$
Container vessels (single screw)	$S = 0.995 \cdot \left(\frac{\nabla}{T} + 1.9 \cdot L_{wl} \cdot T \right)$
Twin screw ships (Ro-Ro ships) with open shaft lines (and twin rudders)	$S = 1.53 \cdot \left(\frac{\nabla}{T} + 0.55 \cdot L_{wl} \cdot T \right)$
Twin skeg ships (Ro-Ro ships with twin rudders)	$S = 1.2 \cdot \left(\frac{\nabla}{T} + 1.5 \cdot L_{wl} \cdot T \right)$
Double ended ferries	$S = 1.11 \cdot \left(\frac{\nabla}{T} + 1.7 \cdot L_{wl} \cdot T \right)$

Tabell 1: S-verdier for forskjellige skips-typer



2.5.4 Total resistanskoefisient C_T

Den totale resistanskoefisienten C_T er summen av friksjonskoefisienten C_F , den inkrementelle resistanskoefisienten C_A , luftmotstandskoeffisienten C_{AA} og restmotstandskoeffisienten C_R .

$$C_T = C_F + C_A + C_{AA} + C_R \quad (4)$$

2.5.5 Friksjonskoefisienten C_F

Friksjonskoefisienten C_F beskriver kjølen friksjon på vannmassene langs retningsaksen på skipet. Formelen 5 for C_F er i følge «ITTC-57» [9] gitt som:

$$C_F = \frac{0,075}{(\log R_n - 2)^2} = \frac{R_F}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^2} \quad (5)$$

Hvor den friksjonelle koefisienten R_F er summen av den tangentielle spenningen som virker på flaten av kjølen som er under vann i bevegelsesretningen til skipet.

R_n er reynoldstall gitt ved:

$$R_n = \frac{V \cdot L}{\nu} \quad (6)$$

Hvor:

V er skipets fart (m/s)

ν er vannets kinematisk viskositet som vil variere med temperaturen (Poise)

2.5.6 Inkrementell resistanskoefisient C_A

Den inkrementelle resistanskoefisienten C_A er relatert til den overnevnte friksjonskoefisienten C_F , men betrakter skipsdimensjonene og vekt som faktorer som også vil påvirke resistansen. Tabell 2 gir C_A -verdier i forhold til bruttotonnvekt på skipet.

$\Delta = 1000t$	$10^3 \cdot C_A = 0.6$
$\Delta = 10000t$	$10^3 \cdot C_A = 0.4$
$\Delta = 100000t$	$10^3 \cdot C_A = 0.0$
$\Delta = 1000000t$	$10^3 \cdot C_A = -0.6$

Tabell 2: Inkrementell resistansverdier for skipsstørrelser

For å gi en eksakt verdi for den inkrementelle resistans koefisienten kan formel 7 brukes:

$$1000 * C_A = \frac{1}{2} * \log(\nabla) - 0,1 * (\log(\nabla))^2 \quad (7)$$



2.5.7 Vindresistanskoeffisienten C_{AA}

Vindresistanskoeffisienten C_{AA} beskriver resistansen fra vinden på skipet, denne faktoren vil ofte være mye lavere enn de overnevnte. Fra tabell 3 er det gitt ulike C_{AA} koeffisienter for forskjellige tank og større bulkskip. Formelen for denne koeffisienten er generelt gitt ved:

$$C_{AA} * 1000 = 0,28 * TEU^{-0,126} \quad (8)$$

Hvor TEU (twenty-foot equivalent unit) er volumet til en 20 fots container som måler 6,1m i lengde, 2,4m i bredde og en typisk høyde på 2,6m. [10]

	$C_{AA} \cdot 1000$
Small tankers	0.07
Handysize tankers	0.07
Handymax tankers	0.07
Panamax tankers	0.05
Aframax tankers	0.05
Suezmax tankers	0.05
VLCC	0.04

Tabell 3: Vindresistans koeffisient tabell for forskjellige tank-skip

2.5.8 Restresistansen R_T

Restresistansen R_T er restverdiene av motstandsfaktorene som vil virke på skipet. Dette er typisk bølgeresistanser, viskositets resistanser langs skipsskroget som følge av strømninger og sjøsprøyt. For å regne ut denne koeffisienten kan de overnevnte faktorene C_F , C_A og C_{AA} trekkes fra den faktiske totale resistansen C_T , som måles, for å finne hva den resterende resistansen er. Det finnes også forskjellige grafer som gir en tilnærming på hva restresistansen er, som f.eks. modellene fra «Guldhammer og Harvald» [10].



3. Vindkraft

I dette kapittelet vil gruppen se på vindens utnyttelsespotensiale for de mest aktuelle vindteknologiene som finnes på markedet i dag, og gi en teoretisk innføring i modulene som gruppen betrakter som mest aktuelle for denne studien.

3.1 Generelt om vind

Vindkraft kommer fra luft i bevegelse. Når sola varmer opp jordoverflaten vil den oppvarmede luften stige og skape et lavtrykk. Videre vil høytrykk fra kaldere omgivelser, som f.eks. havet, føre med seg luftmasser til lavtrykksområdene for å jevne ut trykkforskjellen. Disse luftmassene i bevegelse kalles for vind og er en av de største energiressursene som kan utnyttes i dag. [11]

I Norge er det nok teoretisk vindkraft tilgjengelig for å dekke dagens energiforbruk 20 ganger bare på land. Det ble i 2016 produsert 2,1 TWh fra de installerte vindturbinene i Norge, noe som tilsvarer 1,4 % av den totale kraftproduksjonen [12]. I Danmark har vindenergisatsningen ført til at vindkraft nesten kan dekke 1/3 av landets energieterspørsel [13]. Den store pågangen av vindfarmutbygningen og teknologitvillingen innenfor sektoren, gjør vindkraft til en svært aktuell kandidat for å lede vei mot det grønne energiskiftet.

3.2 Offshore vindkraft

Å utnytte vindkraft på maritime fartøy har blitt gjort siden mennesker satte seil på skipene sine for over 5000 år siden. I dag er det kun rundt 1 % av all installert vindkraft som er gjort offshore [14], til tross for de enorme havområdene som står til disposisjon. Dette skyldes blant annet store installasjonskostnader, effekttap for å bringe strømmen til land og tøffe værforhold.

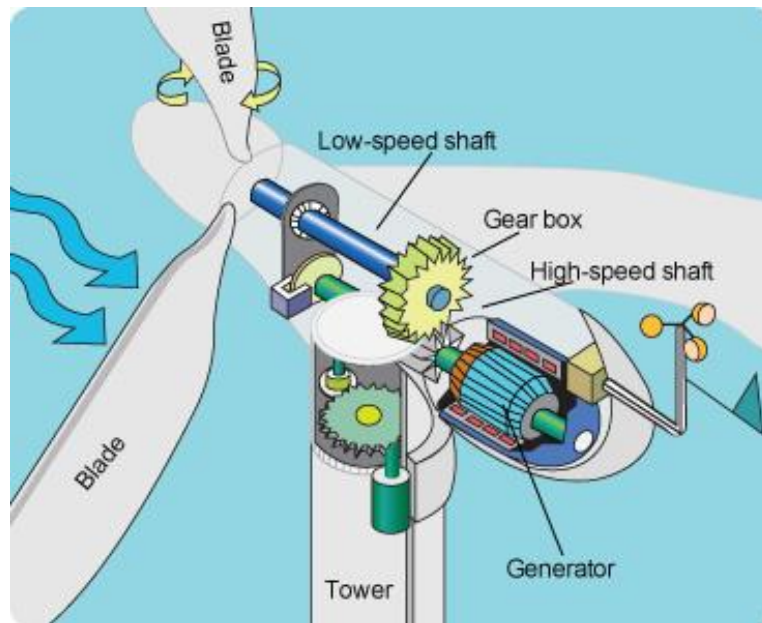
For skip er det blitt gjort en rekke prøveprosjekter med både vingeseil og vindturbiner om bord. Stena Line ble det første rederiet i verden til å installere to vertikalakslede vindturbiner på et passasjerskip, som bidro til en energiproduksjon på 23000kWh i året [15, 51]. I dag er det flere studier og prosjekter som jobber med å optimalisere vingeseil til bruk på større fartøy. Et eksempel på disse er "*Wind Challenger Project*" som jobber med mulighetsstudier på helautomatisert seil som i følge deres prognoser gjennomsnittlig vil kunne redusere drivstofforbruket på et 180 000dwt skip med 30 %. [16]

3.3 Vindutnyttelses Teknologi

3.3.1 Vindturbiner

Vindturbiner omformer bevegelsesenergi fra vinden til elektrisk energi. Hovedprinsippet på hvordan energien blir omdannet er likt for de fleste typer vindturbiner og derfor forklart videre under.

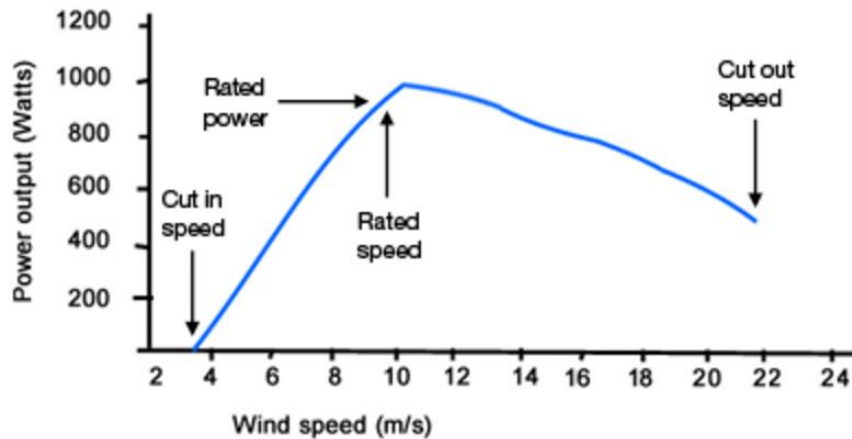
Først blir den kinetiske energien fra vinden fanget opp av bladene på vindturbinen som vil føre til rotasjon av bladene. Blad designet er svært avgjørende for hvor mye kinetisk energi som blir fanget opp i denne delen av prosessen. Denne rotasjonen vil videre gå inn på en aksel (low-speed shaft, fig.1) som vil ha lik roterende hastighet som bladene. Ved å koble til en girkasse vil rotasjonshastigheten øke til neste akselledd som videre kobles til en generator. Den mekaniske energien i den raskt roterende akselen (high-speed shaft, fig. 1) blir i generatoren omdannet til elektrisk nytteenergi. Deretter kan den elektriske nytteenergien distribueres videre til et batteri eller strømmnett.[17]



Figur 1: Innsiden av turbinhuset

Den elektriske energien en vindturbin kan produsere øker eksponentielt med vindhastigheten. "Cut in speeden" til en vindturbin representerer vindhastigheten som kreves for at vindturbinen skal begynne å rotere og produsere elektrisk energi, dette tallet ligger oftest et sted mellom 2-5m/s. Vindhastigheten hvor vindturbinen vil operere optimalt er gitt av produsenten som "rated windspeed", denne vindhastigheten svarer til turbinenes maksimale effektutputt kalt "rated power". Alle vindhastigheter over og under "rated windspeed" vil ofte gi en mindre effekt til tross for at vindhastigheten kan være høyere. "Cut out speed" definerer vindhastigheten turbinen maksimalt kan bli utsatt for uten å være til skade på modulen.

Figur 2 viser et eksempel på hva typiske ”cut” verdier vil kunne være for en turbin. ”Cut in speed” på denne grafen er satt til å ligge på ca. 3 m/s, ”rated speed” er på ca. 10m/s og gir da en ”rated power” på 1000W. Denne verdien synker frem til ”cut out speeden” på ca. 22m/s hvor vindturbinen ikke bør være eksponert for vinden lenger. [18]



Figur 2: Eksempelverdier for «cut», vindturbin

De mest utbredte vindturbinene på markedet i dag er HAWT og VAWT turbiner. Disse utnytter vinden med to forskjellige konsepter som må tas hensyn til under valgfasen. De har styrker og svakheter når det kommer til virkningsgrad, bruksområde, sikkerhet og brukervennlighet. Sikkerhetsaspektene til vindturbiner vil bli drøftet i kapittel 6.

3.3.2 HAWT- turbiner

HAWT-turbiner, også kjent som horisontalakslede turbiner, er den mest utbredte og utviklede vindutnyttelsesteknologien som finnes i dag. De typiske HAWT turbinene har 3 roterende blader som er avhengig av å være rettet direkte mot vindretningen for å oppnå maksimal utnyttelse. For å gjøre dette er de fleste HAWT turbinene utstyrt med en yaw mekanisme. Slike innretninger er kostbare og svært avgjørende for at turbinen



Figur 3: HAWT

skal kunne utnytte vindenergien optimalt og kan få katastrofale konsekvenser ved avvik. Den lange halsen på vindturbinene, som vist på figur 3, gir god tilgang på vind i høyden, som ofte er kraftigere enn langs bakken[23], og gjør at vindturbinene må være godt designet for å tåle store kraftpåkjenninger og unngå utmattelse. Som vist på figur 1 er også maskinhuset plassert på toppen av turbinen, noe som gjør den desto lettere påkjent av store vindkrefter som kan vaie den høye konstruksjonen. Deres høye

virkningsgrad er hovedgrunnen til at de egner seg best til storskala energiproduksjon på vindfarmer. [19]

3.3.3 VAWT-turbiner

Vertikalakslede vindturbiner, vist på figur 4, er i et signifikant mindre marked enn HAWT. De spesialformede bladene fanger opp vinden og konverterer rotasjonsbevegelsen til den vertikale akselen som videre omgjør denne mekaniske energien på samme vis som for den generelle forklaringen fra 3.3.1. Det blir forsket mye på VAWT på grunn av fordelene de bringer på bordet. For det første kan rotorbladene utnytte vind fra alle retninger og er derfor ikke avhengig av en yaw mekanisme.



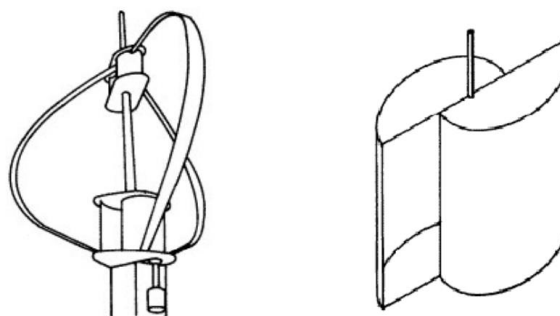
Figur 4: VAWT

Denne egenskapen gjør turbinene godt egnet til å takle turbulente forhold, typisk i urbane og maritime områder. I tillegg er generatorhuset plassert nederst på turbinen, noe som gjør det lettere og tryggere å reparere og vedlikeholde for driftspersonell. Den største ulempen ved VAWT er at den generer energi med en lavere virkningsgrad enn HAWT. Det bedre etablerte markedet og masseproduksjonen av HAWT gjør også at prisen pr kWh produsert er høyere for en VAWT enhet. Ved lave vindhastigheter vil en VAWT trenge hjelp for å begynne bladrotasjonen grunnet deres høye "cut in speed". Denne starthjelpen kommer ofte fra en batteripakke turbinen lader opp selv når den er i drift.

De to hovedtypene VAWT er *Darrieus* og *Savonius*, og begge disse utnytter vinden på forskjellige måte.

3.3.3.1 Darrieus turbiner

«*Darrieus*» typene bruker sitt spesialutformede bladdesign, som vist på figur 5, til å utnytte både løft og dragningskraften fra vinden til å rotere. Dette gjør at denne turbintypen er godt egnet for å produsere elektrisk energi ettersom bladdesignet gjør at akselen vil kunne rotere raskere enn vindhastigheten.[20]



Figur 5: Darrieus til venstre og Savonius til høyre

3.3.3.2 Savonius turbiner

Savonius turbinene er en drag-type VAWT som utnytter kraften fra vinden på samme måte som vannmøller utnytter vannkraften. Ved at luften dytter på flappene til Savonius-typen, figur 5 til høyre, vil turbinen rotere med samme hastighet som



vinden. Dette designet gjør at turbinen aldri vil kunne gå raskere enn vindhastigheten, noe som er uheldig dersom hensikten er å produsere elektrisk energi. [20]

3.3.4 Vingeseil

Med unntak av seilbåter er det svært få skip som benytter seg av vindens energiresurser til fremdrift av skipet. De siste årene er det likevel blitt en økende interesse for temaet hvor flere omfattende mulighetsstudier og prøveprosjekter er blitt gjennomført. Et eksempel er *"B9-shipping sail propulsion cargoships"* som har kommet med en rekke seildesign-løsninger for større fartøy. Fra et av deres nullutslipps-mulighetsstudier er det blitt estimert at et 3000dwt skip vil kunne drives 60 % av deres seilteknologi og den resterende effekten vil komme fra biogass[21]. Utfordringene med vingeseil, spesielt på større lasteskip, er at vindretningen er svært avgjørende for at teknologien skal kunne gi avkastning. Ettersom det er uaktuelt for store kommersielle containerskip å kryss-seile vil seildesignet være avgjørende for å kunne utnytte vindretninger fra flest mulig vinkler. De fleste moderne seil vil være justerbare og skal kunne tas helt ned, noe som vil resultere at det kun er vekten fra installasjonen som vil virke på den inkrementelle resistanskoeffisienten til skipet. Denne variabelinnvirkningen vil endre seg med 0,8-2% [22] og velges derfor å neglisjeres.

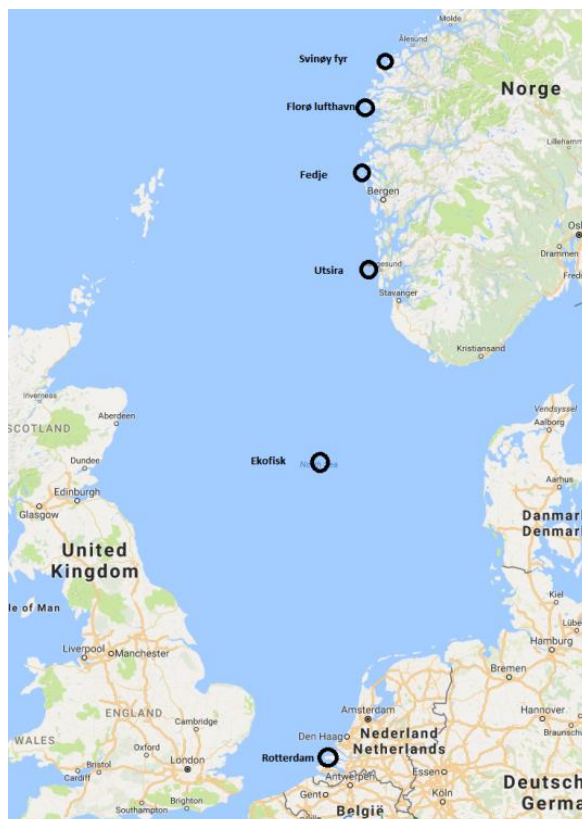
3.3.5 Valg av vindutnyttelsesressurser

HAWT er godt utviklet og vil være rimeligere å installere på en skipsenhet enn VAWT. Gruppen mener likevel at VAWT er en interessant teknologi som sannsynligvis vil kunne utnytte de turbulente områdene på sjøen bedre enn HAWT. Dette er basert på at HAWT turbinenes påkrevde yaw mekanisme er svært uforutsigbar i turbulente værforhold. For at HAWT skal kunne operere på best vis kreves det en høyde på over 50m.o.h for å unngå de mest turbulente værforholdene. Dette krever en massiv konstruksjon på dekk, noe som gruppen mener vil kunne være uheldig med tanke på den begrensede dekksplassen på konvensjonelle containerskip i dag. Det høye tyngdepunktet og høyden generelt vil også utgjøre en risiko i henhold til stress på konstruksjonen når det er montert på et fartøy som krenger i sjøen for HAWT. VAWT vil derimot oppta mindre dekksplass og vil være lettere å påmontere. Valg av turbintype blir også drøftet i risikoanalysen, kapittel 6, hvor det ble konkludert med at VAWT utgjorde en lavere risiko. Vingeseil vil også kreve et stort areal på et container skip, men ettersom gruppen velger å anta at seilene vil kunne være nedfellbare velges det derfor å se på disse og VAWT videre i rapporten.

3.4 Vind data

For å gi et estimat på hva den årlige forekomsten av vind vil kunne være langs den aktuelle ruten og utenfor norskekysten ble eKlima.no og «Royal Netherlands Meteorological Institute» brukt til innhenting av vinddata. Værstasjonene som var lokalisert langs den tenkte skipsruten ble valgt ut, disse ble henholdsvis: Svinøy fyr, Florø lufthavn, Fedje, Utsira, Ekofisk og Rotterdam som er vist i figur 6.

Værdatakildene gav nøyaktige vindhastighetsmålinger for hver av de overnevnte værpostene. Gruppen valgte å se på perioden fra 1.5.2016 til 19.4.2017 hvor det ble gjort 4 målinger daglig på hver av stasjonene på norsk sokkel og en daglig observasjon i Nederland. Dette ble videre kopiert til Excel for å finne hva den gjennomsnittlige vindhastighet ville være for hver lokasjon som vist i tabell 4.



Figur 6: Værstasjon lokasjoner

	Svinøy fyr	Florø lufthavn	Fedje	Utsira	Ekofisk	Rotterdam	Gjennomsnitt
Vindhastighet [m/s]	8,45	5,57*	7,22	7,9	7,86	7,58	7,80

Tabell 4: Gjennomsnittlige vindhastigheter for de valgte værstasjonene

*Florø Lufthavn gir mindre representative data ettersom vind observert er generelt lavere enn det som er forventet utfra Kjellers vindkart (Vedlegg J). Værstasjonens lokasjon er for langt inn i landet og vindhastigheten vil avta. Det velges å se bort fra gjennomsnittsresultatet for Florø Lufthavn når det skal beregnes et helhetlig gjennomsnitt for total vindhastighet.

For å gi et bedre estimeringsgrunnlag for hva vindhastigheten vil kunne være utenfor norskekysten valgte gruppen å sammenligne data fra tabell 4 med Kjellers vindkart, se vedlegg J kart 34, 43 og 48. Kjellers vindkart gjelder for vindhastigheter som er 50m.o.h, som er grunnen til at gjennomsnittshastighetene fra tabell 2 ligger litt under Kjeller-verdiene ettersom vinden er kraftigere i høyden[23].

Dersom det ønskes å få eksakte værdata for ruten til et gitt skip, bør det hentes data som inneholder vindretninger og turbulensforhold fra alle posisjoner på ruten, noe som er en omfattende rapport i seg selv. Derfor velger gruppen å begrense variablene

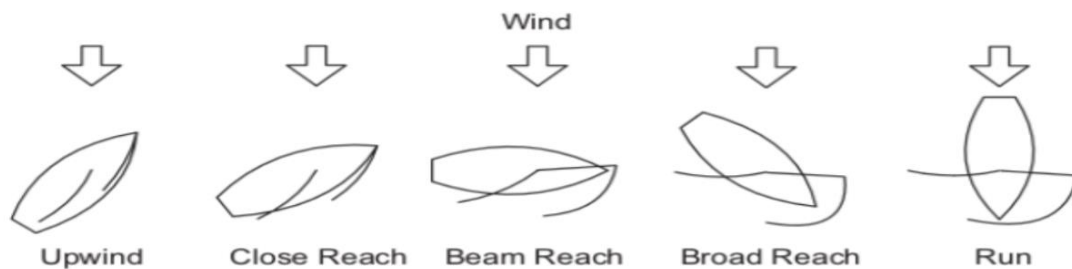
til at det forventes like mye vind fra alle retninger på skipet og at det vil være en gjennomsnittlig vindhastighet på 7,8m/s. Det bør nevnes at vinden vil virke mest fra vest, grunnet corealiseffekten, men dette vil ikke ha noen innvirkning på de teoretiske utregningene gjort i denne oppgaven.

3.5 Seil og VAWT-teori

For å gi leseren en bedre forståelse av hvordan beregningene er gjort og hvilke faktorer som er avgjørende for seil og VAWT teknologier har gruppen valgt å presentere grunnleggende teori om begge.

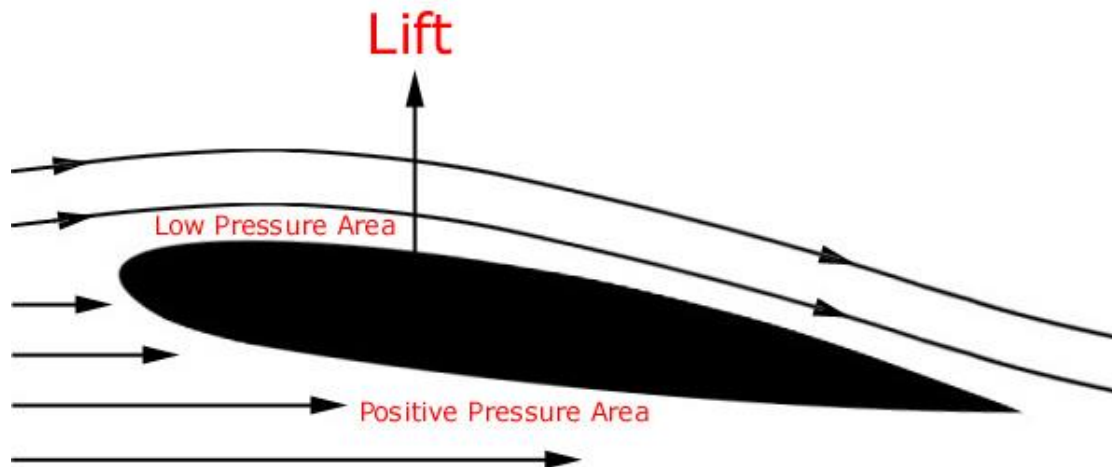
3.5.1 Vingeseil

Som nevnt i kapittel 2.5 er det en rekke faktorer som avgjør den totale kraften som virker på et fartøy. Med vingeseil blir det desto flere faktorer å ta hensyn til som: vind styrke, vind retning, design- og seildimensjoner, type fartøy, skrogform og sjøforhold.



Figur 7: Seil posisjoner for forskjellige vindretninger

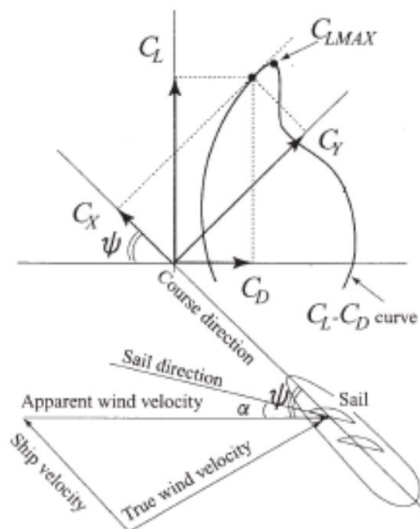
Først og fremst er det viktig å forstå at et seil vil utnytte vindenergien på to forskjellige måter som sammen danner den totale kraften som virker på seilet. Den første er de aerodynamiske kreftene som oppstår av samme prinsipp som for hvordan flyvinger generer løftekraft. Dette foregår typisk i de tre første skipsposisjonene fra figur 7 hvor vinden rundt seilet beveger seg i forskjellige hastigheter på grunn av formen på seilet, se figur 8. I følge Bernoullis prinsipp vil et medium med høy gjennomstrømningshastighet ha et lavere trykk [24]. Seilsiden hvor vinden beveger seg raskere, oversiden i figur 8, vil derfor skape et undertrykk som, av samme prinsipp som for hvordan vind oppstår, vil føre til en trykk-utjevning fra den andre siden av seilet. Denne trykkforskjellen resulterer i en kraft (lift fra figur 8) på seilet som vil bidra til fremdrift[23].



Figur 8: Vindhastighet på et seil resulterer i trykkforskjell

For det andre prinsippet kan man forestille seg vindretningen fra figur 8 hadde virket vinkelrett på seilet. Da ville kraften fra selve vinden virket direkte på seilet og bidratt med en fremdrift i seg selv. Dette prinsippet vil stå for mesteparten av fremdriften for «broad reach» og «run wind» fra figur 7.

Den konkrete vindhastigheten V_{ap} er en vektor som er summen av den faktiske vindretningen og motvinden som oppstår som følge av båtens fremdrift. I figur 9 er denne vektoren gitt av "true wind velocity" V_{true} og "ship velocity" V_{skip} som gir "apparent wind velocity" V_{ap} . Vinkel Ψ mellom skipets posisjon og V_{ap} er avgjørende for å beregne kreftene som virker på skipet. Vinkelen α , mellom V_{ap} og seilposisjonen «sail direction», brukes for å beregne kreftene som virker på seilet. Som følge av de overnevnte prinsippene vil kraften som virker på seilet fra V_{ap} virke i forskjellige retninger på skipet, disse kreftene er beskrevet med dragkoeffisienten C_D og løftekoeffisienten C_L . Disse kreftene kan videre, ved hjelp av seil og kjøll, manipuleres og produserer en resultantkoeffisient C_X som vil virke i skipets fremdriftsretning, og en koeffisient C_Y som virker normalt på C_X . Dersom det er for store krefter som virker i C_Y -retning kan det føre til fenomen som krenkning, som er typisk for mindre seilbåter som vil vippe om sin egen retningsakse, og avdrift. [23]



Figur 9: Krefter og tilhørende koeffisienter som virker på en seilbåt

For beregning av løftekraften (L) og dragningskraft (D) som virker på seilet brukes formlene 9 og 10.

$$L = \frac{1}{2} * \rho_{luft} * V_a^2 * A_{seil} * C_L \quad (9)$$

$$D = \frac{1}{2} * \rho_{luft} * V_a^2 * A_{seil} * C_D \quad (10)$$

Hvor:

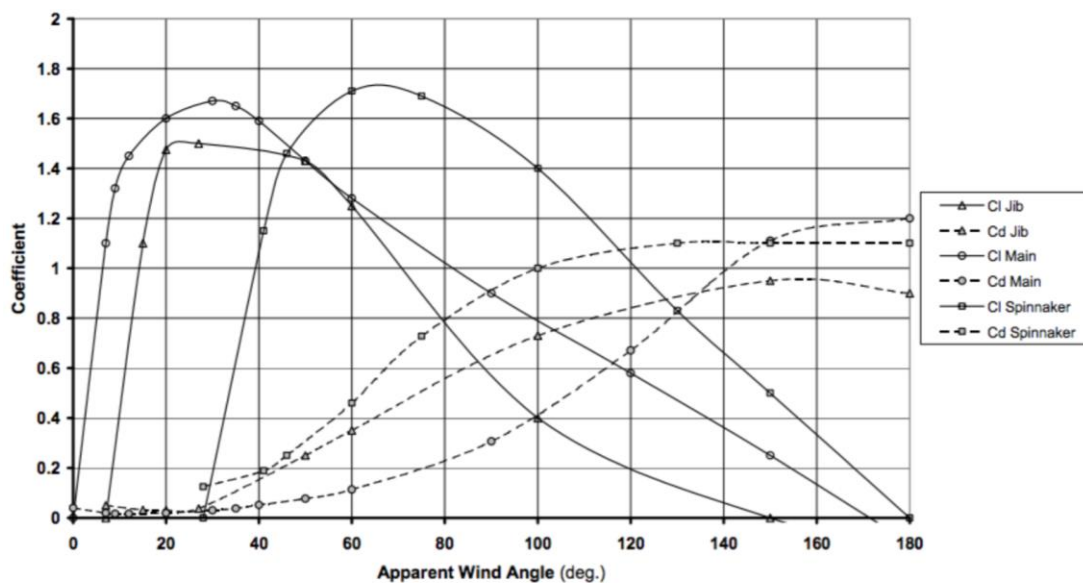
ρ_{luft} er lufttettheten (kg/m^3)

V_A er resultantvindhastigheten (m/s)

A_{seil} er seilarealet (m^2)

C_L er løftekoeffisienten til et gitt seil

C_D er dragningskoeffisienten



Figur 10: Forhold mellom Cl og Cd verdier

Løfte- og dragningskoeffisientene vil variere etter vinkel α og verdiene er ofte fastslått ved hjelp av eksperimenter og simuleringer på det aktuelle seilet. Figur 10 gir et eksempel på hvordan en slik graf kan se ut for forskjellige typer seil. Denne grafen er tatt fra VPP til ORC [26] og gir de generelle verdiene for løfte og dragningskoeffisientene i forhold til vinkel α . Slike grafer vil ha forskjellige koeffisienter for både løft og drag alt ettersom hvordan seilet er designet.

Etter å ha funnet løft og dragningskraften kan man videre bruke disse verdiene til å finne nyttekraften F_X som vil gi kraft i skipets retning og F_Y som er vinkelrett på denne.

$$F_X = L \sin \alpha - D \cos \alpha \quad (11)$$

$$F_Y = L \cos \alpha - D \sin \alpha \quad (12)$$

Etter å ha funnet en verdi for F_X kan effekten som seilet vil bidra med på fremdriften til skipet videre beskrives med formelen:

$$P_{seil} = F_x * V_{skip} \quad (13)$$

En utregning av kreftene som virker på skipet fra alle vinkler med tilhørende C_L og C_D verdier ble svært omfattende og lite gunstig med den tilgjengelige mengden værdata gruppen hadde samlet inn. Det ble derfor heller valgt å se på et bestemt seil av typen NACA 0,0018 med 30 % flap som hadde uttestede C_x verdier for vinklene Ψ . Formelen for fremdriftseffekten seilet vil kunne bidra med på skipet kunne da gis som:

$$P_{seil} = \frac{1}{2} * A_{seil} * \rho_{luft} * C_x * V_{vind}^2 * V_{skip} \quad (14)$$

C_x verdiene fra tabell 5 er gitt for et seil av typen NACA 0,0018 med 30 % flap som har blitt testet for å gi de eksakte C_x verdier for de tilhørende vinklene Ψ som beskriver vinkelen fra V_{ap} på skipets fremdriftsretning [22]. Som man kan se vil den optimale vindretningen være på rundt 105 grader på skipet og dette vil gjelde for begge sider av skipet. Ved motvind som virker ± 5 grader på fronten av skipet vil seilet ikke kunne produsere noe nyttekraft for skipets fremdrift. For å beskrive den gjennomsnittlige effekten seilet vil kunne bidra med brukte gruppen gjennomsnittsdata for effekt produsert i de forskjellige vinklene for den gjennomsnittlige vindhastigheten som ble funnet til å være 7,8m/s (fra kapittel 3.4) på ruten fra Ålesund til Rotterdam.

Angle of incidence, ψ	C_x for single sail
5	0.006
15	0.137
25	0.368
35	0.688
45	1.018
55	1.317
65	1.576
75	1.787
85	1.944
95	2.041
105	2.077
115	2.049
125	1.960
135	1.810
145	1.606
155	1.353
165	1.188
175	1.195

Tabell 5: Angrepsvinkel ψ og tilhørende C_x verdier for NACA 0,0018 30 % flap

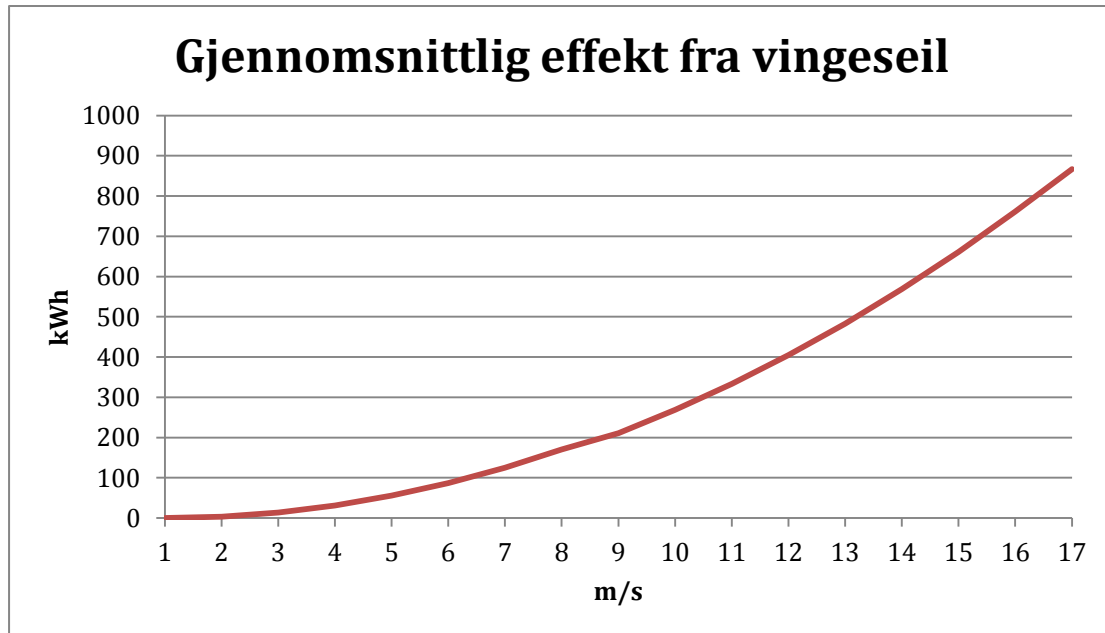
Vingeseil spesifikasjoner	
Type	NACA 0,0018
Areal	600m ²
Hastighet skip (V_{skip})	7,2m/s
Flap	30 %

Tabell 6: Vingeseil NACA 0,0018

Ved å bruke formel 14 og betingelsene om at vinden vil virke like mye fra alle retninger ble det laget en graf for hva det gjennomsnittlige effektbidraget seilene vil kunne gi for vind som vil virke mellom 0 til 360 grader på skipet. NACA 0,0018 er designet med en 30 % flap, som betyr at 30 % av seilets bakre areal kan justeres til en gitt vinkel for å generer en høyere løftkraft ved ugunstige vindretninger og ved



lavere vindhastigheter. Gjennomsnittseffekten ble beregnet ved å bruke C_x verdiene fra tabell 5 og sette C_x lik null når vinkelen Ψ virker mellom 5° og 355° på skipet (full motvind). Det regnes med at seilene vil bli tatt ned for disse vinkelverdiene og dermed ikke bidra med noen ekstra motstand på skipet. Ved å bruke $V_{true}=7,8\text{m/s}$ ble det funnet at det gjennomsnittlige effektbidraget ble på $200,5\text{kW}$ for et vingeseil.



Figur 11: Gjennomsnittlig effekt for vingeseil NACA 0,0018 med 30% flap

3.5.2 VAWT teori

Det har tidligere blitt gjort svært få teoretiske utregninger av det totale effektutbyttet en VAWT kan utgjøre på et skip. I denne teoridelen har gruppen utledet hva den elektriske nytteenergien en VAWT vil kunne produsere og en mulig tilnærming til hva effektutbyttet faktisk vil bli dersom motstandskraften fra turbinen tas med i betraktning.

Den potensielle effekten en vindturbin kan utnytte fra vindkraften er gitt ved:

$$P = \frac{1}{2} * C_{p,max} * \rho_{luft} * v^3 * A \quad (15)$$

Hvor:

ρ_{luft} er lufttetteheten (kg/m^3)

v er vindhastigheten (m/s)

A er sveipet areal for vindturbinen (m^2)

$C_{p,max}$ er Betz konstant for maksimal vind-utnyttelse som en teoretisk verdi på 59 %.
[25]



Som vist i kapittelet 3.5.1 om seil, vil det på et fartøy i drift være to vindkraftretninger som sammen danner en resultant vektor V_{ap} for den samlede vindkraften som vil virke på en installert modul. Ettersom det ikke er gitt eksakte koeffisientverdier med tilhørende vinkler kan V_{ap} bli gitt ved formel 16. Hvor V_{skip} vil virke i negativ retning.

$$V_{ap} = \sqrt{V_{true}^2 + V_{skip}^2 - V_{true} * V_{skip} * \cos\Psi} \quad (16)$$

3.5.2.1 Elektrisk effektpotensiale

For å beregne den elektriske effekten en vindturbin kan produsere erstattes den teoretiske koeffisienten fra formel 15 med virkningsgradskoeffisienten C_P og vindhastigheten blir gitt som V_{ap} .

$$P_{el} = \frac{1}{2} * C_P * \rho_{luft} * A * V_{ap}^3 \quad (17)$$

3.5.2.2 Vindsituasjoner

Det ble valgt å se på 4 vindsituasjoner for en vindturbin installert på et skip. Disse ble henholdsvis: Skip står stille, motvind, medvind og vind som virker 90grader på skipet. Dette ble gjort for å gi en bedre tilnærming for hva en samlet effekt vil kunne være dersom vinden gjennomsnittlig vil virke like mye fra alle vindretninger.

Situasjon 1: Skipet står stille og den eneste vinden som vil virke på skipet er fra V_{true} . Formelen for denne situasjonen er en generell formel for å regne ut effekten på en vindturbin, som gjelder for både HAWT og VAWT.

$$P_{situasjon,1} = \frac{1}{2} * C_P * \rho_{luft} * A * V_{true}^3 \quad (18)$$

Situasjon 2: Motvind

I denne situasjonen vil både V_{true} og V_{skip} virke mot fremdriftsretningen til fartøyet og gir formelen:

$$P_{situasjon,2} = \frac{1}{2} * \rho_{luft} * A * (C_P * V_{ap,mot}^3) \quad (19)$$

Situasjon 3: Medvind

I denne situasjonen vil vinden fra V_{true} og V_{skip} virke i motsatt retning om hverandre.

$$P_{situasjon,3} = \frac{1}{2} * \rho_{luft} * A * (C_P * V_{ap,med}^3) \quad (20)$$

Situasjon 4: Sidevind som virker 90° på skipet

I denne situasjonen ble det antatt at ettersom vindhastigheten langs skipsruten lå på 7,8m/s og skipets hastighet var 7,71m/s vil vektorregning føre til at V_{ap} vil få en vinkel $\Psi=45$.

$$P_{situasjon,4} = \frac{1}{2} * \rho_{luft} * A * (C_P * V_{ap,45deg}^3) \quad (21)$$

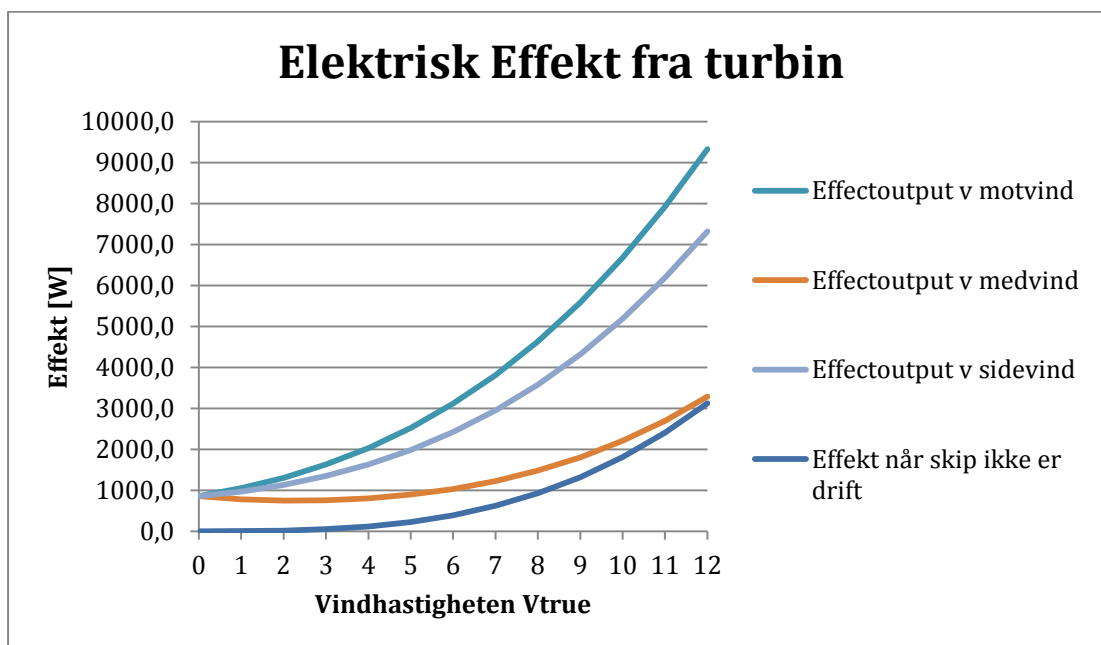


Det ble valgt å se nærmere på en VAWT av typen UGE-4K som gruppen mente kunne gi representative resultater for hva en vindturbin vil kunne gi av effekt. Det ble valgt at skipet skulle ha en gjennomsnittlig hastighet på 7,71m/s og bruke $C_p=0,22$.

UGE-4K spesifikasjoner	
«Rated Power»	4000 W
«Cut-in wind speed»	3,5m/s
«Cut-out wind speed»	30m/s
«Rated wind speed»	12m/s
Sveipet areal	12,54m ²

Tabell 7: UGE-4K spesifikasjoner

Den elektriske effekten som teoretisk kan bli produsert i de forskjellige situasjonene, uten å ta hensyn til motstanden fra turbinen, er gitt i figur 12. Som man ser vil medvinds-effekten (oransje linje) blir redusert frem til vindhastigheten er like stor som skipshastigheten og har derfor en buet kurve. Grunnen til at grafen starter på rundt 1000W ved en vindhastighet på 0m/s er grunnet skipets fremdriftsfart alltid vil virke på turbinene så lenge skipet er i bevegelse. Det er her verdt å merke seg at «rated power» på 4000W nesten ikke vil overgå for noen av situasjonene når V_{true} ligger på 7,8m/s.



Figur 12: Elektrisk effekt fra turbin



3.1.1.2 Test med motstandskraft

Det ble valgt å gjøre et forsøk på å beregne hva den totale effektgevinsten ville være ved å installere en vindturbin. Det ble derfor valgt å inkludere motstanden fra vinden som vil virke på en VAWT. Denne motstanden kan beskrives med koeffisienten C_T , som indikerer hvor god aerodynamikk turbinen har. Denne formelen er utledet av prosjektgruppen og vil muligens kunne bli brukt i videre studier på hva den totale effekten en VAWT vil kunne bidra med på et skip.

Situasjon 1: Skipet er forankret og vil ikke bli påvirket av krefter som vil virke på fremdriften på skipet og formel 18 kan bli brukt.

Situasjon 2: Motvind, alle kreftene vil virke mot fremdriftsretningen på skipet. Her vil turbinen bidra med en negativ effekt på skipet dersom $C_T > C_P$.

$$P_{test2} = \frac{1}{2} * \rho_{luft} * A * (C_P - C_T) * V_{skip}^2 + (C_P - C_T) * V_{true}^2 * V_{ap} \quad (22)$$

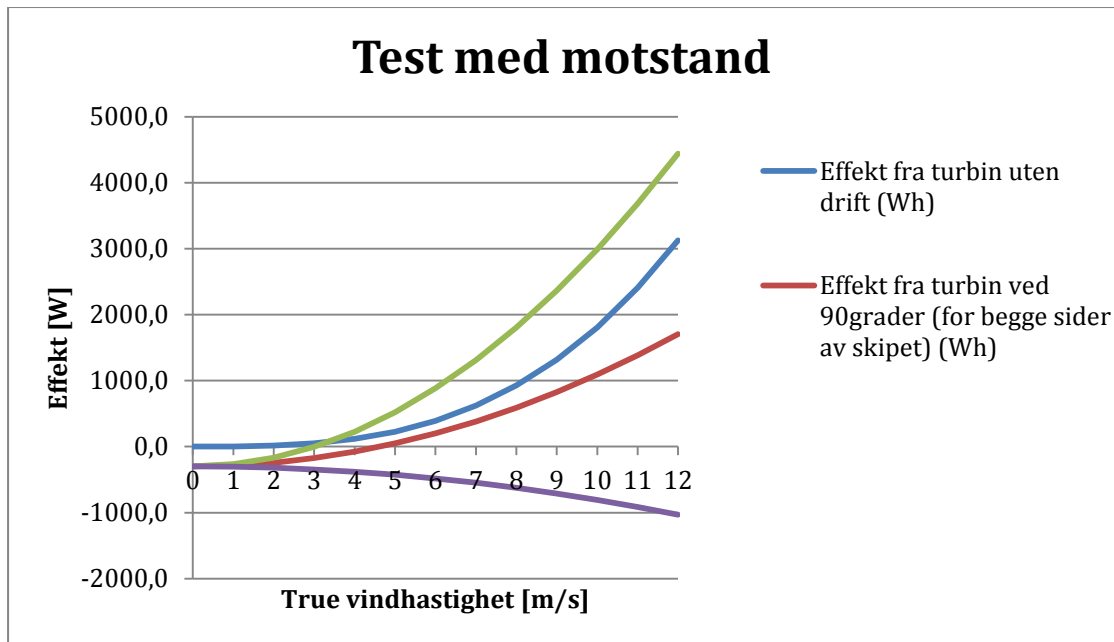
Situasjon 3: Medvind, alle kreftene bortsett fra V_{skip} vil virke i fremdriftsretning.

$$P_{test3} = \frac{1}{2} * \rho_{luft} * A * (C_P - C_T) * V_{skip}^2 + (C_P + C_T) * V_{true}^2 * V_{ap} \quad (23)$$

Situasjon 4: Sidevind, V_{true} virker vinkelrett på skipet og det sees kun på det negative effekt-bidraget fra V_{skip} .

$$P_{test4} = \frac{1}{2} * \rho_{luft} * A * (C_P - C_T) * V_{skip}^2 + C_P * V_{true}^2 * V_{ap} \quad (24)$$

Gruppen valgte å bruke samme modul (UGE-4K) og vindverdier som utregningen på P_{el} , og en C_T verdi på 0,3 for å teste hvordan denne ville påvirke turbinens totale effektutbytte som vist på figur 13. Denne metoden vil være mer virkelighetsnær for hva den totale effekten VAWT faktisk vil kunne bidra med på skipet, og viste seg å stemme bedre overens med Stena Jutlandica sine resultater, men ettersom det ble for mange usikkerhetsmomenter med varierende C_T og C_P verdier valgte gruppen å forholde seg til den elektriske nytteenergien fra figur12.

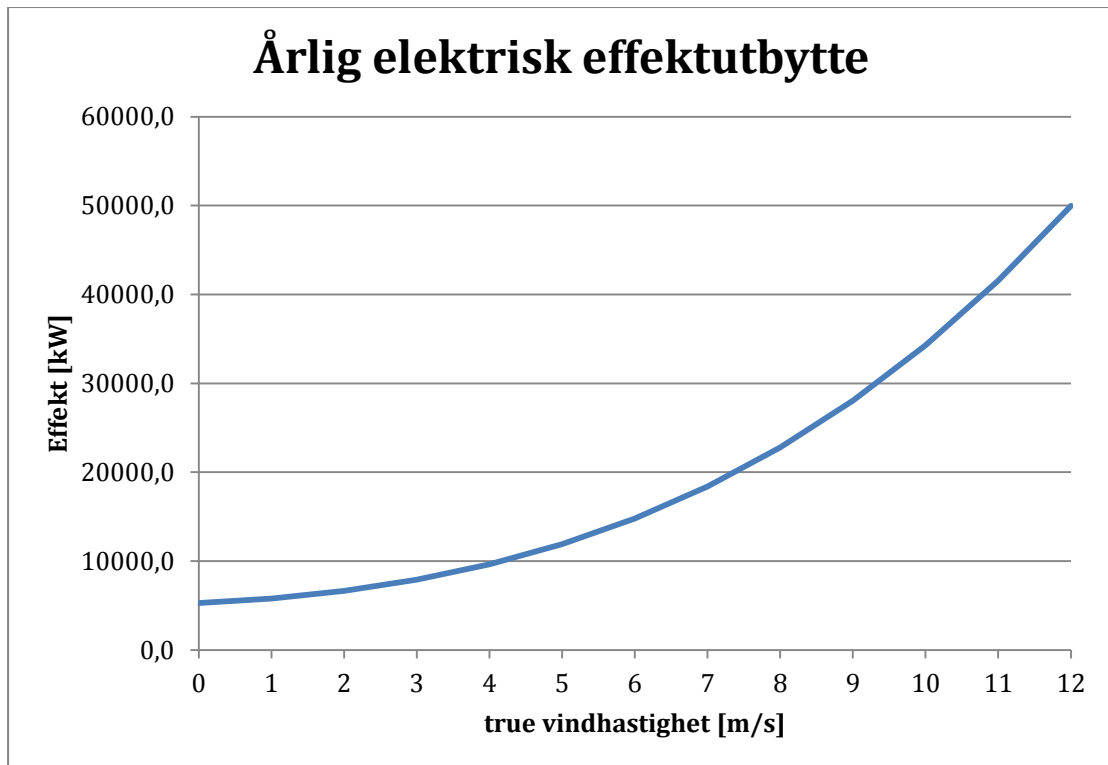


Figur 13: Effektutnyttelse med motstand fra turbin

3.1.1.3. Resultater VAWT

For å gi et estimat på hva det årlige effektbidraget fra en VAWT vil kunne være lagde gruppen en gjennomsnittlig verdi for de 4 vindsituasjonene fra figur 12, og regnet med at vinden ville virke 25 % for motvind, 25 % for medvind og 50 % av tiden som sidevind. Det ble videre fastslått at containerskipet ville være i drift 70 % av tiden, og forankret 30 % av tiden[40]. Fra figur 14 ble det funnet at med en gjennomsnittlig vindhastighet på 7,8m/s og $C_p=0,22$ ville en vindturbin av typen UGE-4K kunne bidra med en effekt på 21833kWh/år. Dette er igjen en svært teoretisk verdi som kun ser på det elektriske bidraget VAWT vil kunne bidra med. Mest sannsynlig vil dette tallet i virkeligheten ligge på litt over halvparten ettersom det har blitt neglisjert en hel rekke faktorer fra likningene 18 til 21.

For å kunne få eksakte verdier på hva en vindturbin vil kunne gi av effekt bør det innhentes vinddata og vindretninger for skipsruten skipet er tenkt å seile på. Ettersom turbinen vil bli påvirket av både elevasjon og asimut-vinkelen vinden vil virke fra, vil verdier for C_T og C_p endre seg. Det bør brukes gode simulerings-programmer for å kunne gi en eksakt verdi av hva turbinen faktisk vil kunne levere. Det velges å bruke verdier fra figur 14 videre for å kunne sammenligne effektbidraget mot casene som blir sett på videre i rapporten.



Figur 14: Årlig teoretisk effektutbytte

4 Solkraft

Dette kapittelet vil omhandle solas energiutnyttelsespotensial, en kort teori om silisiumbaserte solceller, tilgjengelige solcelleteknologier, irradiasjonsdata og solceller i maritimt miljø.

4.1 Generelt om solenergi

Solceller er en fornybar energiteknologi som omdanner energien fra solstråler til elektrisk nytteenergi. Solceller dekker i dag rundt 0,7 % av verdens energiforbruk [26], og er et marked i sterk vekst. Ny teknologi og en større produksjonsskala har gjort solceller mer økonomisk gunstige enn tidligere. Bare i en fem års periode mellom 2009 og 2014 ble globale solcellepriser redusert fra \$4/W til \$0,6/W[28], som er en prisreduksjon på 90 %. Den økonomiske tilgjengeligheten har videre ført til en stor vekst i installerte enheter. For eksempel i Norge ble det i 2016 installert 366 % flere enheter enn fjoråret.[29]

I dag er skipsindustrien svært avhengig av olje og gass som drivstoff. Det er blitt gjort flere omfattende prosjekter hvor hensikten har vært å se på nytteverdien av solcellepanel på større fartøy. Et eksempel er Auriga Leader, som er et pionerskip som ble sjøsatt i 2007 i Japan for å samle inn data med sine 328 solcellepaneler som man kan se på figur 15. Det ble funnet at den



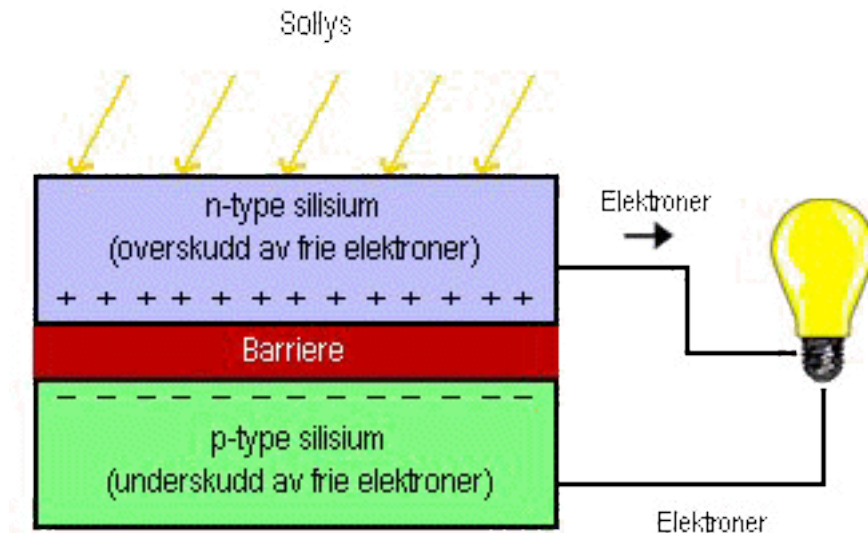
Figur 15: Auriga Leader

fornybare energien fra solcellepanelene bidro med 0,05 % av fremdriften og 1 % av det elektriske systemet på skipet [30]. Dette tilsvarer 13 tonn drivstoff og en klimabesparelse på 40 tonn CO₂ i året[31]. Det ble også funnet ut at panelene produserte 40 % mer elektrisitet på skipet enn på fastlandet, noe som kan skyldes de bedre vær-forholdene på havet.

I fjor ble "Drive Green Highway" sjøsatt som et av syv pioner-prosjekter som K-line har tenkt å bygge i årene fremover. Skipet måler 200 meter i lengde og 37,5 meter i bredde og skal kunne romme 7500 personbiler. Skipet er utstyrt med 900 CIS-solcellemoduler fra Solar Frontier som skal kunne levere 150kWp (kW under laboratorieforhold)[45]. Det er forventet at skipets eco-vennlige løsninger vil kunne kutte CO₂-utslippene sine med 50 %, NO_x-utslippene med 50 % og SO_x-utslippene med 90 % [32]. Det er videre forventet at solcellene vil kunne forsyne LED-belysningene på hele skipsdekket.

4.2 PV-panel teori

Silisium baserte solceller står for 95 % av solcellemarkedet[33] og er derfor mest hensiktsmessig å utdype teknologien rundt. Selv om det finnes flere forskjellige typer solceller innenfor denne kategorien er den grunnleggende teorien lik for alle.



Figur 16: Forklarende solcellefigur

Silisium er et grunnstoff med 4 elektroner i sitt ytterste skall og finnes blant annet i bergarten kvarts, også kjent som SiO_2 . Som vist på figur 16 består en solcelle i hovedsak av en n-type silisiumplate, p-type silisiumplate og en barriere. Ved å tilsette små mengder av grunnstoffet bor til p-typen vil boret, med 3 elektroner i sitt ytterste elektronskall, prøve å binde seg til silisiumet for å oppfylle oktettregelen. Dette fører til at silisiumplaten blir positivt ladet, ettersom bor mangler 1 elektron for å binde seg, og p-typen blir i underskudd av elektroner, dette underskuddet kalles elektronhull. N-type platen blir tilsatt små mengder fosfor som har fem elektroner i sitt ytterste skall. Denne siden vil da ha et overskudd av elektroner og blir negativt ladet. I området som grenser de forskjellige platetyperne vil overskuddselektronene fra n-typen tiltrekkes og forflytte seg til de ledige elektronhullene på p-typen. Dette fører videre til en ladningsforskjell i barrieresjiktet, hvor barrieresiden som grenser mot n-typen vil bli svakt positivt ladet og barrieresiden mot p-typen svakt negativt, se figur 16. Når lysfotoner treffer barrieresjiktet vil de slå løs elektroner som automatisk vil tiltrekkes mot den nå positive siden av barrieren og ende opp som et fritt elektron i n-typen. Dette gjør at elektroner fra p-typen må erstatte plassene til de utslåtte elektronene for å beholde barrieresjiktet. Dette vil igjen gjøre at det blir mangel på elektroner på p-siden som blir fylt opp fra n-siden dersom man slutter en krets mellom disse. I praksis vil n-siden være en veldig tynn plate av fosfor-dopet silisium for at lysfotoner fra sola kan stråle gjennom til barrieresjiktet. [33]



Effekten en solcelle leverer er definert av formelen:

$$P_{solcelle} = U \times I \quad (25)$$

Hvor $P_{solcelle}$ er effekt, U er spenning og I er ampere/strømmengde.

For å få en optimal effekt vil derfor både spenningen og amperen være viktige variabler. For å øke spenningen i en solcelle kan flere solceller seriekobles ved å sette den negative polen på en annen solcellen sin positive pol. Ved å parallellkoble panelene kan man øke amperen og få en økt mengde elektroner i krets.

4.3 Solcelle-typer og virkningsgrad

Sammenlignet med vannkraft lider solcellepanelene av en lav virkningsgrad. Selv om laboratorieutprøvde solceller har kommet opp i 40 % virkningsgrad ligger de fleste solcellene på det kommersielle markedet med en virkningsgrad på mellom 10-18 %. Den lave virkningsgraden skyldes at solceller ikke vil kunne utnytte alle bølglengdene fra sollyset, og den teoretisk maksimale virkningsgraden til silisiumbaserte solceller er 28 %.[47] Det finnes forskjellige typer silisium baserte solceller som tilbyr forskjellige grader av renhet på silisiumkrystallen. Høy renhet i krystallstrukturen gjør solcellen bedre egnet til å konvertere sollyset til elektrisk strøm (fotovoltaisk effekt), og virkningsgraden blir høyere som følge av dette. Høy renhet i krystallstrukturen kommer ofte med større produksjonskostnader. Når det skal vurderes hvilke type solceller som er best egnet på et skip mener gruppen det er hensiktsmessig å fokusere på:

- Virkningsgraden
- Størrelse
- Levetiden og virkningsgrad reduksjonen som følge av tiden
- Robusthet for å takle maritime forhold, må være resistent mot høy fuktighet og salt.
- Pris

4.3.1 Monokrystallinske celler

Monokrystallinske solceller er den eldste og mest utprøvde solcelle-teknologien, men har i de senere årene blitt utkonkurrert av polykrystallinske celler på det kommersielle markedet. Monokrystallinske solceller blir vanligvis grodd ut fra silisiumkrystaller gjennom «Czochralski prosessen». Denne prosessen ble opprinnelig utviklet for å produsere silisiumbrikker til elektronikk industrien.[23] Prosessen er tidkrevende, dyr og krever dyktige operatører for å få en perfekt gitterstruktur på silisium krystallene. Produksjonen av monokrystallinske celler er kjent for å kreve en stor mengde energi og produserer mye avfall ettersom kun en liten del av den store silisiumbaren kan bli brukt som panel (wafer). Det bør videre nevnes at dette avfallet kan bli brukt til å produsere polykrystallinske celler og andre elektronikk-komponenter[34]. Monokrystallinske celler er også kjent for å ha den lengste levetiden på over 30 år [36]. I 2013 lanserte solcelleprodusenten Sunpower en monokrystallinsk solcelle-serie kalt



«X-series Residential Solar panels» som skal ha en virkningsgrad på 22 %. Serien skal også ha en lenger levetid og en lavere virkningsgradreduksjon i forhold til levetid, som produsenten mener vil gjøre at solcellepanelet vil kunne produsere opptil 70 % mer energi i et 25 års spenn. [35]

4.3.2 Polykrystallinske celler

Polykrystallinske silisiumceller består av flere monokrystallinske korn og er kjent for å ha en lavere renhet enn sin opphaver. Under produksjonen av disse solcellene slipper produsenten å gro silisiumkrystaller og cellene kan bli laget fra smeltet silisium som blir formet til barer som videre kan skjæres til perfekt rektangulære wafers [23]. Produksjonsfordelene og teknologiforbedringene innenfor denne sektoren har ført til at polykrystallinske celler har tatt over solcellemarkedet til tross for å ha en lavere virkningsgrad. Typisk vil virkningsgraden ligge på rundt 12-18 % på nyere typer polykrystallinske celler, og solcellene vil ofte ha en høyere virkningsgradreduksjon enn monokrystallinske celler. Dette trenger for så vidt ikke være på grunn av celletypen, men behandlingsprosessen i forhold til korrosjon og robusthet av waferen. Dette gjelder også ofte for levetiden av de forskjellige solcellene, hvor en typisk levealder for polykrystallinske celler vil ligge på rundt 25år. Det er også verdt å nevne at det er lettere å reparere en polykrystallinsk solcelle ettersom den består av flere utskiftbare silisiumkrystaller, mens monokrystallinske celler ofte må skifte ut hele modulen ved skade. Den store veksten i det polykrystallinske markedet har også ført til kraftig utvikling i teknologien. For eksempel kom TwinPeak serien fra solcelleleverandøren REC med en polykrystallinsk solcelle som er testet for å kunne operere med en virkningsgrad på 17,3 % under optimale forhold.

4.3.3 Tynn-film PV-panel

Tynn film PV-paneler blir laget ved å legge tynne lag fotovoltaiske materialet på et substrat, som for eksempel kan være glass, plast eller metall. De fotovoltaiske materialene på typiske tynnfilm-paneler er CdTe, CIS og a-Si. Hvor a-Si er den mest utbredte på grunn av sine lave produksjonskostnader og tungmetallutslipp[36]. Hovedfordelen med denne typen PV panel er at de er bøyelige og formbare, noe som gjør dem egnet for et marked av vanskeligstilte installasjonssituasjoner. Tynnfilm er kjent for å ha den laveste virkningsgraden av de kommersielle solcellene, hvor a-Si: 5-7 %, CIT: 9-11 % og CdTe: 5-8,5 % [36]. Levetiden er satt til å ligge på ca. 20 år [36], men dette vil variere med leverandør, behandlingsprosess og hvilket materiale tynnfilmen er laget av. Den lave produksjonskostnaden har ført til at tynnfilm har blitt en aktuell teknologi innenfor storskala solenergiproduksjon, men dens lave virkningsgrad gjør den uheldig å installere på objekter med begrenset plass.

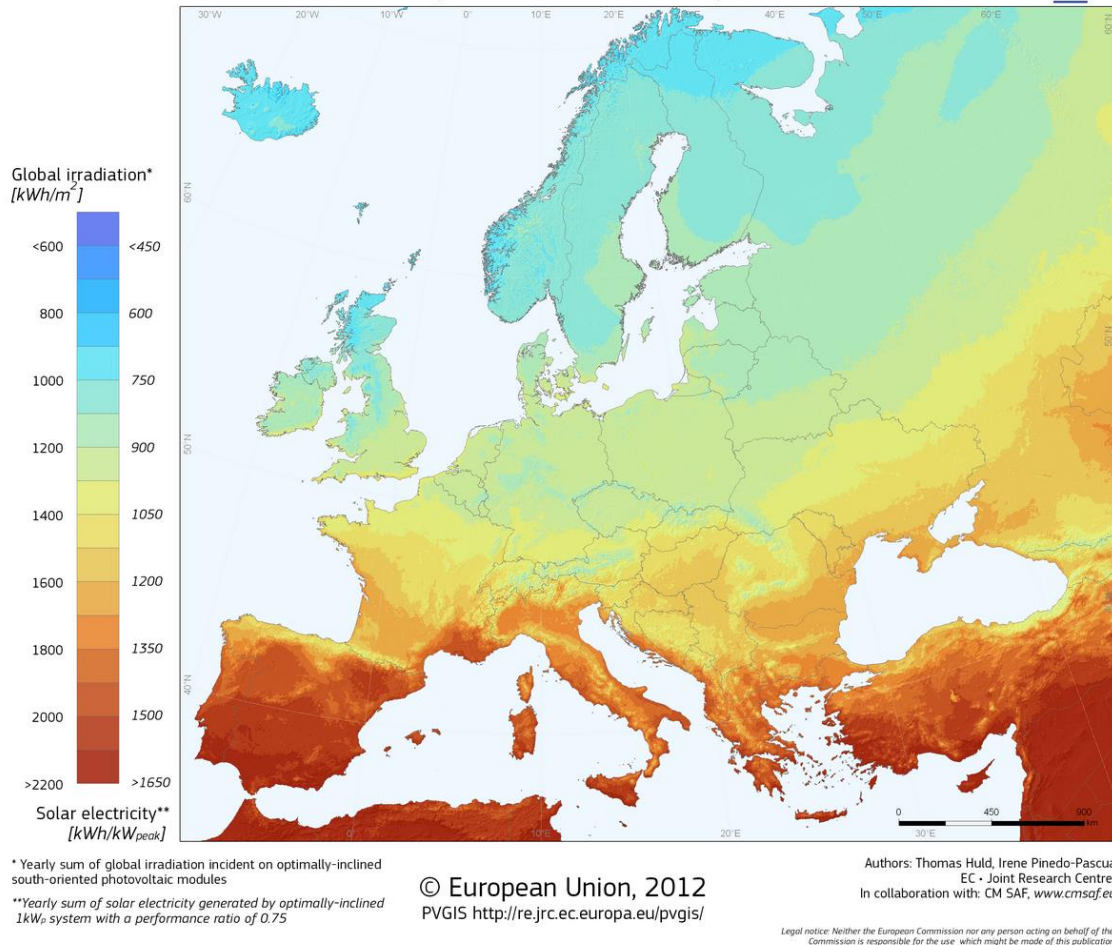
4.3.3 Solcelle konklusjon

Det er et stort mangfold av tilgjengelige solcelleteknologier på det kommersielle markedet. For å installere en solcelle legger gruppen til grunne at solcellen bør ha en høy virkningsgrad for å kunne produsere så mange W/m^2 som mulig, godt behandlet mot korrosjon og andre reduksjonspåvirkninger fra omgivelsene og bør innfri

sikkerhetsaspektene fra kapittel 6. Med disse forutsetningene mener gruppen at polykrystallinske celler vil være den mest gunstige teknologien å anvende på et skip. Selv om de vil kunne ha en lavere virkningsgrad og kortere levetid enn mono-krystallinske celler, har den nyeste teknologiinnvasjonen ført til at disse forskjellene er minimale.

4.4 Soldata

Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



Figur 17: Solradiasjonskart over Europa

Når det kommer til årlig gjennomsnittlig solirradiasjon stiller Norge dessverre svakt sammenlignet med sørligere land. Solbestrålingen på reiseruten fra Ålesund til Rotterdam øker gradvis langs den sørlige lengdegraden, som kan sees på figur 17. De gjennomsnittlige irradiasjonsverdiene for de 5 aktuelle havnebyene ble funnet ved å bruke data fra European Union Commission [37] og sammenlignet med data fra NASA [38], som viste seg å stemme godt overens. Videre ble formel 26 brukt for å finne det elektriske effektutbytte med tilhørende irradiasjonsverdier som vist i tabell 9. Som nevnt tidligere ble det registrert at solcellenes effekt økte med 40 % på sjøen sammenlignet med land på Auriga Leader, men ettersom dette ikke er tilstrekkelig dokumentert velger gruppen å neglisjere denne oppdagelsen fra disse utregningene.



For å få helt korrekte verdier er det her, samme som for vind, avgjørende å ha eksakte data for solradiasjon langs den aktuelle ruten. Gruppen mener likevel at radiasjonsdataene fra [37], [38] og figur 15 gir en god tilnærming for hva den årlige gjennomsnittsradiasjonen langs denne ruten vil være. Med tanke på skyforhold og andre irradiansjonsbetingelser vil det være svært vanskelig å få eksakte tall på dette, spesielt langs en skipsrute.

4.5 Solcelleutregninger

Effektutnyttelsespotensialet til solceller $P_{solcelle}$ er bestemt av solcellearealet $A_{solcelle}$, virkningsgraden r , irradiansjonsverdien H og ytelses ratioen P_R . Det er midlertidig en rekke andre verdier som bør bli tatt til betraktning for å finne de eksakte verdiene for r , H og P_R .

$$P_{solcelle} = A_{solcelle} * r * H * P_R \quad (26)$$

$P_{solcelle}$ = Energi (kWh)

$A_{solcelle}$ = Totalt solcellepanel areal (m^2)

r = Solcellepanelets utbytte eller effekt (%)

H = Årsmiddelverdi av irradiansjon på et solcellepanel (for en horisontal installasjon)

P_R = Ytelsesratio, koeffisient for tap (0,5-0,9)

Irradiansjonsverdien vil bli påvirket av hvor på kloden skipet befinner seg, værforhold og innstrålingsvinkel. For en optimal vinkel kan solcellen utstyres med en mekanisk tiltmekanisme som kan manøvrere solcellen for å oppnå de mest gunstige bestrålingsverdiene. På et skip som til en hver tid vil endre posisjon kan dette være aktuelt, men vil medføre flere komponenter og økt pris på hele installasjonen. En slik maskininnretning kan være uheldig å ha på et skip ettersom den vil være eksponert for mye sjø og vind. I denne studien ble det valgt å installere solcellene horisontalt på det tilgjengelige dekkareale av skipet.

For virkningsgraden vil solcelletypen være avgjørende for hvor mye av den tilgjengelige radiasjonen cellen kan konvertere til elektrisk energi. Men det er også verdt å merke seg at det ikke bare er i denne delen av prosessen energi vil gå tapt. P_R verdien vil avgjøre det resterende effekttapet fra hele modulen som typisk kan være:

- Temperatur tap, ettersom både elektronikken og selve PV-panelet kan bli svekket når den ikke operer ved optimale temperaturer. Virkningsraten til solcellene er ofte oppgitt med en nominell temperatur som svarer til den oppgitte virkningsgraden til leverandøren. Denne koeffisienten kan variere mellom 5 % til 20 % dersom man betrakter temperaturkoeffisientene for både PV-panelet og elektronikken. De mer moderne solcellene vil ofte ligge nærmere 5 % av denne skalaen, og alle disse temperaturkoeffisientene er oppgitt av leverandør.



- AC og DC kablene kan gi et effekttap som vil være definert av lengden og kablernes egendefinerte tapkoeffisient som igjen vil variere av type materiale brukt i kabelen. Dette tapet ligger typisk på 1-3 %.
- Effekttap grunnet støv, snø, regn, is eller dugg er også faktorer som vil bestemme hva den totale effektraten blir. På et skip bør det også tas hensyn til at salt-belegg på solcellene kan gi en redusert P_R verdi. [39]

I denne oppgaven velges det å se bort fra disse faktorene ettersom det vil være en omfattende simulasjon og værdata-innsamling for å kunne gi eksakte verdier for de overnevnte reduksjonsfaktorene. Det velges derfor å sette P_R verdien til 0,75 som er en standard verdi for moderne solceller.[48] I dette studiet ble det valgt å se på TwinPeak-solcellene fra REC ettersom dette er en godt uttestet solcelletype, med en høy virkningsgrad som på et skip vil være avgjørende med begrenset dekksplass. Spesifikasjonene for REC er gitt i tabell 8 og verdiene ble utregnet ved å bruke formel 26.

REC 295 TwinPeak spesifikasjoner	
Nominell effekt	295 Wp
Effektivitet	17.7 %
Areal	1,65m ²
Celletype	Multikrystalline

Tabell 8 REC 295 TwinPeak

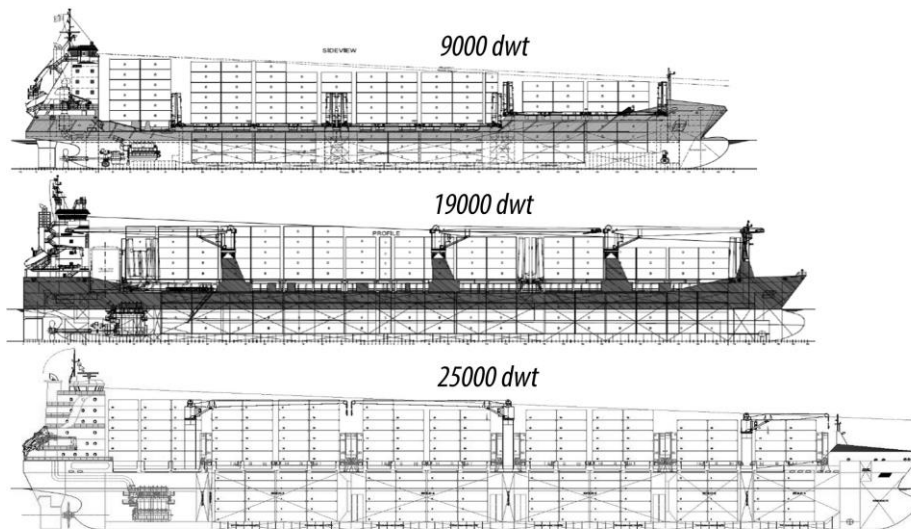
Resultatene for irradiasjonen på de aktuelle lokasjonene og tilhørende effekt produsert er gitt i tabell 9. Ettersom irradiasjonen er gitt for den årlige gjennomsnittlige forekomsten av sol [37,38], ble effekten pr dag ganget med 365 for å gi et tall på den årlige energiproduksjonen. Det ble funnet at et panel av typen REC 295(tabell 8) vil kunne gjennomsnittlig produsere 205,12kW pr år for den aktuelle ruten.

Lokasjon	Irradiasjon (Wh/m ² /dag)	Effekt (Wh/dag)
Ålesund	2160	462,43
Førde	2150	460,29
Bergen	2210	473,13
Stavanger	2620	560,91
Rotterdam	3090	661,53
Gjennomsnitt	2446	523,658

Tabell 9: Irradiasjon og Effekt verdier for de aktuelle lokasjonene

5. Case studie

I henhold til oppgaven valgte gruppen å se på 3 forskjellige containerskip for å gi et anslag på hvor mye drivstoff- og utslipp som kan bli bespart ved å installere de fornybare energimodulene. Ettersom en av Norges målsetninger er å kutte utslippene med 40 % innen 2030 sammenlignet med 1990 valgte gruppen å se på skip som kan representere containerskip-industrien i denne sammenhengen. Skipsstørrelsene som ble valgt var 9000dwt, 19000dwt og 25000dwt hvor alle opererer med en vanlig forbrenningsmotor som utøver sitt arbeid direkte på drivakslingen.



Figur 18: Illustrasjon for de 3 ulike skipsklassene [43],[44],[45]

5.2 Årlig motoreffekt

Skip uttrykker motorkraft tilgjengelig som ”*Maximum Continuous Rating*”, eller MCR. Dette er et mål på hvor mange kilowatt motoren på et gitt skip vil bruke ved 100 % belastning. Det er sjeldent at skip opererer på denne verdien ettersom drivstofforbruket øker betraktelig på disse nivåene og det er derfor normal prosedyre for skip å opprettholde et gasspådrag som utgjør 85 % av MCR verdien som vist i formel 27. Det ble tatt utgangspunkt i at skipene vil være i drift 70 % av tiden, med en gjennomsnittlig driftshastighet på 15 knop. De resterende 30 %, når skipet ligger til kai, vil det fortsatt være et forbruk, men det antas at dette vil dekkes av landstrøm som, i Norges tilfelle, kommer fra vannenergi og vil neglisjeres fra totalforbruket til skipet i denne studien. Det ble også valgt å se bort fra faktorer som luftmotstand, hydrodynamisk friksjon og vær, ettersom det ikke var tilstrekkelig med skips- og værdata for å kunne gi representative tall på disse. Effekten som kreves av motoren til et gitt skip kan bli beregnet med fremgangsmetoden fra kapittel 2.5.

$$P_{motor} = MCR * 0,85 * 0,7 \quad (27)$$



5.1 Drivstoff

Drivstofftypen på skipene er IFO 380, ”*Intermediate Fuel Oil*”, og er en tungolje blandet med biprodukter fra bensinproduksjon. IFO 380 har en utslippsrate på 280 g CO₂/kWh, 18 g SO_x/kWh og 13 g NO_x/kWh[49]. Denne drivstofftypen er ofte brukt på eldre skip, som også står for mesteparten av SO_x og NO_x-utslippene. Nyere containerskip går ofte på diesel-elektriske generatorer og vil ha en lavere utslippsrate på SO_x og CO₂. Det er også verdt å merke seg at det er planlagt å få flere skip til å gå på naturgass, DNV GL konkluderte i rapporten «*Grønt kystfartsprogram*» at LNG er den mest lovende arvtageren til olje i den nye skipsæraen.

	9000dwt	19000dwt	25000dwt
Lengde	140 m	160 m	179 m
Bredde	21 m	24 m	27 m
Draft	7,5 m	8,4 m	10,5 m
Hovedmotor	6000 kW	8000 kW	8250 kW
Forbruk	20 tonn IFO 380	22,5 tonn IFO 380	32,5 tonn IFO 380

Tabell 10: Skips-spesifikasjoner for de forskjellige skipsstørrelsene [43], [44], [45]

5.3 Skipsutslipp

For å finne utslippsmengden klimagasser CO₂, SO_x og NO_x for skipene, brukte gruppen data fra DNV GL som oppgir utslippsmengden for hver av klimagassene pr kWh for de aktuelle motorstørrelsene. Årlig utslipp for de forskjellige klimagassene er gitt med formel 28 til 30.

$$CO_2 \text{ Årlig} = P_{motor} * U_{CO_2} * 24 * 365 \quad (28)$$

$$SO_x \text{ Årlig} = P_{motor} * U_{SO_x} * 24 * 365 \quad (29)$$

$$NO_x \text{ Årlig} = P_{motor} * U_{NO_x} * 24 * 365 \quad (30)$$

Hvor:

P_{motor}: er motoreffekt fra formel 24 (kW)

U: er gitt ved tonn av aktuell klimagass som slippes ut per kWh (tonn/kWh)



Utslippsgasser for de tre skips-størrelsene			
	9000dwt	19000dwt	25000dwt
P_{motor} årlig (MW)	31274	41698	43001
CO₂ årlig (tonn/år)	8756,50	11675,33	12043,25
SO_x årlig (tonn/år)	562,91	750,55	774,01
NO_x årlig (tonn/år)	406,55	542,07	559,01

Tabell 11: Klimagass verdier for de 3 skipsstørrelsene

5.4 Resultater og diskusjon

Med utslippstallene fra tabell 11 kan det beregnes hvor mange tonn utslippsstoffer som kan reduseres med kalkulasjonene fra kapittel 3.5.2 og 4.5 i forhold til effektpotensialet til VAWT, vingeseil og solceller. Dette gjøres ved å sammenligne utslippstallene for de gitte skipsstørrelsene med hvor mange prosent av effektforbruket de fornybare energikildene vil kunne bidra med. I tabell 12 er det sett på 3 installasjons-situasjoner for hver av energiteknologiene på hvert av skipene. Effektgevinsten som de forskjellige installasjonene vil kunne gi vil gjelde mer eller mindre likt for alle typer skip de blir installert på. Reduksjonsprosenten derimot vil kun gjelde for de aktuelle skipene ettersom motorstørrelsen vil variere. Det er videre mulig å kombinere disse situasjonene for å få en ønsket effektbesparelse. Det er verdt å merke seg at disse installasjons-situasjonene kun er teoretiske og tar ikke hensyn til dekksplass på skipet. For å installere en eller flere av disse modulene på et skip bør det gjøres grundige analyser på dekksplass, skipskapasitet og værforhold langs aktuell rute, i tillegg til faktorpåvirkningene nevnt i sol og vind-kapitlene.

Effekt produsert av fornybare energikilder og effektbesparelse i %									
	5 V.T	10 V.T	15 V.T	1 V.S	3 V.S	5 V.S	50 PV	100 PV	150 PV
Effekt pr. År	109165 kW	218330 kW	327495 kW	1295457 kW	3886372 kW	6477286 kW	10256 kW	20513 kW	30795 kW
Effekt besparelse 9000dwt	0,349%	0,698%	1,047%	4,142%	12,427%	20,712%	0,033%	0,066%	0,098%
Effekt besparelse 19000dwt	0,262%	0,524%	0,785%	3,107%	9,320%	15,534%	0,025%	0,049%	0,074%
Effekt besparelse 25000dwt	0,254%	0,508%	0,762%	3,013%	9,038%	15,063%	0,024%	0,048%	0,072%

Tabell 12: Effekt produsert av de ulike fornybare energikildene og effektbesparelse i %

Utslippsreduksjon									
	5 V.T	10 V.T	15 V.T	1 V.S	3 V.S	5 V.S	50 PV	100 PV	150 PV
Reduksjon CO₂ (tonn/år)	30,56	61,12	91,68	362,70	1085,81	1812,60	2,63	5,74	8,62
Reduksjon SO_x (tonn/år)	1,97	3,93	5,89	23,3	69,80	116,52	0,17	0,37	0,55
Reduksjon NO_x (tonn/år)	1,42	2,84	4,26	16,8	50,41	84,16	0,12	0,27	0,40

Tabell 13: Utslippsreduksjon i tonn per år.



Som man kan se fra tabell 12, utgjør både solenergi (PV) og VAWT (V.T) en svært lav prosent av skipets totale effekt. Det vil midlertidig være uaktuelt å bruke den elektriske energien produsert fra disse teknologiene til fremdrift av skipet ettersom dette vil kreve en transformator eller en elektrolyse-prosess om bord som videre vil kunne gi energi til en brenselcelle. Det vil være mest aktuelt å la disse teknologiene gå til sekundære elektriske systemer på skipet og ikke for selve fremdriften. For å gjøre dette vil det kreve installasjoner av et gridsystem som støtter den elektriske strømmen til teknologiene, el-kabel installasjoner og muligens operatører på større installasjoner. Dette vil komme i tillegg til modul, installasjon og vedlikeholds-kostnadene som et slikt system vil kreve.

5.4.1 Solceller

Fra tabell 12 kan man se at 150 solcellepaneler i størrelsen $1,65\text{m}^2$ på det minste skipet (9000dwt) vil kunne bidra med litt under 0,1 % av skipets totale effektforbruk. Auriga Leader, som ble nevnt i kapittel 4, hadde et effektutbytte på 0,05 % med 328 solceller og en 14315kW hovedmotor som er litt over dobbelt så stor som 9000dwt-skipets 6000kW motor. Resultatene fra den teoretiske utregningen i kapittel 4.5 samsvarer godt med effekten fra Auriga Leader, men som forventet vil solcellene på norsk sokkel levere mindre energi ettersom Auriga Leaders rute befinner seg lenger sør hvor det vil være høyere irradiansverdier. Effektpotensialet til et anlegg bestående av 100 solceller vil bidra med 20 513kW årlig, som tilsvarer effektforbruket til én norsk husstand årlig[54]. Dette vil i beste scenario kunne dekke led-belysningen til et eventuelt skip det blir installert på. Men ettersom det vil være en sterkt redusert effekt produsert i vinterhalvåret vil det også bli nødvendig å ha et backupaggregat for det elektriske systemet solcellene skal dekke for i denne perioden. Areal pr kW levert er for solceller også svært høyt, noe som egner seg dårlig med den allerede begrensede dekksplassen på et containerskip.

5.4.2 VAWT

5 VAWT installert på 9000DWT skipet kunne bidra med 0,35 % av skipets totale effekt. For å sammenligne resultatene fra dette studiet med Stena Jutlandica ble det funnet at vindturbiner installert langs norske-kysten muligens vil kunne gi et større effektutbytte på turbinene enn ruten til Stena Jutlandica, som går fra Göteborg til Frederikshavn. Det er videre viktig å huske at turbinen ikke vil kunne produsere mer effekt enn hva «rated power» tilsier, og at beregningene gjort i denne rapporten er svært teoretiske og tar ikke hensyn til luftmotstanden turbinene vil bidra med. VAWT teknologien vil ha et mindre varierende effekt-utputt årlig enn solcellene, som vil være gunstig for det elektriske systemet. Men det vil også her være store total-kostnader for et slikt system og, som sett fra tabell 12, vil effekten av en slik installasjon kun utgjøre en liten prosent av hva som kreves på større containerskip. Det vil også her kreve mange moduler for å dekke et relativt lite effektbidrag.

5.4.3 Vingeseil

I følge utregningene gjort i denne studien ble det funnet at vingeseil kunne bidra med mest effekt. Gruppen fant ut fra tabell 12 at et seil på 600m^2 , med spesifikasjonene



gitt fra kapittel 3.5.1, kunne gjennomsnittlig bidra med en effekt på 4,142 % på et 9000dwt skip. Ved å installere 5 vingeseil vil den gjennomsnittlige effektbesparelsen ligge på rundt 15 % for et 25000dwt skip. Fra figur 11 kan man se at effektutbyttet for vingeseil vil variere med vindhastighet som er tilgjengelig. Dette gjelder for alle vindteknologiene som har blitt analysert, men vil for vingeseil være avgjørende for å kunne drifte skipet fremover. Samme figur viser også at effektutbyttet fra vingeseil vil øke betraktelig ved høyere vindhastigheter og vil, ved optimale forhold, kunne bidra med oppimot 50-60 % av fremdriften på skipet. Dette er som sagt bare teoretisk, og så store vindhastigheter vil mest sannsynlig føre til komplikasjoner på seil og mast, se kapittel 6. Det er også verdt å nevne at en installasjon av flere seil vil kunne føre til redusert effekt ved visse angrepvinkler fra vinden.

En stor utfordring med vingeseil vil være installasjonsløsningen på skipet. Spesielt for containerskip vil det være begrenset med dekksplass som vil kunne brukes til andre formål enn TAU. Dessuten vil containerne redusere vinden på seilene dersom de befinner seg bak en containerklynge. For å finne gode løsninger på slike problemer bør det allerede fra designfasen av skipet legges til grunne å installere seil. Ettersom det ikke har blitt gjennomført slike prosjekter i praksis før, bør det gjennomføres gode rapporter og studier på emnet for å gjøre det modent nok for det kommersielle markedet.

5.4.4 Klimagassreduksjon, økonomi og alternative løsninger

Tabell 11 gir klimagassreduksjonene de forskjellige installasjonene vil kunne bidra med på hvert av skipene. Som tidligere nevnt er det blitt normalt med diesel-elektriske generatorer, og i følge den nye traktaten fra MARPOL som trådte i kraft 1. januar 2015, vil flere motorer som går på IFO 380 ha vanskeligheter for å møte kravene om et SO_x nivå på 0,5 % m/m innen 2020.[52] Utslippsreduksjonen vil bli lavere for mer moderne typer skip ettersom disse drivstofftypene allerede har lavere utslipps-rater for de overnevnte klimagassene.

I et økonomisk perspektiv vil forventede CO_2 kvoter i 2040, i en «worst case», ligge på rundt 80\$ pr tonn CO_2 [55]. Det vil si at en installasjon av 150 solceller vil kunne redusere disse kvotene med 686\$ årlig. I tillegg vil drivstoffbesparelse, som beregnet fra vedlegg L, på et 25000DWT skip være 2204\$ årlig. Dette er minimalt sammenlignet med hva installasjons og vedlikeholdskostnadene for en slik innretting vil komme på, og fra [56] vil disse teknologiene kreve mellom 5-10 år å tjene seg selv inn igjen. For bedrifter vil dette være en uaktuell investering, og vil være langt fra lønnsomt med mindre det blir lagt inn støtte fra staten. Samme gjelder for VAWT teknologien, at det her vil være økte besparelser på både kvoter og drivstoff, men vil i seg selv være en dyrere teknologi å installere sammenlignet med solceller. Så den totale økonomiske gevinsten her vil også være svært lav og lite gunstig sammenlignet med andre reduserende tiltak som kan implementeres på et skip.



Det finnes flere andre utslippsreducerende tiltak som kan gjøres på skip. For eksempel vil skipdesignet, som nevnt i Kap 2.5, også ha en stor påvirkning på drivstoffforbruket. Å kjøre motoren på et lavere turtall vil også kunne bespare drivstoffforbruket betrakteleg. I en rapport fra Enova [57] ble det konkludert med at de effektbesparende tiltakene som faktisk ville kunne utgjøre en forskjell var ladbare batterihybrid, batteridrift (fullelektrisk) og brenselceller. Disse er riktignok ikke en fornybar energikilde i seg selv, men med den voksende utbygningen av vindturbin og solcelle farmer vil energien til batteriene kunne komme fra disse i en global sammenheng.



6. Risikoanalyse

6.1 Bakgrunn

NCE Maritime CleanTech utvikler et prosjekt kalt *Short Sea Pioneer* hvor de ønsker å se på muligheter for å bruke sol og vindenergi til å drifte ulike systemer om bord på *Moderfartøyet* for å redusere forurensing til miljøet. I forbindelse med dette har prosjektgruppen sett på 3 ulike caser som skal gi en representasjon på hva som kan være mulig å installere på et skip av denne størrelsen i fremtiden. Prosjektet er en direkte respons fra den maritime shipping industrien for å imøtekomme de strenge utslippskravene som blir satt av myndighetene.

Som en del av mulighetsstudiet er det besluttet å gjennomføre en sikkerhetsrettet risikoanalyse for eventuelle sol og vindenergi-produksjonssystemer som vurderes installert på moderfartøyet.

Analysen er avgrenset til å identifisere mulige risikoobjekter forbundet ved å ha solceller og vindutnyttelsesteknologi på et fartøy i maritim drift. Analysen vil være en kvalitativ variant etter ønske fra NCE Maritime CleanTech.

6.2 Formål med analysen

Analysen har som formål å gi en beslutningsrelevant og representativ fremstilling av risiko for hendelser som kan påvirke energiproduksjonssystemene og skipets samlede integritet.

Analysen vil danne grunnlag for vurdering av behov for eventuelle risikoreducerende tiltak.

Risikoanalysen er en grovanalyse etter NS 5814 ”*Krav til risikovurderinger*” og «IMO Guidelines on alternative design and arrangements for SOLAS», og skal avdekke uønskede hendelser som kan ha effekt på energiproduksjons-systemene og sikkerheten rundt disse hendelsene.



6.3 Rammebetingelser

6.3.1 Forutsetninger for analysen

Følgende forutsetninger er valgt for grovanalysen:

- Analysen fremstiller ikke uavhengige, sammenfallende hendelser.
- Analysen er kvalitativ.
- Sikkerhetsaspekter relatert til energiproduksjonssystemene vil bare bli vurdert, miljøaspekter som utslipp vil ikke bli vurdert.
- Analysen betrakter kun hendelser som kan påvirke systemenes evne til å være operative og eventuelle personskader dette kan føre til.
- Man ser kun på hendelser som kan inntreffe når skipet er i drift i åpent farvann.

6.3.2 Organisering av arbeidet

Risikoanalysen blir utført ved hjelp av dokumentasjon som er tilgjengelig på internett og fra leverandører. De uønskede hendelsene identifiseres etter prosjektgruppens faglige skjønn, og er derfor subjektiv.

6.3.3 Styrende dokumenter

Ref.	Tittel	Dato	Utgiver
1.1	NS 5814:2008 Krav til risikovurdering	2008	Standard Norge
1.2	Energilovforskriften	2010	Olje- og energidepartementet
1.3	Forskrift om merking av innretning for fornybar energiproduksjon	2016	Samferdselsdepartementet
1.4	Brann- og eksplosjonsvernloven	2002	Justis- og beredskapsdepartementet
1.5	Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg	2016	Justis- og beredskapsdepartementet
1.6	Skipssikkerhetsloven	2007	Nærings- og fiskeridepartementet
1.7	Forskrift om brannsikring på skip	2014	Nærings- og fiskeridepartementet
1.8	Forskrift om miljømessig sikkerhet for skip	2012	Klima- og miljødepartementet
1.9	Guidelines on alternative design and arrangements for SOLAS	2009	International Maritime Organization
1.10	Guidelines on alternative design and arrangements for fire safety	2001	International Maritime Organization
1.11	Adoption of amendments to the international management code for safe operation of ships and for pollution prevention	2000	International Maritime Organization
1.12	Produktkontrollloven	2015	Klima- og miljødepartementet

Tabell 14: Styrende dokumenter for gjennomføring av risikoanalyse



6.3.4 Grunnlagsdokumentasjon

Ref.	Tittel	Dato	Utgiver
1.1	Bølgeøyde i Nordsjøen	2014	Metrologisk Institutt
1.2	Vindhastighet langs norskekysten	2016	Kjellers vindteknikk
1.3	Kartbok for ising langs norskekysten	2009	Kjellers vindteknikk
1.4	UGE 4k vindturbin	2001	Urban Green Technology
1.5	REC285TP solcellepanel	2017	Renewable Energy Corporation
1.6	Wingsail drive system	1985	Alexander P. Bates, Philip E. Harcourt
1.7	Lynstudien	2011	Norges vassdrags- og energidirektorat
1.8	Skyggekast fra vindkraftverk	2014	Norges vassdrags- og energidirektorat
1.6	Offisielle kartdatabaser og statistikk		Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, Norges vassdrags- og energidirektorat, Miljødirektoratet, Sjøfartsdirektoratet, Olje- og energidepartementet

Tabell 15: Grunnlagsdokumentasjon for vurdering av sannsynlighet og konsekvens til risikoanalyse



6.4 Metode

Valg av metode er basert på NS 5814:2008 "Krav til risikoanalyser" og følger samtidig punkter i "Risikoanalyse, veiledning til NS 5814".

Risiko blir i følge NS 5814 definert som:

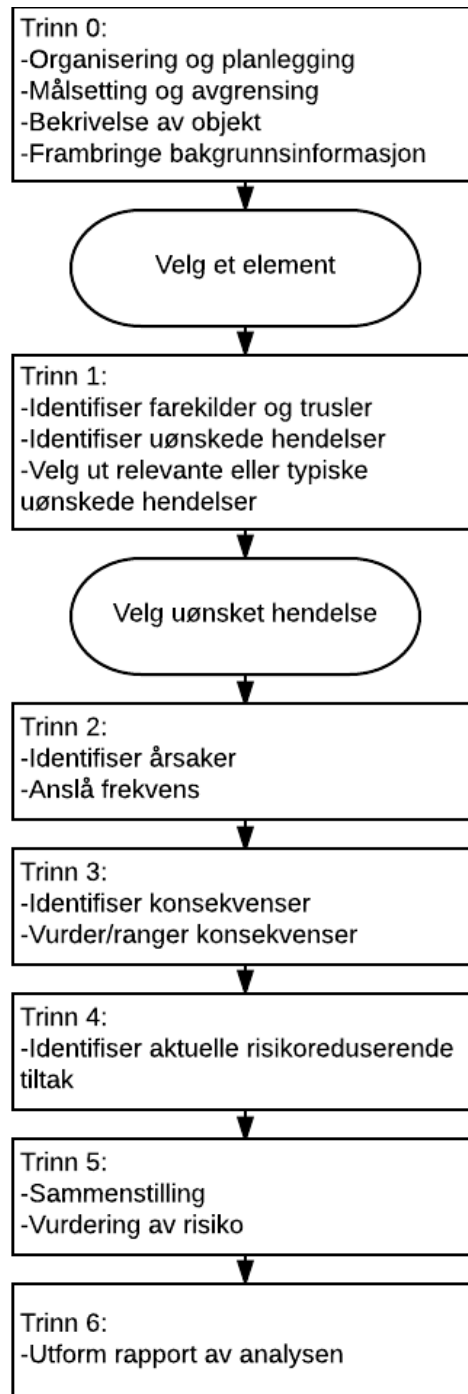
"Uttrykk for den fare som uønskede hendelser/tilstander representerer for mennesker, miljø eller materielle verdier. Risikoen uttrykkes ved sannsynligheten for- og konsekvensene av de uønskede hendelsene".

Det er knyttet usikkerhet til om en hendelse vil inntreffe (sannsynlighet) og om omfanget (konsekvensen) av hendelsen er den som inntreffer. Dette er et resultat av at risiko knyttes til uønskede hendelser, hendelser som egentlig ikke skal hende.

6.5 Grovanalyse

Grovanalyse er en enkel analyse som ofte blir brukt i en tidlig fase av et prosjekt, helst under design stadiet. Målet med en tidlig grovanalyse er å avdekke mulige farekilder, uønskede hendelser og trusler så tidlig som mulig i prosjektfasen for å få fjernet, redusert eller kontrollert eventuelle farekilder før de inntreffer[42].

En grovanalyse består av 7 trinn som skal guide gjennomførelsen på en systematisk metode og er illustrert i figur 17.



Figur 19: Flytskjema for gjennomførelse av en grovanalyse [42]



6.6 Kategorisering av sannsynlighet og konsekvens

Hvor ofte en uønsket hendelse kan inntreffe beskrives ved hjelp av begrepet sannsynlighet. Kategoriseringen av sannsynlighet og frekvens, og er valgt ved hjelp av retningslinjene i boken ”*Risikoanalyse – teori og metoder*”[42], statistikk og faglig skjønn. Følgende kategorier for sannsynlighet ble valgt:

Sannsynlighetskategori	Frekvens
1. Lite sannsynlig	Sjeldnere enn en hendelse pr. 1000 år
2. Moderat sannsynlig	I gjennomsnitt en hendelse pr. 100 år
3. Sannsynlig	I gjennomsnitt en hendelse pr. 10 år
4. Meget sannsynlig	I gjennomsnitt en hendelse pr. 1 år
5. Svært sannsynlig	Oftere enn en hendelse pr. år

Tabell 16: Kategorier for sannsynlighet

Konsekvenskategoriseringen ble også valgt ved hjelp av boken ”*Risikoanalyse – teori og metoder*”[42], statistikk og faglig skjønn. Tabellen er definert etter tap av verdier knyttet til materiell og personskade.

Konsekvenskategori	Beskrivelse
1. Svært liten konsekvens	Ingen personskade Materielle skader < 100 000 kr / ingen skade på eller tap av samfunnsverdier
2. Liten konsekvens	Personskade Materielle skader 100 000 – 1 000 000 kr / ubetydelig skade på eller tap av samfunnsverdier
3. Middels konsekvens	Alvorlig personskade Materielle skader 1 000 000 – 10 000 000 kr / kortvarig skade på eller tap av samfunnsverdier
4. Stor konsekvens	Dødelig skade, en person Store materielle skader 10 000 000 – 100 000 000 kr / skade på eller tap av samfunnsverdier med noe varighet
5. Meget stor konsekvens	Dødelig skade, flere personer Svært store materielle skader > 100 000 000 kr / varige skader på eller tap av samfunnsverdier

Tabell 17: Kategorier for konsekvens

6.7 Vurdering av risiko

En grovanalyse plasserer de uønskede hendelsene inn i en risikomatrise gitt av hendelsenes sannsynlighet og konsekvens. De uønskede hendelsene vurderes etter sannsynlighet, konsekvens og årsaker.

De 3 sonene i risikomatrisen er:



GRØNN
GUL
RØD

Akseptabel risiko – tiltak er ikke nødvendig.

Akseptabel risiko – men tiltak bør vurderes.

Uakseptabel risiko – tiltak er nødvendig.

	KONSEKVENS				
SANNSYNLIGHET	1. Svært liten	2. Liten	3. Middels	4. Stor	5. Svært stor
5. Svært sannsynlig					
4. Meget sannsynlig					
3. Sannsynlig					
2. Moderat sannsynlig					
1. Lite sannsynlig					

Figur 20: 5x5 risikomatrise

6.8 Risikoreducerende tiltak

Risikoreducerende tiltak er handlinger som minsker sannsynligheten eller konsekvensen for en uønsket hendelse og som kan bidra til å redusere risikoen fra f.eks. rød til gul sone i risikomatrisen.

Grønn hendelse: Hendelser som ender opp på grønn sone i risikomatrisen er objekter som har en akseptabel risiko. Risikoreducerende tiltak er ikke nødvendig, men kontinuerlig forbedring er alltid et mål og tiltak kan implementeres når det ikke krever betydelig ressursbruk.

Gul hendelse: Hendelser som er i gul sone krever et kontinuerlig fokus på risikostyring og tiltak bør implementeres. I disse tilfellene er det ofte hendelser som ikke kan forhindres, og tiltak bør derfor implementeres dersom kost/nytteverdien er hensiktsmessig.

Rød hendelse: Hendelser som ender opp på rød sone er hendelser en ikke kan leve med ettersom kombinasjonen av sannsynlighet og konsekvens er for høy. Dette er hendelser hvor risikoreducerende tiltak er nødvendig og må følges opp. I disse tilfellene er det vanligst å prøve å fokusere på å få redusert sannsynligheten for at den uønskede hendelse ikke inntreffer.



6.9 Tekniske komponenter

Den fornybare energiproduksjonen på moderfartøyet vil bestå av to ulike kilder, sol og vind. Prosjektgruppen har tidligere i oppgaven vurdert de beste alternativene for henholdsvis sol/vind etter hvilket alternativ som leverer mest mulig kraft til farkosten fra de respektive teknologiene. Hensikten med grovanalysen er å vurdere alle de nevnte teknologiene i et sikkerhetsperspektiv, for å gi en vurdering for hvilke av teknologiene som har lavest risiko

De ulike teknologiene som skal drøftes inneholder mange detaljerte komponenter som må avdekkes for å gjøre grovanalysen enkel å forstå. Komponentliste for de ulike fornybare energiteknologiene er gitt i vedlegg C.

6.9.1 Vindturbiner

For vindturbiner som skal monteres på skip ble det identifisert 4 uønskede hendelser som endte opp i rød sone.

Ising på rotorbladene var den første hendelsen som endte opp med en høy RPN verdi. Ettersom skipet har en planlagt rute langs norskekysten ble sannsynligheten for isdannelse på rotorbladene vurdert til kategori 4. Klimaet som man finner langs norskekysten er ofte kjølig spesielt i vinterperioden og kombinasjonen med mye vind og sjøsprøyt som treffer turbinen, gjør at isdannelse er en hendelse som kan inntreffe med høy sannsynlighet.

Konsekvenskategorien for isdannelse på rotorbladene endte opp på verdi 4. Hovedgrunnet for den høye konsekvensvurderingen er at rotorbladene ofte spinner med høy hastighet og når isen løsner vil den ikke bare falle, men bli slengt i ulike retninger som prosjektiler. Det største bekymringsmomentet ved at is løsner er relatert til personskader som følge av at is treffer personal på dekk. Et av de viktigste sikkerhetstiltakene som bør implementeres for vindturbiner på skip som skal gå utenfor norskekysten vil da være varmetråder i turbinbladene og i motorhuset. Dette sannsynlighetsreduserende tiltaket vil sørge for at isdannelsen på turbinen ikke vil oppstå, mye likt som på flyvinger. Konsekvensreduserende tiltak vil her være å implementere en sikkerhetssone rundt turbinene, med en faktor på 150 % av turbinens sveipet areal, der personal ikke skal oppholde seg over lengre tidsperioder. Denne sikre sonen skal markeres tydelig på dekk.

Underkjølt regn på både rotorblad og vindturbinmodul ble også klassifisert som hendelser med uakseptabel risiko. Disse hendelsene er nært relatert til ising, men hovedforskjellen er at det er gitt en lavere sannsynlighet for denne hendelsen. Dette argumenteres for ettersom underkjølt regn ikke er et værphenomen som inntreffer ofte. Samme tiltak som for ising bør her implementeres for å kunne gi et redusert risikobilde for vindturbiner på skip.

Ved å implementere de overnevnte sannsynlighet og konsekvensreduserende tiltakene, vil samlet risiko bli redusert til gul sone, som er akseptabel. Videre arbeid bør likevel gjennomføres for å redusere risikoen ytterligere.



«Overspeed» er den siste uønskede hendelsen som ble kvalifisert i risikokategori rød. Dette er når vindturbinen opererer ved en høyere hastighet enn den gitte «cut-out» hastigheten. Dette skjer hovedsakelig ved vindhastigheter over 20m/s og kan gi betydelig skade på vindturbinen som at rotorblad knekker og blir slengt gjennom luften. Sannsynlighetskategorien for denne hendelsen er 3, ettersom vindhastigheter som oversiger 20m/s i kastene utenfor norskekysten er noe som ofte forekommer. Konsekvenskategorinivå på 5 er gitt som et resultat av de enorme kreftene som eksisterer ved at et turbinblad knekker og fallfaren for mennesker som befinner seg ved eller under konstruksjonen.

Det bør implementeres flere sikkerhetsbarrierer for å unngå at denne hendelsen inntreffer. Det bør være to uavhengige skivebremses på «low-speed shaft» komponenten og begge bremseskivene bør være overdimensjonerte. Et automatisk system kalt «Overspeed Protection System» bør også være implementert, som er i stand til å detektere rotasjonshastigheten til vindturbinen og aktiverer de nevnte bremsene når «cut-out» hastigheten overstiges. Dette vil redusere sannsynligheten til kategori 2. Konsekvensreduserende tiltak anbefales å være at personell ikke oppholder seg på dekk ved vindhastigheter som overstiger 22m/s. Dette reduserer konsekvens til kategori 4, og samlet risiko for hendelsen blir da vurdert som akseptabel risiko (gul).

For fullverdig resultat av grovanalysen av vindturbiner se vedlegg D.

6.9.2 Vingeseil

Ankringspunktet hvor masten er koblet til båtdekket ble gitt en rød risikokategori ettersom konsekvensen ved en konstruksjonsvikt her vil gi store konsekvenser. Hele seilmodulen kan velte hvis dette kritiske punktet feiler, og dette kan gi skade på både mennesker og skipets integritet. Disse konsekvensene har gitt denne uønskede hendelsen en konsekvenskategori på 5, den høyeste verdien. De viktigste risiko-reduserende tiltak som kan implementeres her er regelmessige inspeksjoner av enheten, vedlikehold og at ankringspunktet er overdimensjonert. Hvis prosedyrer for installasjon, inspeksjon og vedlikehold blir produsert og fulgt regelmessig vil sannsynligheten for at hendelsen inntreffer bli redusert fra 2 til 1. Men for å redusere konsekvensen, som er det viktigste i dette tilfellet, anbefaler prosjektgruppen at det blir gjennomført en «Sikker Jobb Analyse» for å identifisere områder hvor personell ikke bør oppholde seg over lengre perioder. Seilmodulen har store dimensjoner og konsekvens ved en eventuell velt for skipets integritet er vanskelig å redusere. Man vil her anbefale å montere seilene på lokasjoner som gjør at de ikke kan velte over kritiske komponenter som f.eks. styrhuset. Ettersom det bør gjennomføres analyser for å redusere konsekvensen, vil ikke denne verdien minke før en løsning er identifisert. Men sannsynlighetsreduserende tiltaket vil sørge for at hendelsen ender opp på gul sone etter at tiltak er implementert.

En svikt i seilets girkasse er også en hendelse som endte på rød risikokategori. Denne girkassen er selve komponenten som omformer el-motorens kraft om til rotasjonsbevegelse på seilmodulen. At girkassen virker er essensielt for å kunne opprettholde



optimal vinkel på seilet. Konsekvenskategorien er gitt en verdi på 4 som et resultat av at hendelsen kan lede til brann. Brann om bord på et skip er ekstremt uheldig, og det er viktig å slukke brannen kjappest mulig. Hvis brannen får spre seg kan skipet tapet sin integritet og menneskeliv kan raskt gå tapt. For å redusere sannsynligheten for at en girkassefeil kan lede til en brann bør det implementeres temperatur- og påkjenningsensorer i girkassen. Dette kan hjelpe mannskapet å identifisere om en girkasse er i ferd med å svikte. Hvis man klarer å stenge girkassemodulen før eventuell girolje lekker ut, er sannsynligheten for brann betydelig redusert. Denne sannsynlighetsreduksjonen vil gi en samlet RPN i gul sone, som er akseptabel, men videre tiltak bør vurderes.

Siste uønskede hendelse som endte på rødt i risikomatrisen var relatert til overbelastning av strømgeneratoren. Generatorens jobb er å levere strøm til el-motoren som igjen styrer seilets vinkel. Sannsynligheten for at en generator blir overbelastet ble gitt en verdi på 3 ettersom en generator normalt har problemer med å operere når det er stor variasjon i strømmengde som kreves. Når en generator stadig må endre sitt «power output» vil generatoren raskt kunne overopphete og svikte. Det er denne varmeproduksjonen som har resultert i at en generatorsvikt har fått konsekvenskategori 4. Denne varmeproduksjonen kan lede til brann, og vil ha samme konsekvensene for hendelsen gitt ved en girkassefeil. Sannsynlighetsreduserende tiltak vil være temperatursensor i modulen og overbelastningsvern. En «backup» generator som kan steppe inn hvis den hoved generatoren svikter reduserer konsekvensen ved en eventuell svikt. De samlede tiltakene resulterer i en vurdert risiko som ender opp i gul (akseptabel) sone.

For fullverdig resultat av grovanalysen av vingeseil se vedlegg F.

6.9.3 Solcellepanel

Solcellepanel var den fornybare energikilden som ble analysert til å ha lavest risiko, med bare 2 hendelser som endte opp på rød sone.

Bølge over baug var den første hendelsen som ble kvalifisert som rød. Hovedgrunnet for den høye samlede risikoen er konsekvensen ved at en bølge treffer solcellemodulen og drar med modulen over bord. Modulen kan bli skylt rundt på dekk og komme til skade på mennesker. Sannsynlighetsreduserende tiltak vil her være nært koblet til produksjonsprosessen hvor metallet som brukes bør være galvanisert og av høy kvalitet, samt være behandlet av anti rust lakk.

Sannsynligheten for om en bølge går over baugen eller ei er forbundet med skipsdesign og sjø forhold. Sannsynlighetsreduserende tiltak vil hær være nært koblet til hvilke type skip solcellepanelene er montert på, og hvilke bølgehøyde en kan forvente på den planlagte ruten. Områder utenfor norskekysten kan ha tilfeller hvor bølgehøyder er over 10m, og i det er i disse tilfellene modulene er mest utsatt. En redusert sannsynlighet til kategori 2, vil oppnås ved å overveie at metallet brukt er av høy kvalitet. Dette vil gi en samlet risiko i gul sone.



Brann i solcellemodulen er siste hendelse som endte opp med en høy samlet risiko. Alle solcellemodulene er seriekoblet for å generere høyest mulig mengde strøm, og det er denne faktoren som gjør at konsekvenskategorien for denne hendelsen blir vurdert til nivå 5. Hvis det starter en brann i et panel så er det nok brennbart materiale i en modul til å kunne produsere nok varme til at de nærliggende modulene også vil kunne antenne. Med mer en 50 moduler montert vil dette kunne generere en brann som er stor nok til å påvirke skipets integritet. Som nevnt tidligere så er brann på et skip en av de verst tenkelige scenarioene som kan inntreffe, og menneskeliv står i fare. For å redusere konsekvensen ved at en solcellemodul antenner bør det implementeres temperatursensorer i/ved panelene og det bør være røykdetektorer som gjør at en kan identifisere en mulig brann før den får spredd seg. En «AC/DC inverter disconnect» vil også være essensiell for å kunne hindre at den antente modulen vil gi kortslutninger videre til hele det elektriske systemet.

For fullverdig resultat av grovanalysen av solcellepanel se vedlegg E.

6.10 Konklusjon risikoanalyse

Etter gjennomførte grovanalysen er det tydelig at å montere de ulike fornybare energikildene på et skip er fullt mulig. Det er relativt få hendelser som gir en risiko som er over akseptnivå, og for de hendelsene som har en høy risiko er det gitt tilhørende risikoreducerende tiltak som bidrar til å minimere risikoen ned til et akseptert nivå (gul eller grønt område).

HAWT har en radius på rotorbladene som er stor i forhold til rotorblad radiusen til VAWT turbiner. For å minimere konsekvensen forbundet med bladene ble det anbefalt å sikre et trygt område rundt turbinene der personal kan oppholde seg, med en faktor på 150 % av sveipet areal. Som et resultat av den store radiusen som en HAWT utgjør, blir det avgrensede område betydelig større en for en VAWT. Dette sikkerhetsperspektivet er hovedargumentet for hvorfor en VAWT er å foretrekke på et skip, ettersom arbeidsplassen er svært begrenset kontra en turbin som er montert på land.

HAWT har også et høyt tyngdepunkt som blir vurdert som ikke optimalt for en konstruksjon som skal være montert på et skip som krenger og beveger seg i bølgene. Stressnivået på konstruksjonen vil da utgjøre et risikomoment som man helst vil unngå.

Kombinasjonen av solcellepanel, vingeseil og VAWT vil utgjøre en økt risiko på et skip, men ved de rette tiltakene implementert på hendelser som ender opp i risikogruppe «rød» vil samlet miljøgevinst veie opp for denne risikoen. Disse 3 teknologiene er tidligere utprøvd på skip hver for seg uten alvorlige konsekvenser. Gruppen vurderer kombinasjonen av de 3 teknologien på ett og samme skip som en risiko som kan være akseptabel, og gruppen kan anbefale at videre kvantitative analyser kan startes om ønskelig.



7. Konklusjon

I denne oppgaven har prosjektgruppen sett på ulike fornybare energiteknologier og effektbidraget disse vil kunne gi på containerskip. I tillegg har det blitt sett på hvor mye utslippsreduksjon som kan forventes ved å utnytte kombinasjoner av solcellepanel, vingeseil og VAWT, og om hvorvidt noen av disse vil kunne bidra med en utslippsreduksjon på 40 % mot 2030.

Alle utregningene gjort i denne rapporten er teoretiske og er kun ment som en tilnærming for hva som kan forventes av effektutbytte ved en eventuell installasjon av de presenterte fornybare energiteknologiene. Gruppen valgte ut teknologier fra det kommersielle markedet som ble regnet som representative for sin sektor i denne rapporten.

Studiet kan konkludere med at det vil være mest gunstig å installere vind-utnyttelses-teknologi på skipene ettersom det er svært beleilige vindforhold langs norskekysten. Med tanke på Norges svake irradiansjonsnivå, som følge av de korte soltimene i vinterstiden, vil solcellenes effektutbytte være begrenset.

Resultatene fra denne studien viser at effektutbytte fra solceller og vertikal akslede vindturbiner vil være marginal. Tatt i betraktning at totalinstallasjonen og vedlikeholdskostnadene er høye vil samlet miljøgevinst være lav. Det er absolutt et spennende område mange ønsker at skal kunne overta for oljen, men i skrivende stund er ikke teknologien kommet langt nok, og vil gi for lav avkastning med mindre det blir gitt subsidier fra staten.

Det ble funnet at vingeseil kunne gi et effektbidrag med opptil 20 % ved en installasjon av 5 seil på et 9000dwt container skip. Det vil midlertidig kreve grundigere forskning og flere pionerprosjekt på området ettersom det fortsatt er en lite utprøvd teknologi. Men, som denne og andre rapporter kan konkludere med, er det teoretiske potensialet for vingeseil stort og gruppen mener dette bør forskes grundigere på.

Med tanke på den begrensede dekksplassen som er tilgjengelig, vil det være problematisk å installere nok av de diskuterte teknologienhetene for å nytte noe særlige effekt på containerskip. For at de fornybare teknologiene skal kunne utnyttes på et fartøy i fremtiden, bør skipet designes med hensyn på at disse skal installeres, og en vurdering må bli tatt basert på at ønsket miljøgevinst vil gå på bekostning av containerareal.

I et sikkerhetsperspektiv ble det konkludert at de fornybare energiteknologiene alene ikke utgjorde en betydelig risiko. For uønskede hendelser som endte i rød sone i risikomatrixen ble det gitt anbefalinger for hvilke tiltak som kunne gjennomføres for å redusere den samlede risikoen til et akseptabelt nivå. Det ble også konkludert at å



samle alle disse teknologiene på et og samme skip vil øke risikoen, men ikke til et betydelig nivå.



Referanser

- [1] Skipsfart. (2015, 15. juni). I Store norske leksikon. Hentet 3. mars 2017 fra <https://snl.no/skipsfart>.
- [2] Handelsflåten, norskregistrerte skip, 2016 (2017, 27.januar). Statistisk sentralbyrå. Hentet 7. mars 2017 fra <https://www.ssb.no/transport-og-reiseliv/statistikker/handelsflaar/2017-01-27>
- [3] Shipping emissions 17% of the global CO2. (2015, 23.november). Transport & Environment. Hentet 3.april 2017 fra <https://www.transportenvironment.org/press/shipping-emissions-17-global-co2-making-it-elephant-climate-negotiations-room>
- [4] Reduksjon av klimagassutslipp fra Norsk innenriks skipsfart. (2016, 18.mars). Det Norske Veritas GL. Hentet 10.april 2017 fra <https://www.regjeringen.no/contentassets/b3df5ceb865e42b48befdf132a95a8be/skipsfart-klimagasser-dnvgl.pdf>
- [5] International Convention for the Prevention of Pollution from Ships. (2017, 19.mai). International Maritime Organization. Hentet 20.april 2017 fra [http://www.imo.org/en/About/conventions/listofconventions/pages/international-convention-for-the-prevention-of-pollution-from-ships-\(marpol\).aspx](http://www.imo.org/en/About/conventions/listofconventions/pages/international-convention-for-the-prevention-of-pollution-from-ships-(marpol).aspx)
- [6] Energy Efficiency Measures. (2011, 1.juni). International Maritime Organization. Hentet 31.mars 2017 fra [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pollution Prevention/AirPollution/Pages/Technical-and-Operational-Measures.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pollution%20Prevention/AirPollution/Pages/Technical-and-Operational-Measures.aspx)
- [7] Grønt kystfartsprogram. (2015, 14.april). Teknisk Ukeblad. Hentet 1.april 2017 fra <https://www.tu.no/artikler/malet-norge-skal-vaere-verdensledende-pa-miljoenlige-skip/222217>
- [8] Prediction of Resistance and Propulsion Power of Ships. (2013, 1.mai). Technical University of Denmark. Hentet 3.april 2017 fra https://www.shipowners.dk/services/beregningsvaerktoejer/download/Basic_Model_Linkarea_Link/163/wp-2-report-4-resistance-and-propulsion-power.pdf
- [9] Determination of ship resistance.(1974). Guldhammer and Harvald. Hentet 21.mars 2017 fra <http://www.boatdesign.net/forums/attachments/hydrodynamics-aerodynamics/86659d1384877103-guldhammer-diagrams-ship-resistance-guldhammer-harvald-1965-1974.pdf>
- [10] TEU. (2016, 12.mars). Wikipedia. Hentet 14.april 2017 fra <https://no.wikipedia.org/wiki/TEU>
- [11] Dannevig, Petter & Harstveit, Knut Erik. (2015, 3. januar). Vind. I Store norske leksikon. Hentet 3. mars 2017 fra <https://snl.no/vind>.



- [12] Vindkraft – produksjon i 2016. (2017, 15. januar). Norges vassdrags- og energidirektorat. Hentet 16. mars 2017 fra http://publikasjoner.nve.no/rapport/2017/rapport2017_12.pdf
- [13] Vindkraft i Danmark. (2015, 6. januar). Teknisk Ukeblad. Hentet 16.mars 2017 fra <https://www.tu.no/artikler/ny-dansk-vindkraftrekord/223596>
- [14] Vindkraft offshore og industrielle muligheter. (2009, september). SINTEF Teknologi og samfunn. Hentet 17.mars 2017 fra https://www.sintef.no/globalassets/upload/teknologi_og_samfunn/industriell_ekonomi/rapporter/sintef-rapport-versjon8-endelig.pdf
- [15] Wind Power Onboard a Ferry. (2011, 24.juni). Energy Insight. Hentet 23.april 2017 fra http://www.energyinsight.info/wind_power_ferry.html
- [16] What`s WindChallenger Project. (2015). Wind Challenger Project HP, University of Tokyo. Hentet 25.april 2017 fra http://www.wind.k.u-tokyo.ac.jp/index_en.html
- [17] What`s inside a wind turbine?. (2010, 7.februar). Youtube, UVSAR. Hentet 2.april 2017 fra <https://www.youtube.com/watch?v=LNXTm7aHvWc>
- [18] Wind turbine power output variation with steady wind speed. (2015). Wind Power Program. Hentet 5.april 2017 fra http://www.wind-power-program.com/turbine_characteristics.htm
- [19] Vindturbin teknologi. (2016, mai). Fornybar.no, en informasjonsressurs for fremtidens energisystemer. Hentet 1.april 2017 fra <http://www.fornybar.no/vindkraft/teknologi>
- [20] Vertical axis wind turbines. (2015, 21.mars). M. Ragheb. Hentet 4.april 2017 fra <http://mragheb.com/NPRE%20475%20Wind%20Power%20Systems/Vertical%20Axis%20Wind%20Turbines.pdf>
- [21] The Sail Propulsion System for Cargo Ships by B9 Shipping. (2016, 21.juli). Marine Insight. Hentet 23.april 2017 fra <http://www.marineinsight.com/green-shipping/the-sail-propulsion-system-for-cargo-ships-by-b9-shipping/>
- [22] Integrating Renewable Energy Technologies to Reduce Large Ship Fuel Consumption. (2010, 17.mai). ASME 2010 4th International Conference on Energy Sustainability. Hentet 19.april 2017 fra <http://proceedings.asmedigitalcollection.asme.org/proceeding.aspx?articleid=1607330>
- [23] Renewable Energy Power for a sustainable future. (2012). Godfrey Boyle. Oxford University Press
- [24] Bernoulli-prinsippet. (2017, 14.februar). Wikipedia. Hentet 24.april 2017 fra <https://no.wikipedia.org/wiki/Bernoulli-prinsippet>



- [25] Betz`s law. (2017, 23.april). Wikipedia. Hentet 25.april 2017 fra https://en.wikipedia.org/wiki/Betz%27s_law
- [26] ORC VPP Documentation 2013. (2013, 4.juli). Offshore Racing Congress. Hentet 14.april 2017 fra <http://www.orc.org/rules/ORC%20VPP%20Documentation%202013.pdf>
- [27] Renewables 2014 Global Status Report. (2014). REN21. Hentet 28.april 2017 fra <http://www.webcitation.org/6SKF06GAX>
- [28] Hva betyr solenergirevolusjonen?. (2015, 15.juni). Norsk Klimastiftelse. Hentet 20.april 2017 fra http://klimastiftelsen.no/wp-content/uploads/2015/06/NK5_2015_Solenergirevolusjonen.pdf
- [29] Grønn Innsikt. (2017). Greensight. Hentet 23.april 2017 fra <http://www.greensight.no/wp-content/uploads/sites/6/2017/03/Rapport.pdf>
- [30] Auriga Leader «Ship of the Year». (2009, 18.september). Nippon Yusen Kaisma Line. Hentet 2.april 2017 fra http://www.nyk.com/english/release/31/NE_090918.html
- [31] Auriga Leader. (2016, 29.desember). Wikipedia. Hentet 15.april 2017 fra https://en.wikipedia.org/wiki/Auriga_Leader
- [32] Solar Frontier`s CIS Solar Panels Installed on K-line`s New Environmentally Friendly Transport Ship. (2016, 9.februar). Solar Frontier. Hentet 15.april 2017 fra <http://www.solar-frontier.com/eng/news/2016/C052772.html>
- [33] Solceller. (2016, 30.september). UngEnergi. Hentet 21.april 2017 fra <http://ungenergi.no/energikilder/solenergi/solceller/>
- [34] Final Report: Recycling of silicon-Wafers Production Wastes to SiAlON Based Ceramics with Improved Mechanical Properties. (2006, 30.september). United States Environmental Protection Agency. Hentet 20.mars 2017 fra https://cfpub.epa.gov/ncer_abstracts/index.cfm/fuseaction/display.highlight/abstract/8693/report/F
- [35] X21-335-BLK. (2016, desember). SunPower Corporation. Hentet 22.mars 2017 fra <https://us.sunpower.com/sites/sunpower/files/media-library/data-sheets/ds-x21-series-335-345-residential-solar-panels.pdf>
- [36] PV Systems Installed in Marine Vessels: Technologies and Specifications. (2013). Hindawi. Hentet 27.mars 2017 fra <https://www.hindawi.com/journals/ape/2013/831560/>
- [37] Photovoltaic Geographical Information System. (2017, februar). European Commission Joint Research Center. Hentet 3.mars 2017 fra <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>



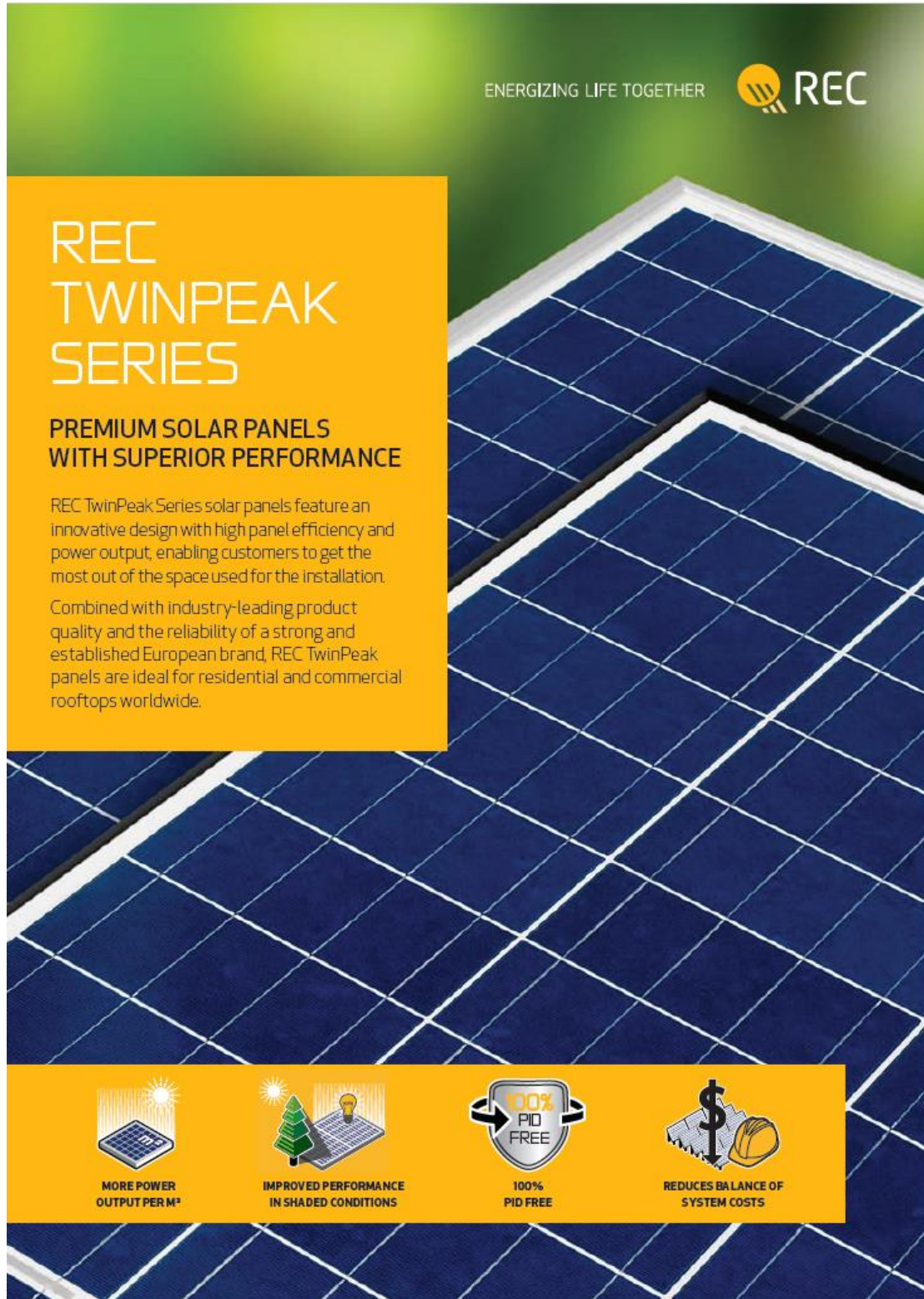
- [38] NASA Surface meteorology and Solar Energy. (2017). NASA Atmospheric science data center. Hentet 24.april 2017 fra <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=skip@larc.nasa.gov>
- [39] How to calculate the annual solar energy output of a photovoltaic system. (2016). Photovoltaic & Solar electricity design tools. Hentet 29.mars 2017 fra <http://photovoltaic-software.com/PV-solar-energy-calculation.php>
- [40] CO₂ Emission Statistics for the World Commercial Fleet. (2009). WMU Journal of Maritime Affairs. Hentet 20.mars 2017 fra <http://www.martrans.org/docs/publ/REFEREED%20JOURNALS/WMUJMA%20EMISSIONS%202009.pdf>
- [41] Rotterdam Bunker Prices IFO 380. (2017, 25.mai). Ship & Bunker. Hentet 25.mai 2017 fra <https://shipandbunker.com/prices/emea/nwe/nl-rtm-rotterdam>
- [42] Risikoanalyse – teori og metoder. (2014). Marvin Rausand og Ingrid Bouwer Utne. Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke AS
- [43] Damen Container Feeder 800. (2016, 7.juni). Damen Shipyards Gorinchem. Hentet 4.april 2017 fra http://products.damen.com/-/media/Products/Images/Clusters-groups/Shipping/Container-Feeder/CFE-800/Documents/Product_Sheet_Damen_Container_Feeder_800_06_2016.pdf
- [44] Damen Combi Freighter 19000. (2016, 25.august). Damen Shipyards Gorinchem. Hentet 4.april 2017 fra http://products.damen.com/-/media/Products/Images/Clusters-groups/Shipping/Combi-Freighter/Combi-Freighter-19000/Documents/Product_Sheet_Damen_Combi_Freighter_19000_STD_08_2016.pdf
- [45] MV PAC ALTAIR. (2015). Altair Maritime Limited. Hentet 5.april 2017 fra http://www.newshipusa.com/Pac_Altair.pdf
- [46] Rosvold, Knut A. (2017, 12. april). Watt Peak. I Store norske leksikon. Hentet 1. mai 2017 fra https://snl.no/watt_peak.
- [47] Solceller. (2017, mai). Fornybar.no En informasjonsressurs for fremtidens energisystemer. Hentet 4. mai 2017 fra <http://www.fornybar.no/solenergi/elektrisk-energi-fra-solen/solceller>
- [48] Performance ratio. (2016). SMA Solar Technology AG. Hentet 4. mai 2017 fra <http://files.sma.de/dl/7680/Perfratio-TI-en-11.pdf>
- [49] Teknisk vurdering av skip og av infrastruktur for forsyning av drivstoff til skip. (2014, 22.desember). Miljø og Klimadepartementer, DNV GL. Hentet 24. april 2017 fra https://www.regjeringen.no/contentassets/cffd547b30564dd9a2ae616042c22f26/teknisk_vurdering_av_skip_og_av_infrastruktur_for_forsyning_av_drivstoff.pdf



- [50] Verre klimautslipp fra LNG-motorer. (2011, 23.mai). Teknisk Ukeblad. Hentet 3.mai 2017 fra <https://www.tu.no/artikler/verre-klimautslipp-fra-lng-motorer/238540>
- [52] MARPOL VEDLEGG VI Hindring av luftforurensing. (2011). Lovdata.no. Hentet 4.mai 2017 fra <https://lovdata.no/static/LTI/ltavd1/filer/grafikk/sf-20150605-0616-01-01.pdf?timestamp=1491264271000>
- [51] UGE Case Studies. (2012, november). Urban Green Energy, Inc. Hentet 5.mai 2017 fra <http://www.rombrosolar.com/Pages/UGE-Brand/Brochures/UGE-wind-turbine-outdoor-lighting-case-studies.pdf>
- [53] CO2-avgift. (2017, 11 januar). Miljødirektoratet, miljøstatus.no. Hentet 29.april 2017 fra <http://www.miljostatus.no/tema/klima/tiltak-klimagassutslipp/co2-avgift/>
- [54] Energibruk i husholdningene. (2012). Statistisk sentralbyrå. Hentet 5.mai 2017 fra <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/husenergi/hvert-3-aaar/2014-07-14>
- [55] Spring 2016 National Carbon Dioxide Price Forecast. (2016, 16 mars). Synapse Energy Economics Inc. Hentet 6.mai 2017 fra <http://www.synapse-energy.com/sites/default/files/2016-Synapse-CO2-Price-Forecast-66-008.pdf>
- [56] Renewable Energy Options for Shipping. (2015, januar). IRENA. Hentet 7.mai 2017 fra http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_Tech_Brief_RE_for%20Shipping_2015.pdf
- [57] Teknologier og tiltak for energieffektivisering av skip. (2016, 22.desember). DNV GL, Enova SF. Hentet 7. mai 2017 fra https://www.enova.no/upload_images/5CA0E9A81AD54C4C94C3B313AB238A27.pdf

Vedlegg

Vedlegg A REC 295 TP Specsheet







ENERGIZING LIFE TOGETHER 

REC TWINPEAK SERIES

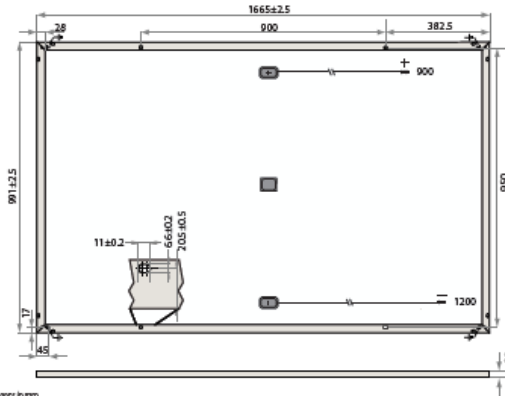
**PREMIUM SOLAR PANELS
WITH SUPERIOR PERFORMANCE**

REC TwinPeak Series solar panels feature an innovative design with high panel efficiency and power output, enabling customers to get the most out of the space used for the installation.

Combined with industry-leading product quality and the reliability of a strong and established European brand, REC TwinPeak panels are ideal for residential and commercial rooftops worldwide.

-  **MORE POWER
OUTPUT PER M²**
-  **IMPROVED PERFORMANCE
IN SHADED CONDITIONS**
-  **100%
PID FREE**
-  **REDUCES BALANCE OF
SYSTEM COSTS**

REC TWINPEAK SERIES



Measurements in mm.

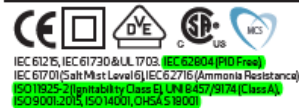
ELECTRICAL DATA @ STC	REC265TP	REC270TP	REC275TP	REC280TP	REC285TP
Nominal Power - P _{MPP} (Wp)	265	270	275	280	285
Watt Class Sorting - (W)	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5	0/+5
Nominal Power Voltage - V _{MPP} (V)	31.1	31.2	31.4	31.9	32.1
Nominal Power Current - I _{MPP} (A)	8.53	8.66	8.76	8.78	8.90
Open Circuit Voltage - V _{OC} (V)	38.3	38.6	38.8	39.2	39.5
Short Circuit Current - I _{SC} (A)	9.21	9.29	9.40	9.44	9.54
Panel Efficiency (%)	16.1	16.4	16.7	17.0	17.3

Values at standard test conditions STC (air mass AM 1.5, irradiance 1000W/m², cell temperature 25°C).
At low irradiance of 200W/m²(AM1.5) and cell temperature 25°C at least 94% of the STC module efficiency will be achieved.
Product code is followed by the suffix BLK for black framed modules.

ELECTRICAL DATA @ NOCT	REC265TP	REC270TP	REC275TP	REC280TP	REC285TP
Nominal Power - P _{MPP} (Wp)	195	198	202	205	209
Nominal Power Voltage - V _{MPP} (V)	28.8	28.9	29.0	29.5	29.6
Nominal Power Current - I _{MPP} (A)	6.77	6.87	6.95	6.97	7.06
Open Circuit Voltage - V _{OC} (V)	35.2	35.5	35.7	36.1	36.3
Short Circuit Current - I _{SC} (A)	7.32	7.38	7.47	7.50	7.58

Nominal operating cell temperature NOCT (800W/m², AM1.5, wind speed 1 m/s ambient temperature 20°C).
Product code is followed by the suffix BLK for black framed modules.

CERTIFICATIONS



takeaway
for an easy way
takeaway WEEE Compliant
Recycling scheme

WARRANTY

10 year product warranty
25 year linear power output warranty
(max. degradation in performance of 0.7 % p.a.)
See warranty conditions for further details.

17.3% EFFICIENCY

10 YEAR PRODUCT WARRANTY

25 YEAR LINEAR POWER OUTPUT WARRANTY

TEMPERATURE RATINGS

Nominal operating cell temperature (NOCT)	44.6°C (±2°C)
Temperature coefficient of P _{MPP}	-0.39 %/°C
Temperature coefficient of V _{OC}	-0.31 %/°C
Temperature coefficient of I _{SC}	0.045 %/°C

GENERAL DATA

Cell type:	120 REC HC multi-crystalline 6 strings of 20 cells (156 x 78 mm)
Glass:	3.2 mm solar glass with anti-reflective surface treatment
Back sheet:	Highly resistant polyester
Frame:	Anodized aluminum (Available in silver or black)
Junction box:	3-part with bypass diodes IP67 rated 4 mm ² solar cable, 0.9 m + 1.2 m
Connectors:	Multi-Contact MC4 (4 mm ²)

MAXIMUM RATINGS

Operational temperature:	-40 ... +85°C
Maximum system voltage:	1000 V
Maximum snow load:	550 kg/m ² (5400 Pa)
Maximum wind load:	244 kg/m ² (2400 Pa)
Max series fuse rating:	25 A
Max reverse current:	25 A

MECHANICAL DATA

Dimensions:	1665 x 991 x 38 mm
Area:	1.65 m ²
Weight:	18 kg

Note! Specifications subject to change without notice.

Ref: REC-05-07-02-01 Rev: C-00-16

Celebrating its 20th anniversary in 2016, REC is a leading European brand of solar panels. Through integrated manufacturing from polysilicon to wafers, cells, panels and turnkey solar solutions, REC strives to help meet the world's growing energy needs. Founded in 1996, REC is a Bluestar Elkem company with headquarters in Norway and operational headquarters in Singapore. REC concluded 2015 with 2000 employees worldwide, 1.3 GW solar panel production capacity, and annual revenues of USD 755 million.



www.recgroup.com



Vedlegg B Urban Green Energy 4K Specsheat


UGE-4K™

SILENTLY POWERFUL

The **UGE-4K** vertical axis wind turbine by **Urban Green Energy** is here to change the path of small wind. Quiet, yet powerful, it is the ultimate achievement in small wind, allowing our patented technologies to create a powerful system to offset your energy use, whatever the demand may be!

Whether you are eager to send energy to the grid or to charge a bank of batteries off the grid, the UGE-4K is an excellent solution for those looking to benefit from the untapped energy of the wind.

Visit www.urbangreenenergy.com/products/uge-4k today to find out how the UGE-4K is saving the planet, one wind turbine at a time!



Urban
Green
Energy

SPECIFICATIONS

General

Axis _____ Vertical
 Height _____ 4.60 m (15.10 ft)
 Width _____ 3.00 m (9.85 ft)
 Weight _____ 461 kg (1016 lb)
 Swept Area _____ 13.8 m² (149 ft²)
 Blade Materials _____ Carbon Fiber and Fiberglass

Performance

Rated Power _____ 4000 W
 Cut-in Wind Speed _____ 3.5 m/s (7.8 mph)
 Cut-out Wind Speed _____ 30 m/s (67 mph)
 Rated RPM _____ 125 RPM
 Survival Wind Speed _____ 55 m/s (123 mph)
 Rated Wind Speed _____ 12 m/s (27 mph)
 Noise Level at 12 m/s _____ 38 dB

Certifications

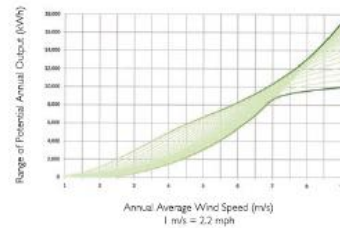
CE Certified _____ European Conformity
 IEC-61400-2 _____ Wind Turbine Safety
 IEC-61400-11 _____ Noise Level Certification
 IEC-61400-12 _____ Power Performance Certification
 ISO-2631 _____ Vibration Level Certification

Electric Generation

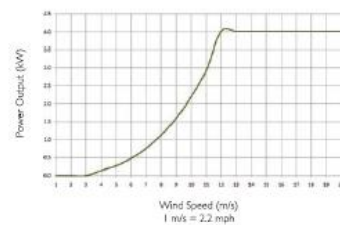
Generator Type _____ Three-Phase Permanent Magnet
 Rated Output
 Off-Grid _____ 48 V DC
 Grid-Tie _____ 530 V DC

Inverters and Controllers available for all locations and regulations

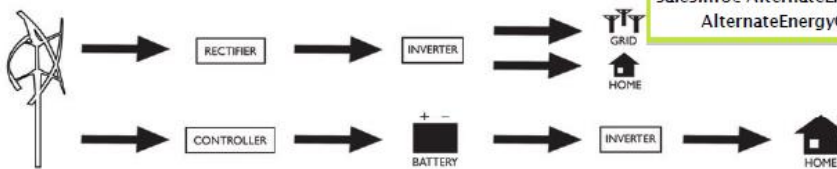
UGE-4K Annual Power Output



UGE-4K Power Curve



Grid-Tie and Battery Backup configuration



Available From:
Alternate Energy Company
 2821 SW. 23rd Ter., Bay #3
 Fort Lauderdale, FL, 33312
 (954) 358 0501
salesinfo@AlternateEnergyCompany.com
AlternateEnergyCompany.com

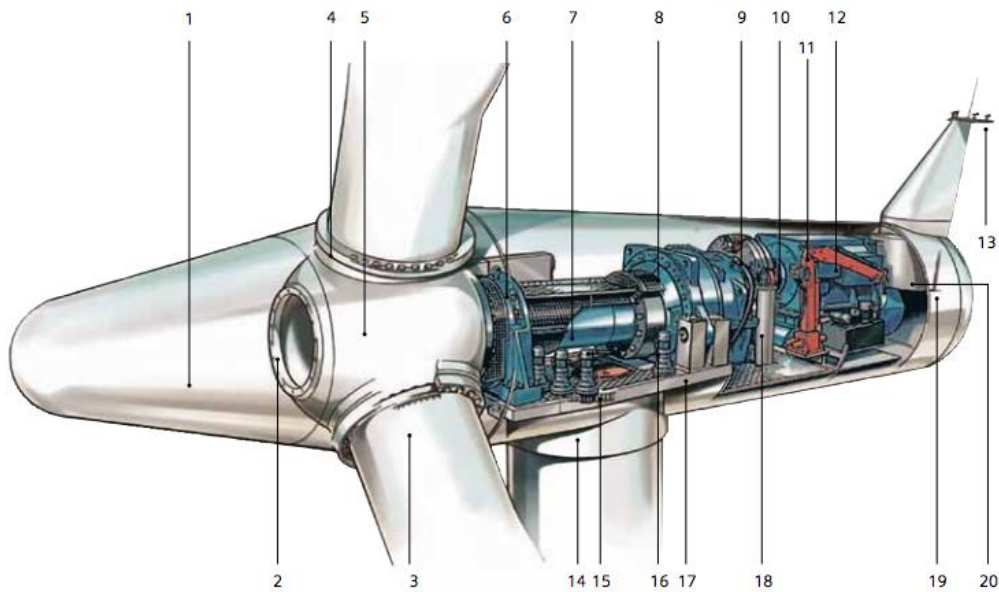


For more information, visit
www.urbangreenenergy.com
info@urbangreenenergy.com

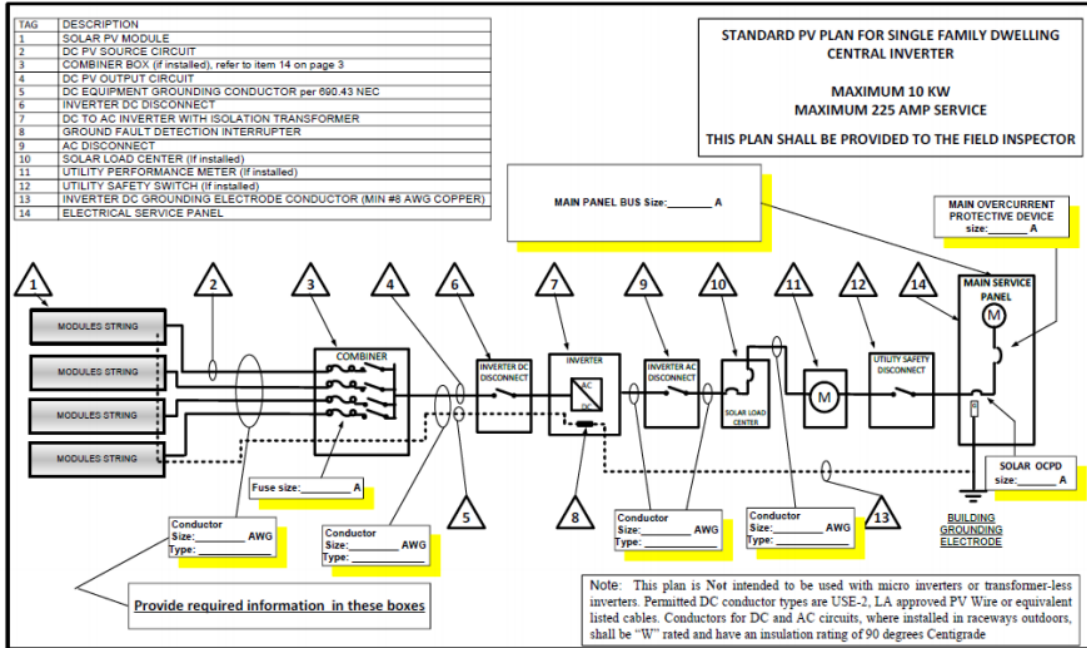
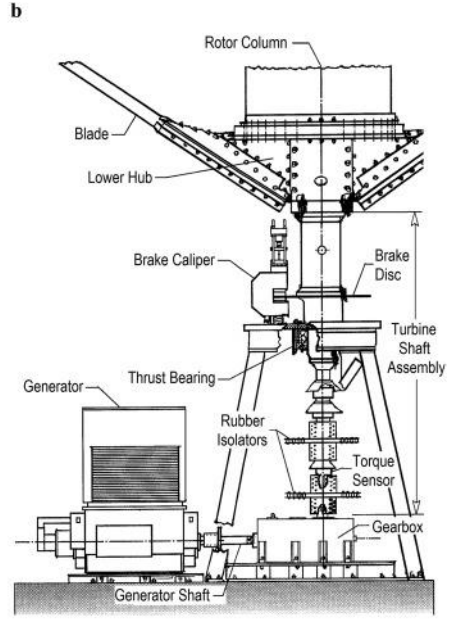
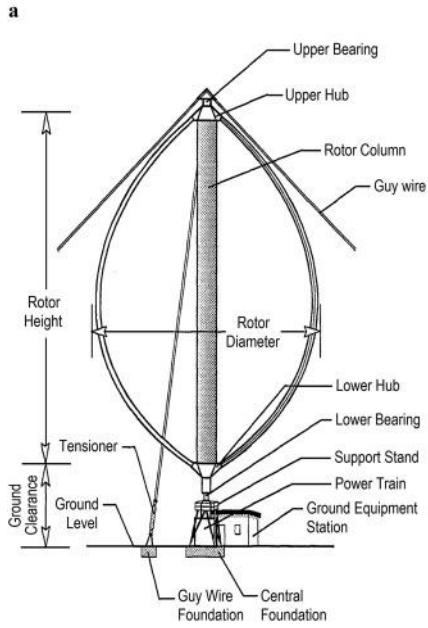




Vedlegg C Komponentliste til risikoanalyse



1. Spinner	11. Generator
2. Rotorblad kulelager	12. Service kran
3. Rotorblad	13. Metrologiske sensorer
4. Vinklinslager	14. Tårn
5. Rotorblad sylinder	15. Vinklins ring
6. Hoved kulelager	16. Vinklins gir
7. Hovedakselen	17. Oppbyggingsplate
8. Girkasse	18. Olje filter
9. Bremseskive	19. Maskinhuset
10. Clutch	20. Generatorvifte



Vedlegg D Grovanalyse vindturbiner
Grovanalyse Vindturbiner (HAWT & VAWT)
Prosjekt: SIKKERHETSANALYSE FOR FORNYBARE ENERGIKILDER OM BORD PÅ SKIP

ID	Uønsket hendelse	Utsatt objekt	Konsekvens	Vurdering av risiko			Risikoreducerende tiltak	Kommentar
				Sann.	Kons.	Risk		
1.1	Lynnedslag	Rotorblad	Girkassefeil Rotorblad løsner Tårnkollaps Kortslutning Brann	2	4	M	Navigering i henhold til vær Opplæring Lynavledere på rotorbladene Lynavleder på generator "casing" Faraday bur rundt elektrisk og hydraulisk utstyr Mekanisk overbelastningsutstyr	Lynnedslag er ikke alltid lett å forutse.
1.2	Lynnedslag	Turbinmast	Kortslutning Brann	1	3	L	Faraday bur rundt elektrisk og hydraulisk utstyr Lynavleder på turbinmast	
1.3	Brems låst fast	Turbinbrems	Overoppheting Antennelse Brann	2	4	M	Vedlikehold Opplæring Inspeksjoner Temperatursensor Vannkjøling på bremseskive	
1.4	Brems virker ikke	Turbinbrems	Tårnkollaps Rotorblad løsner som et resultat av "overspeed" Girkassefeil	1	4	M	Vedlikehold Inspeksjoner Aerodynamisk bremsesystem Rotere blader 90 grader "Emergency rotor tip brakes"	
1.5	Mekanisk feil	Girkasse	Lekkasje av girolje Antennelse Brann Tap av el produksjon	3	3	M	Sensorer Automatisk brannslukking i "casing" Forbedring i girkasse smøremiddel	

Grovanalyse Vindturbiner (HAWT & VAWT)								
Prosjekt: SIKKERHETSANALYSE FOR FORNYBARE ENERGIKILDER OM BORD PÅ SKIP								
ID	Uønsket hendelse	Utsatt objekt	Konsekvens	Vurdering av risiko			Risikoreducerende tiltak	Kommentar
				Sann.	Kons.	Risk		
1.6	Girolje lekkasje	Girkasse	Antennelse Brann	2	2	L	Oljeoppsamler under casing Brann-detektor	
1.7	Overoppheting	Generator	Brann Tapt strømleveranse	1	3	L	Temperatursensor på generator Brann-detektor i casing Selvslukkende anlegg i casing	
1.8	Aerodynamisk resonans	Vindturbin modul	Kollaps av turbin Rotorblad løsner	1	5	M	Vibrasjonssensor langs hele navet Analyse av materialet valgt fra leverandør Vedlikehold ISO 2631 sertifisering Fiberoptisk vibrasjonssensor	
1.9	Sterk vind	Rotorblad	Uønsket vibrasjon "Overspeed" Rotorblad løsner	2	2	L	Mulig gjøring for at turbin kan hydraulisk legges ned ved sterk vind Vindmølle har "cut out speed" på 30m/s Design for å tåle vind opp til 55m/s	
2.0	Sterk vind	Vindturbin modul	Feil på primære og sekundære bremsere kan resultere i tårnkollaps Overoppheting av generator	2	2	L	Mulig gjøring for at turbin kan hydraulisk legges ned ved sterk vind	
2.1	Ising	Rotorblad	Redusert effekt Ustabil rotasjonsmoment Vibrasjoner Is blir slengt av bladene	4	4	H	Sikre en sikker jobbsone (radius) rundt turbinene Inspeksjoner Varmetråder i rotorblader Sensorer som registrerer redusert rotasjon av turbin (redusert luftstrøm pga turbulens på bladene)	

Grovanalyse Vindturbiner (HAWT & VAWT)								
Prosjekt: SIKKERHETSANALYSE FOR FORNYBARE ENERGIKILDER OM BORD PÅ SKIP								
ID	Uønsket hendelse	Utsatt objekt	Konsekvens	Vurdering av risiko			Risikoreducerende tiltak	Kommentar
				Sann.	Kons.	Risk		
2.2	Ising	Vindturbin modul	Isdannelse kan gi for stor vekt på turbinstruktur, tårnkollaps Is faller av modul	1	3	L	Varmekabler i modul Sikker jobbsone rundt turbin	
2.3	Underkjølt regn	Rotorblad	Ising (se punkt # for videre konsekvenser)	3	4	H	Se punkt 2.1	
2.4	Underkjølt regn	Vindturbinmodul	Ising (se punkt # for videre konsekvenser)	3	4	H	Se punkt 2.1	
2.5	Bølger	Vindturbin	Skade på turbin Kollaps Tapt strømleveranse	4	2	M	Hydraulisk nedfelling av vindturbin. "Cut-off" ved signifikant bølgehøyde over anbefalt nivå	Videre analyser bør gjøres for å få en helhetlig vurdering for hvilke bølgehøyder som kan utgjøre en trussel
2.6	Bølger	Rotorblader	Skade på blader Blad løsner Tapt strømleveranse	4	2	M	Hydraulisk nedfelling av vindturbin. "Cut-off" ved signifikant bølgehøyde over anbefalt nivå	
2.7	Korrosjon	Vindturbin	Svekkelse i konstruksjon Tårnkollaps	2	3	M	Korrosjonsreducerende middel fra fabrikant Vedlikehold Inspeksjon	Vindturbiner som operer ved sjøvann er mer utsatt for korrosjon en landbaserte vindmøller
2.8	Container kollisjon	Vindturbin modul	Svekkelse i konstruksjon Tårnkollaps Container faller	2	3	M	Barrierer rundt vindturbin, dimensjonert til å tåle kraft fra container i bevegelse	Ingen eksisterende barriere for denne type uønsket hendelse ettersom operasjoner med containere ikke er gjennomført i nærheten av vindturbiner før

Grovanalyse Vindturbiner (HAWT & VAWT)								
Prosjekt: SIKKERHETSANALYSE FOR FORNYBARE ENERGIKILDER OM BORD PÅ SKIP								
ID	Uønsket hendelse	Utsatt objekt	Konsekvens	Vurdering av risiko			Risikoreducerende tiltak	Kommentar
				Sann.	Kons.	Risk		
2.9	Container kollisjon	Rotorblad	Skade på blad Sentrifugal balanse i blad blir påvirket Blad løsner	2	3	M	Barrierer rundt vindturbin, dimensjonert til å tåle kraft fra container i bevegelse	
3.0	Brudd på kabler	Generator	Elektrosjokk Skade på mennesker Tap av menneskeliv	2	2	L	Høy spenning fareskilt Vedlikehold Inspeksjon Ekstra isolering	
3.1	Vindturbin plassert for nære hverandre	Vindturbin	Turbulent luftstrøm som påvirker hverandre Ustabilitet Vibrasjoner	1	2	L	Utvidet risikoanalyse for turbulent luftstrøm generert av vindturbiner	
3.2	Støy generasjon fra vindmølle	Mennesker	Reduserer menneskelig kommunikasjon Personskade	1	2	L	Hørselsvern Intercom	Reduserer menneskelig kommunikasjon Personskade
3.3	Flimmer effekt	Mennesker	Epilepsi	1	2	L	Plassering av vindturbin bør være vekk fra arbeidere, slik at sollys ikke blir prosjektert på arbeidere med epilepsi. Medisinsk vurdering av personell for eventuelle helseproblemer	En turbin som roterer 10-20 rpm vil generere en frekvens for sollys som slipper inn i øyet på 0.5-1.0 Hz (Strobelight)
3.4	Arbeid i høyden	Mennesker	Skade på menneske Tap av menneskeliv Fall fra turbin	3	2	M	Sikkerhetsutstyr ved gjennomføring av vedlikehold på turbin. Karabinkrok tilkoblingspunkter på turbinkonstruksjon Opplæring	SJA analyse bør gjennomføres videre. Skade på menneske Tap av menneskeliv Fall fra turbin

Grovanalyse Vindturbiner (HAWT & VAWT)								
Prosjekt: SIKKERHETSANALYSE FOR FORNYBARE ENERGIKILDER OM BORD PÅ SKIP								
ID	Uønsket hendelse	Utsatt objekt	Konsekvens	Vurdering av risiko			Risikoreducerende tiltak	Kommentar
				Sann.	Kons.	Risk		
3.5	"Overspeed"	Vindturbin	Rotorblad løsner Overoppheting av bremsesystem Overoppheting generator Skade på girkasse Giroljelekkasje	3	5	H	To uavhengige bremsesystemer (fail-safe) bør være installert Hastighetssensor Automatisk stop system ved rotasjonshastighet over dimensjonert nivå (Overspeed Protection System)	

Vedlegg E Grovanalyse solceller
Grovanalyse solceller
Prosjekt: SIKKERHETSANALYSE FOR FORNYBARE ENERGIKILDER OM BORD PÅ SKIP

ID	Uønsket hendelses	Utsatt objekt	Konsekvens	Vurdering av risiko			Risikoreducerende tiltak	Kommentar
				S	K	R		
1.1	Celle kortslutning	Solcellemodul	Brann i solcellepanel Delvis tap av strømforsyning Materielle skader Elektrosjokkskade ved slukking Strømbrudd/tap av vitale skipsfunksjoner	2	3	M	Utvidet opplæring om potensiell fare for elektrosjokk ved brannslukking av solcellepaneler Pulverapparat Opplæring Unngå slukking med vann	
1.2	Celle åpen krets	Solcellemodul	Brann i solcellepanel Delvis tap av strømforsyning Personskade Materielle skader Elektrosjokkskade ved slukking Strømbrudd/tap av vitale skipsfunksjoner	1	3	M	Feilsøking ved montering Vedlikehold Prosedyrer Utvidet opplæring om potensiell fare for elektrosjokk ved brannslukking av solcellepaneler Unngå slukking med vann	
1.3	Knust modulglass	Solcellemodul	Materielle skader Kuttskader Åpen celle Kortslutning Nedstenging av modul for vedlikehold resulterer i tapt energigenerasjon	2	2	L	Unngå at personer omgås modulene Bølgesprøytsvern	
1.4	Vind	Solcellemodul	Tap av solcellepanel Mulig kortslutning i sammenkoblingsboks Brann Materielle skader	1	2	L		Ettersom modulene er montert horisontalt på dekk vil vindfanget i modulene være relativt lav og sannsynligheten for tap av modul blir vurdert som lav

Grovanalyse solceller								
Prosjekt: SIKKERHETSANALYSE FOR FORNYBARE ENERGIKILDER OM BORD PÅ SKIP								
ID	Uønsket hendelse	Utsatt objekt	Konsekvens	Vurdering av risiko			Risikoreducerende tiltak	Kommentar
				S	K	R		
1.5	Delaminering	Solcellemodul	Vann kan lekke inn i modul Kortslutning Tap av modul	2	2	L	Vedlikehold	
1.6	"Hot Spot"	Solcellemodul	Påvirket lokasjon vil gå fra å være en energigenerator til en elektrisk belastning (motstand)	4	1	L	Unngå at panel blir montert der utstyr kan delvis skyggelegge modul	Hot Spot skader skjer når deler av panelet er i skygge. Høy sannsynlighet er gitt ettersom det er montert på et skip i bevegelse med mye apparater rundt.
1.7	Korrosjon	Solcellemodul	Tap av modul Skade på modul Kortslutning Fester kan desintegreres	2	3	M	Galvanisering av metalloverflater på modul Bruk av høykvalitets metall i festningspunkt Behandling med anti rust lakk	
1.8	Bølge over baug	Solcellemodul	Kan rive med seg modul Salt på modul Korrosjon Skade på menneske	3	4	H	Galvanisering av metalloverflater på modul Bruk av høykvalitets metall i festningspunkt Behandling med anti rust lakk	Vanskelig å unngå, avhenger av design på farkost
1.9	Overbelastning	Solcellemodul	Brann Midlertidig tap av panelstrøm Kortslutning	2	2	L	Overbelastningsvern	
2.0	Kortslutning	Sammenkoblings boks	Brann Elektrosjokk	2	4	M	Arc Fault Quick Disconnect installert i boks	DC volt av samlede panel er høy (Høyspenning)
2.1	Underdimensjonering av "bus"	Sammenkoblings boks	Brann Elektrosjokk	1	4	M	Rutiner Prosedyrer Inspeksjon etter installert anlegg	Sjelden feil som gjøres av elektriker, men det er rapportert at denne feilen kan ha alvorlige følger

Grovanalyse solceller								
Prosjekt: SIKKERHETSANALYSE FOR FORNYBARE ENERGIKILDER OM BORD PÅ SKIP								
ID	Uønsket hendelse	Utsatt objekt	Konsekvens	Vurdering av risiko			Risikoreducerende tiltak	Kommentar
				S	K	R		
2.2	Tap av isolasjon	Sammenkoblings boks	Vann inntrenger boksen Kortslutning Varmegenerasjon Brann	2	3	M	Pakninger Vedlikehold Rutiner for at skap er lukket og låst	
2.3	Kondensator slitasje	DC AC omformer	Inverter DC disconnect blir aktivert Tap av all solcelle energiproduksjon	2	1	L	Vedlikehold God kjøling i omformer Regelmessig utbytting av kondensator	Kondensatorer blir raskere slitt når de opererer ved høye temperaturer.
2.4	Over- og under volt	DC AC omformer	Kan føre til skade på omformer-bro og andre komponenter i omformeren Brann	1	3	L	Lynavleder ved omformer Sikringer Automatisk frakoplingsbryter	
2.5	Overspenning	DC AC omformer	Kan føre til skade på omformer-bro og andre komponenter i omformeren Brann	1	3	L	Lynavleder ved omformer Sikringer Automatisk frakoplingsbryter	
2.6	Ultrasoniske vibrasjoner	DC AC omformer	Varmeproduksjon Brann Skade på komponenter i omformer	1	3	L	Vedlikehold Rengjøring av poler 1 gang hver 6 mnd.	
2.7	Jordingsfeil	Jordfeilbryter i DC AC omformer	Over volt Skade på omformer-bro Brann	1	4	M	Prosedyrer Oppfølging Vedlikehold Inspeksjon	
2.8	Ikke fungerende	DC lastskillebryter	Solcellemodul fortsetter å levere strøm til omformer. Elektrosjokkfare under vedlikehold Elektrosjokkfare under brannslukking	1	3	L	Inspeksjon Vedlikehold Kvalitetssikring	

Grovanalyse solceller								
Prosjekt: SIKKERHETSANALYSE FOR FORNYBARE ENERGIKILDER OM BORD PÅ SKIP								
ID	Uønsket hendelses	Utsatt objekt	Konsekvens	Vurdering av risiko			Risikoreduserende tiltak	Kommentar
				S	K	R		
2.9	Vibrasjon	Solcellemodul	Knust glass Celler i laminering kan bli ødelagt	3	2	M	Monter solcellepanel på vibrasjonsdempende o-ringer når de festes til dekk	Mye vibrasjoner på et skip som et resultat av sjø og vind.

Vedlegg F Grovanalyse vingeseil
Grovanalyse vingeseil
Prosjekt: SIKKERHETSANALYSE FOR FORNYBARE ENERGIKILDER OM BORD PÅ SKIP

ID	Uønsket hendelses	Utsatt objekt	Konsekvens	Vurdering av risiko			Risikoreducerende tiltak	Kommentar
				S	K	R		
1.1	Vind	Mast	Stresskader på CFRP materialet Mast kan knekke Personskade Tap av hele seilmodul	2	3	M	Dimensjonere mast til å tåle høye vindhastigheter Nedfelling av seilmodul ved høye vindhastigheter	
1.2	Vind	Seil	Stress på CFRP duk CFRP seilduken kan rakne Tapt fremdrift fra seilmodul	3	3	M	Nedfelling av seilmodul ved høye vindhastigheter	
1.3	Lynnedslag	Mast	Sprekk i CFRP materialet Svekket styrke i mast Mast kan knekke	2	2	L	Navigere rundt dårlig vær Lynavleder på topp av mast EMF (expanded metal foil) i CFRP blanding	
1.4	Lynnedslag	Seil	Revner CFRP materialet Elektromagnetisk skade på seil	1	2	L	Navigere rundt dårlig vær Lynavleder på topp av mast EMF (expanded metal foil) i CFRP blanding	
1.5	Underkjølt regn	Mast	Økt vekt på mast pga ising	2	1	L	Varmeelementer i mastkonstruksjon	
1.6	Underkjølt regn	Seil	Redusert aerodynamisk effektivitet som resultat av isdannelse på "airfoil"	2	2	L	Varmeelementer i "airfoil"	
1.7	Ising	Mast	Se punkt 1.5	2	1	L	Se punkt 1.5	
1.8	Ising	Seil	Se punkt 1.6	2	2	L	Se punkt 1.6	
1.9	Konstruksjons-svikt	Ankringspunkt for mast ned i dekk	Mast har ingen motstand i ankringspunkt i forhold til vindkrefter Hele seilmodulen velter Skade på mennesker Skade på utstyr Tapt fremdriftskraft	2	5	H	Kvalitetskontroller Inspeksjoner Vedlikehold Overdimensjonering	Ved store vindhastigheter vil denne uønskede hendelsen resultere i at seilmodul vil treffe dekk på skipet med en enorm kraft.

Grovanalyse vingeseil								
Prosjekt: SIKKERHETSANALYSE FOR FORNYBARE ENERGIKILDER OM BORD PÅ SKIP								
ID	Uønsket hendelses	Utsatt objekt	Konsekvens	Vurdering av risiko			Risikoreducerende tiltak	Kommentar
				S	K	R		
2.0	Isoleringssvikt	Ankringspunkt for mast ned i dekk	Vannmasser kan trenge inn i skrog Vann som trenger inn kan påvirke styringssystemene for seilmodul Tap av vinkelkontroll på seilmodul	2	3	M	Bytting av pakning hver 6 mnd. Inspeksjon Vedlikehold	
2.1	Svikt	Girkasse	Seil kan bli låst i en posisjon Redusert fremdriftskraft fra seil Giroljelekkasje Overoppheting Brann	3	4	H	Temperatursensor i girkasse Vedlikehold Inspeksjoner Regelmessig smøring av gir komponenter	
2.2	Sprekkdanning	Kulelager	Seil kan bli låst i en posisjon Overbelastning på elmotor Overoppheting av elmotor Brann	2	3	M	Vedlikehold Smøring	
2.3	Overbelastning	Elmotor	Overoppheting av elmotor Brann Elmotor stopper	2	3	M	Varmedetektor i elmotor Overbelastningsvern Brannhemmende casing	
2.4	Overoppheting	Elmotor	Brann Elmotor stopper	2	3	M	Varmedetektor i elmotor Brannhemmende casing	
2.5	Kortslutning	Elmotor	Brann Elmotor stopper Skade på andre komponenter i seilets styringssystemer	1	3	L	Inspeksjon Vedlikehold	
2.6	Lekkasje	Batteripakke	Lekkasje av etsende væske Lekkasje av brennbar væske Overoppheting Brann	3	4	H	Oppsamlingskar under batteripakke Dimensjonert ventilasjon Sprinkleranlegg	

Grovanalyse vingeseil								
Prosjekt: SIKKERHETSANALYSE FOR FORNYBARE ENERGIKILDER OM BORD PÅ SKIP								
ID	Uønsket hendelses	Utsatt objekt	Konsekvens	Vurdering av risiko			Risikoreducerende tiltak	Kommentar
				S	K	R		
2.7	Feil i kjølingsmodul	Batteripakke	Hvis elmotor krever store mengder strøm vil batteripakken generere mye varme Overoppheting Brann Kortslutning	2	4	M	Vannkjølt batteripakke Vedlikehold Inspeksjoner	
2.8	Overbelastning	Generator	Varmeproduksjon Røykproduksjon Brann Tapt kraftleveranse til seilets styrings motor	3	4	H	Temperatursensor Overbelastningsvern Backup generator	
2.9	Brudd, vindmåler	Styringssystem	Feil vinkel på seil i forhold til vindretning For høye stressnivå på seilmodul Seilmodul knekker	1	4	M	Inspeksjon Vedlikehold Varmetråder i vindmåler	Lite sannsynlighet for at vindmåler blir skadet, men den uønskede hendelsen har en høy konsekvens og er derfor vurdert som viktig nok til å ta med i analysen.
3.0	Datafeil	Styringssystem	Mistolkning av vinddata Feil vinkel på seil i forhold til vindretning For høye stressnivå på seilmodul Seilmodul knekker	1	4	M	Backupsystem Cybersecurity	



Vedlegg G Solradiasjon Ålesund



Incident global irradiation for the chosen location

Location: 62°29'34" North, 5°47'34" East, Elevation: 0 m a.s.l.,

Optimal inclination angle is: 41 degrees

Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.0 %

Month	Hh	Hopt	lopt
Jan	163	444	79
Feb	619	1290	72
Mar	1590	2440	58
Apr	3160	3930	43
May	4440	4890	29
Jun	5080	5050	20
Jul	4430	4510	23
Aug	3280	3680	35
Sep	1930	2620	51
Oct	788	1340	65
Nov	237	554	76
Dec	86.2	285	82
Year	2160	2580	41

Hh: Irradiation on horizontal plane (Wh/m2/day)

Hopt: Irradiation on optimally inclined plane (Wh/m2/day)

lopt: Optimal inclination (deg.)

PVGIS (c) European Communities, 2001-2012

Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged.

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Disclaimer:

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. However the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

This information is:

- of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity;
- not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date;
- not professional or legal advice (if you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional).

Some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.



Incident global irradiation for the chosen location

Location: 61°35'16" North, 4°33'54" East, Elevation: 0 m a.s.l.,

Optimal inclination angle is: 39 degrees

Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.0 %

Month	Hh	Hopt	lopt
Jan	180	419	77
Feb	644	1200	69
Mar	1620	2360	56
Apr	3130	3820	42
May	4300	4540	28
Jun	5040	5050	22
Jul	4400	4480	22
Aug	3260	3610	33
Sep	1940	2560	50
Oct	811	1290	63
Nov	267	551	74
Dec	106	285	80
Year	2150	2520	39

Hh: Irradiation on horizontal plane (Wh/m2/day)

Hopt: Irradiation on optimally inclined plane (Wh/m2/day)

lopt: Optimal inclination (deg.)

PVGIS (c) European Communities, 2001-2012

Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged.

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Disclaimer:

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. However the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

This information is:

- of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity;
- not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date;
- not professional or legal advice (if you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional).

Some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.



Incident global irradiation for the chosen location

Location: 60°6'49" North, 4°53'18" East, Elevation: 0 m a.s.l.,

Optimal inclination angle is: 38 degrees

Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.0 %

Month	Hh	Hopt	Iopt
Jan	230	454	73
Feb	728	1240	87
Mar	1740	2420	54
Apr	3220	3840	40
May	4370	4580	27
Jun	5180	5170	21
Jul	4500	4570	21
Aug	3300	3600	31
Sep	2080	2630	47
Oct	895	1350	80
Nov	328	599	70
Dec	144	303	76
Year	2230	2570	38

Hh: Irradiation on horizontal plane (Wh/m2/day)

Hopt: Irradiation on optimally inclined plane (Wh/m2/day)

Iopt: Optimal inclination (deg.)

PVGIS (c) European Communities, 2001-2012
Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged.
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Disclaimer:

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. However the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

This information is:

- of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity;
- not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date;
- not professional or legal advice (if you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional).

Some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.



Incident global irradiation for the chosen location

Location: 58°56'45" North, 5°8'58" East, Elevation: 0 m a.s.l.,

Optimal inclination angle is: 42 degrees

Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.0 %

Month	Hh	Hopt	Iopt
Jan	411	1070	77
Feb	907	1750	89
Mar	2190	3320	57
Apr	3820	4800	43
May	5290	5680	29
Jun	5760	5760	21
Jul	4920	5020	24
Aug	3950	4560	37
Sep	2310	3080	49
Oct	1150	1830	61
Nov	446	911	72
Dec	232	621	78
Year	2620	3210	42

Hh: Irradiation on horizontal plane (Wh/m2/day)

Hopt: Irradiation on optimally inclined plane (Wh/m2/day)

Iopt: Optimal inclination (deg.)

PVGIS (c) European Communities, 2001-2012

Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged.

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Disclaimer:

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. However the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

This information is:

- of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity;
- not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date;
- not professional or legal advice (if you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional).

Some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.



Rotterdam



Incident global irradiation for the chosen location

Location: 52°7'28" North, 3°52'41" East, Elevation: 0 m a.s.l.,

Optimal inclination angle is: 38 degrees

Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.0 %

Month	Hh	Hopt	lopt
Jan	693	1290	69
Feb	1250	1940	61
Mar	2750	3730	50
Apr	4800	5440	37
May	5410	5590	23
Jun	5740	5600	18
Jul	5500	5510	19
Aug	4520	5030	32
Sep	3160	4020	45
Oct	1740	2550	57
Nov	765	1240	64
Dec	495	929	70
Year	3060	3580	38

Hh: Irradiation on horizontal plane (Wh/m2/day)

Hopt: Irradiation on optimally inclined plane (Wh/m2/day)

lopt: Optimal inclination (deg.)

PVGIS (c) European Communities, 2001-2012

Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged.

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Disclaimer:

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. However the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

This information is:

- of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity;
- not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date;
- not professional or legal advice (if you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional).

Some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.

Vedlegg H Utregninger – vingeseil (Excel)

Vinkel	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	115
Cx verdier	0,01	0,137	0,368	0,688	1,018	1,317	1,576	1,787	1,944	2,049	1,96	1,81
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0,02	0,3802572	1,0214208	1,91	2,82556	3,65547	4,374	4,96	5,3958	5,6872	5,4402	5,024
2	0,07	1,5210288	4,0856832	7,638	11,3022	14,6219	17,5	19,84	21,583	22,749	21,761	20,1
3	0,15	3,4223148	9,1927872	17,19	25,43	32,8992	39,37	44,64	48,562	51,185	48,962	45,21
4	0,27	6,0841152	16,3427328	30,55	45,209	58,4874	69,99	79,36	86,332	90,995	87,043	80,38
5	0,42	9,50643	25,53552	47,74	70,639	91,3866	109,4	124	134,89	142,18	136	125,6
6	0,6	13,6892592	36,7711488	68,75	101,72	131,597	157,5	178,56	194,25	204,74	195,85	180,9
7	0,82	18,6326028	50,0496192	93,57	138,452	179,118	214,3	243,04	264,39	278,67	266,57	246,2
8	1,07	24,3364608	65,3709312	122,2	180,836	233,95	280	317,44	345,33	363,98	348,17	321,5
9	1,35	30,8008332	82,7350848	154,7	228,87	296,093	354,3	401,76	437,06	460,66	440,65	406,9
10	1,67	38,02572	102,14208	191	282,556	365,547	437,4	496	539,58	568,72	544,02	502,4
11	2,02	46,0111212	123,5919168	231,1	341,893	442,311	529,3	600,16	652,89	688,15	658,26	607,9
12	2,4	54,7570368	147,0845952	275	406,881	526,387	629,9	714,24	776,99	818,96	783,39	723,4
13	2,81	64,2634668	172,6201152	322,7	477,52	617,774	739,3	838,24	911,88	961,14	919,39	849
14	3,26	74,5304112	200,1984768	374,3	553,81	716,471	857,4	972,16	1057,6	1114,7	1066,3	984,7
15	3,75	85,55787	229,81968	429,7	635,751	822,48	984,2	1116	1214	1279,6	1224	1130

125	135	145	155	Dødvinkel		
1,606	1,535	1,188	1,195	0		
0	0	0	0	0	Areal	600
4,45761	4,260546	3,2974128	3,316842	0	Pvind	1,2
17,8305	17,042184	13,1896512	13,267368	0	Vskip	7,71
40,1185	38,344914	29,6767152	29,851578	0		
71,3218	68,168736	52,7586048	53,069472	0		
111,44	106,51365	82,43532	82,92105	0		
160,474	153,379656	118,706861	119,406312	0	Vindhastighet [m/s]	Gjennomsnittlig effekt
218,423	208,766754	161,573227	162,525258	0	0	0
285,287	272,674944	211,034419	212,277888	0	1	3
361,067	345,104226	267,090437	268,664202	0	2	14
445,761	426,0546	329,74128	331,6842	0	3	31
539,371	515,526066	398,986949	401,337882	0	4	56
641,896	613,518624	474,827443	477,625248	0	5	87
753,337	720,032274	557,262763	560,546298	0	6	125
873,692	835,067016	646,292909	650,101032	0	7	170
1002,96	958,62285	741,91788	746,28945	0	8	211
					9	269
					10	333
					11	405
					12	483
					13	569
					14	661
					15	761
					16	867

Vedlegg I Utregninger – vindturbin (Excel)

UGE 4-K turbine

Areal 13,7

pvind 1,2

Cp 0,22

Ct 0,3 Ψ

Vskip -7,8

		Apparent windspeeds		
		motvind	medvind	sidevind
		0	180	90
		0	180	45
	Windspeed	Vapp	Vapp	Vapp
	0	7,8	7,8	7,8
	1	8,3	7,6	8,1
	2	9,0	7,5	8,5
	3	9,7	7,5	9,1
	4	10,4	7,6	9,7
	5	11,2	7,9	10,3
	6	12,0	8,3	11,0
	7	12,8	8,8	11,8
	8	13,7	9,4	12,6
	9	14,6	10,0	13,4
	10	15,5	10,7	14,2
	11	16,4	11,4	15,1
	12	17,3	12,2	15,9

	180	0	90
Not taking thrust into account motvind	medvind	sidevind	
Effectoutput v motvind	Effectoutput v medvind	Effectoutput v sidevind	
	858,2	858,2	858,2
	1051,0	781,8	968,3
	1304,7	747,8	1128,7
	1628,2	754,5	1346,1
	2030,8	802,3	1627,9
	2522,5	893,5	1982,7
	3113,2	1032,7	2419,7
	3813,3	1225,8	2948,3
	4633,3	1480,1	3578,6
	5583,7	1803,7	4320,6
	6675,1	2205,8	5184,7
	7918,1	2695,7	6181,3
	9323,5	3283,3	7321,0

Effekt når skip ikke er drift not taking thrust into acc
Effekt årlig 30% til lands og 70% til sjøs [kW]

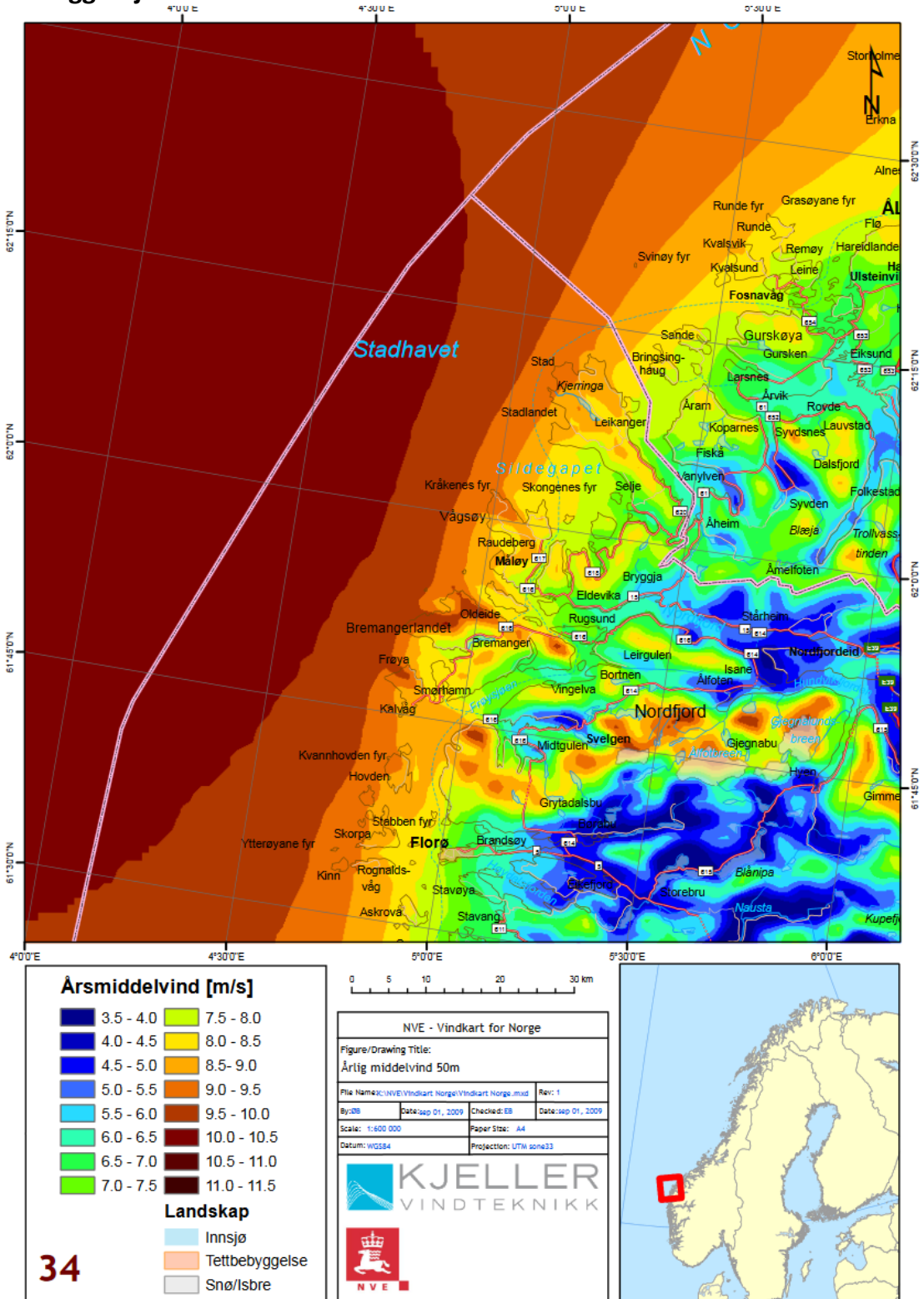
0,0	5262,4
1,8	5783,0
14,5	6645,1
48,8	7908,0
115,7	9638,4
226,1	11909,8
390,6	14801,0
620,3	18394,7
925,9	22777,0
1318,3	28036,5
1808,4	34263,2
2407,0	41548,5
3124,9	49984,7

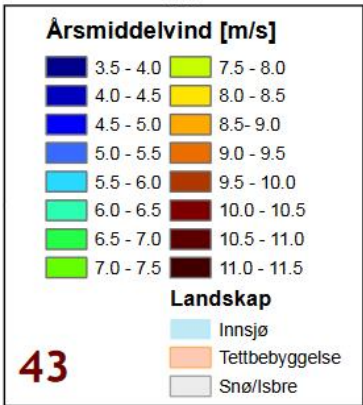
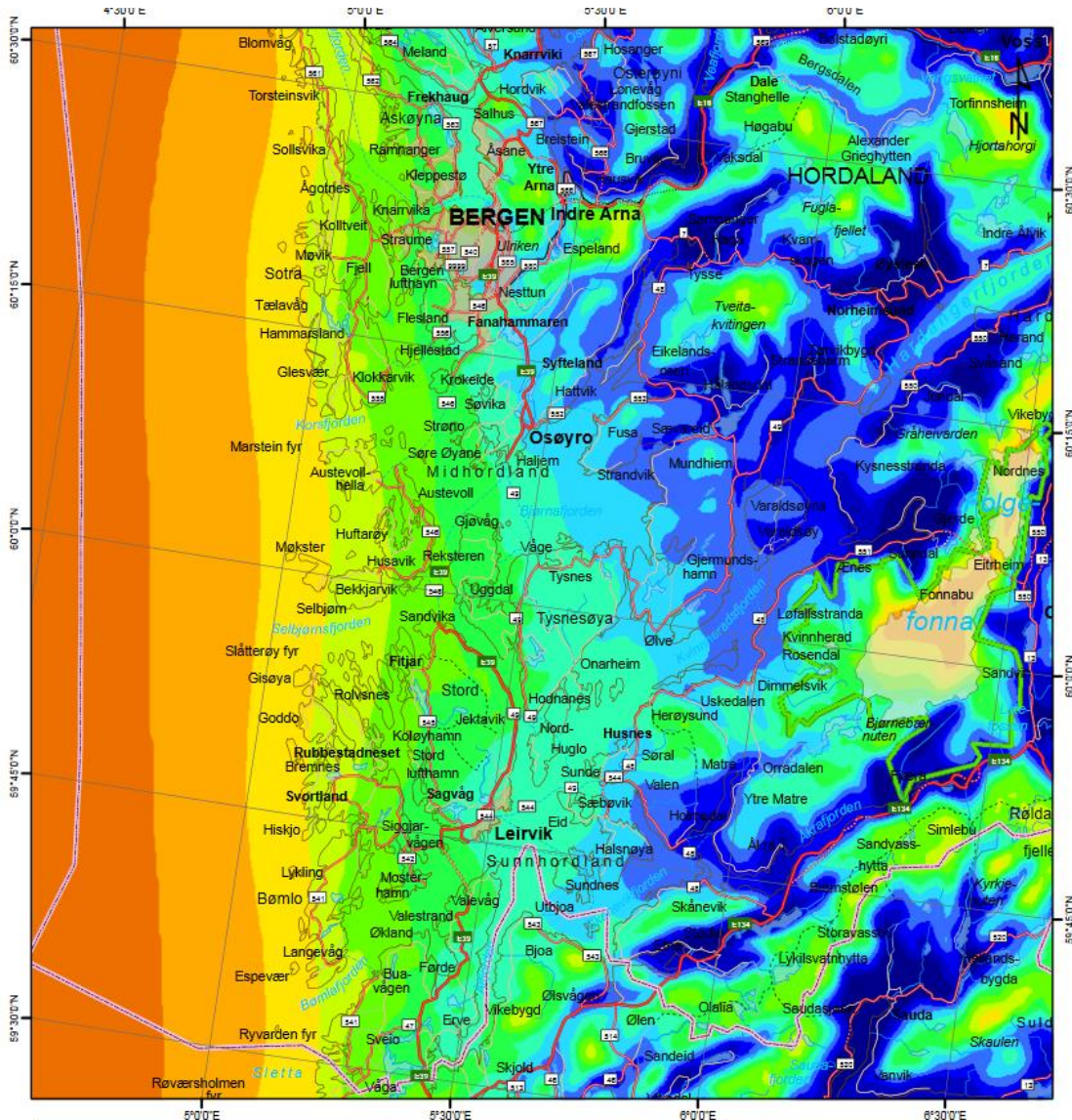
9kDWT årlig effekt	31273200
19kDWT årlig effekt	41697600
25kDWT årlig effekt	43000650

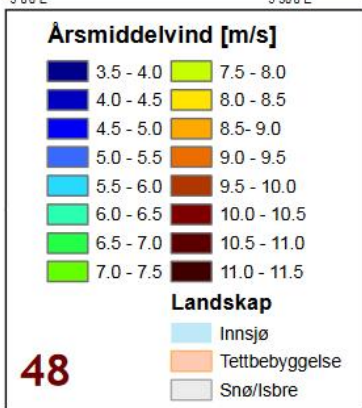
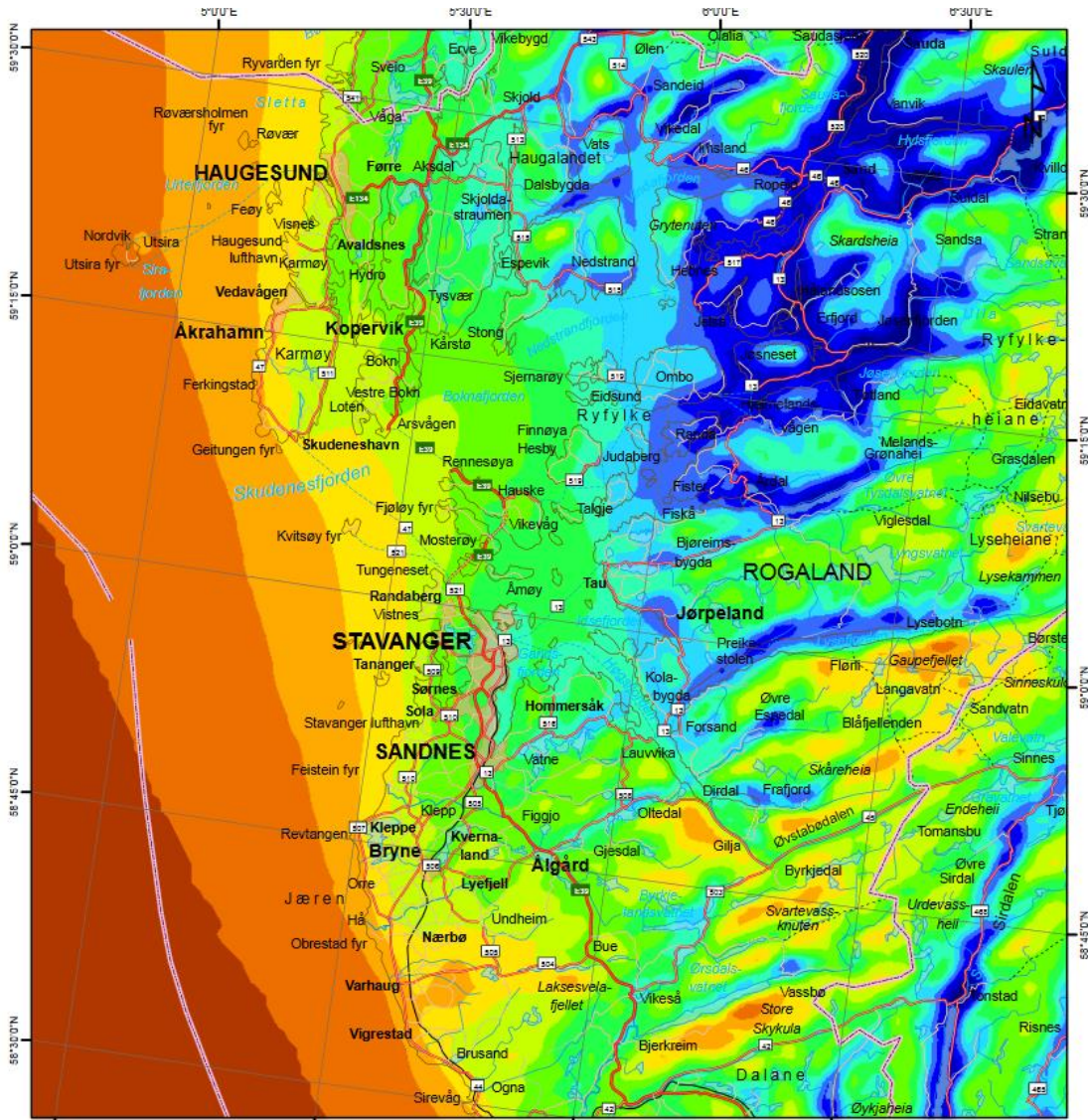
$V_{true}=7,8\text{m/s}$

gjennomsnittlig effektbesparelse pr år	9kDWT	19kDWT	25kDWT
1 turbin	0,070	0,052	0,051
5 turbiner	0,349	0,262	0,254
10 turbiner	0,698	0,524	0,508
15 turbiner	1,047	0,785	0,762

Vedlegg J Kjellers Vinddata







Vedlegg K Skipsspesifikasjoner for caser 9000dwt



DAMEN CONTAINER FEEDER 800 STANDARD

GENERAL

Basic functions

Transport of containers in the hold(s) and on top of the hydraulic folding type hatches

Classification

DNV GL Φ 100 A5 FS Ice class 1A, Containership, Φ MC E3, AUT, equipped for dangerous goods according to SOLAS reg. 19 II-2

DIMENSIONS

Length o.a.	140,64 m
Length b.p.p.	130,00 m
Beam mld.	21,80 m
Main deck (free board deck) at side	9,50 m
Draft design	7,33 m
Deadweight all told at draft design	9.300 t

TONNAGE MEASUREMENT

London-Convention	7.850 GT
-------------------	----------

TANK CAPACITIES

Fuel HFO, incl. day and settling tank(s)	880 m ³
Fuel MGO, incl. day and settling tank(s)	97 m ³
Lubrication oil	48 m ³
Dirty oil	20 m ³
Sludge	21 m ³
Sewage	26 m ³
Potable water	73 m ³
Ballast water	4.597 m ³

Containers	TEU	TEU/FEU	30'	45'
In hold	206	12/97	135	97
Deck/hatches	597	51/289	376	232
Total	803	63/386	511	329

PERFORMANCES (APPROX.)

Speed at 7,30 m (100% M.C.R., 15% sea margin, no P.T.O.)	17,0 kn
--	---------

PROPULSION SYSTEM

- 1 Main engine MAK 6M43C, 6000 kW / 500 r.p.m. (M.C.R.)
- 1 Reduction gearbox with P.T.O.
- 1 Flexible coupling between main engine and gearbox
- 1 Flexible coupling between gearbox and shaft generator
- 1 Controllable pitch propeller, 4900 mm
- 1 Oil lubricated stern tube
- 1 Electrically driven bow thruster, 700 kW, CPP
- 1 Electrically driven stern thruster, 500 kW, CPP
- 1 Rudder, balance type
- 1 Electric/hydraulic steering gear, rotary vane

DECK LAY-OUT

- 2 Electric driven self-tensioning mooring winches, each with one warping head and one rope drum on poop deck
- 2 Electric-hydraulic driven self-tensioning anchor/mooring winches, each with one warping head and one rope drum on the forecastle deck
- 1 Rescue boat/life raft crane
- 1 Freefall lifeboat recovery/provision crane
- 1 Freefall lifeboat
- 1 Rescue boat
- 3 Life rafts
- Container fittings for 20', 30', 40' and 45' containers in holds, 20', 30', 40', 45', 48', 49' containers on deck
- Moveable cell guides in holds for 30', 40' and 45' containers

HOLDS AND HATCH COVERS

Weathertight hatches	Folding type
Hold 1	Dimensions 28,44 m x 18,60/13,20 m
Hold 2	Dimensions 28,44 m x 18,60 m
Hold 3	Dimensions 28,44 m x 18,60 m

AUXILIARY EQUIPMENT

- 1 Shaft generator, output appr. 1,600 kWe/2,000 kVA
- 2 Diesel generator sets, 531 kVA, 425 kWe
- 1 Emergency generator set, 125 kVA, 100 kWe
- 1 Shore supply
- 1 Anti heeling system, 1120 m³/hr
- 1 Bilge water separator acc. Marpol
- 1 CO₂ firefighting system for engine room and cargo hold
- Sprinkler system in hold 1

ACCOMMODATION

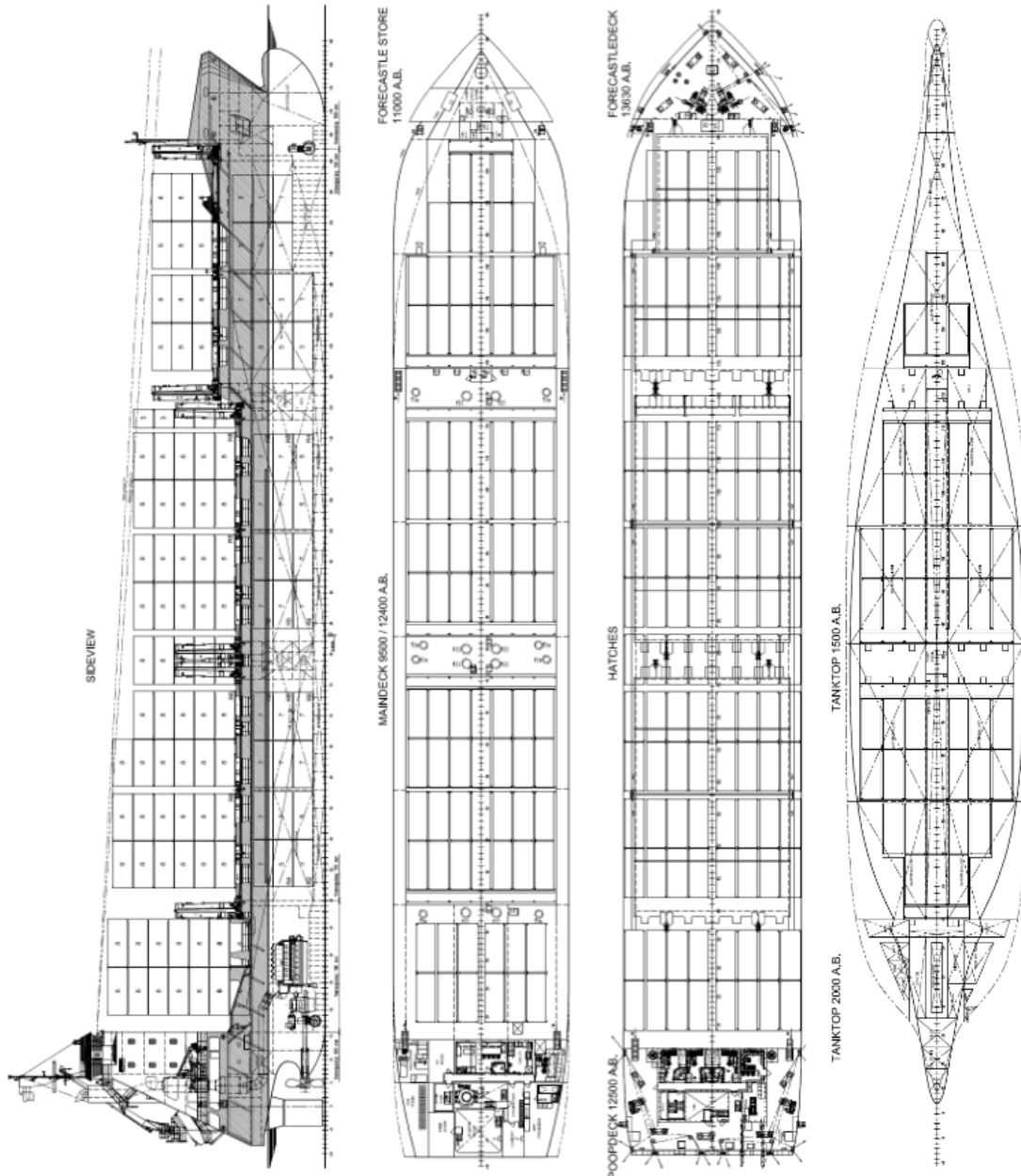
For a crew of 15 persons with heating, ventilation and air-conditioning

NAVIGATIONAL EQUIPMENT

Communication system for GMDSS regulations area A3

OPTIONS

- MGO
- LNG 500 m³
- Tweendecks
- Handling cranes
- Cargo cranes
- Flap rudder



DAMEN CONTAINER FEEDER 800 STANDARD



DAMEN SHIPYARDS GORINCHEM

Member of the DAMEN SHIPYARDS GROUP 

Industrieterrein Avelingen West 20
4202 MS Gorinchem

P.O. Box 1
4200 AA Gorinchem
The Netherlands

phone +31 (0)183 83 99 11
fax +31 (0)183 83 21 89

info@damen.com
www.damen.com

Rev. 7 Juni 2016

Registered at the Chamber of Commerce, no. 23036357, under the name BV Scheepswerf Damen Gorinchem.
All our offers are without engagement unless stated otherwise.
All activities carried out in accordance with the VNSI General Yard Conditions (Netherlands Shipbuilding Industry Association).

19000dwt

GENERAL
Basic functions

Transporting of dry bulk, steel coils, general cargo and containers in cargo holds and on deck

Classification

 Lloyd's Register of Shipping # 100 A1, Container Ship, IWS, Li, ShipRight (SDA, FDA, CM, ACS(B)), BoxMax (V, W), ECO (BWT, IHM, EAL, SEEMP, EEDI1) # LMC, UMS, LFPF (GF), NAV1, Strengthened for heavy cargo 20 t/m² according to loading pattern. Equipped for dangerous cargo according to SOLAS II-2 regulation 19 (excluding VII)

DIMENSIONS

Length o.a.	159,99	m
Length b.p.p.	152,34	m
Beam mid.	23,70	m
Depth to main deck	11,95	m
Draught (design)	8,41	m
M.C.R. Main engine	7.880	kW
Deadweight (design)	19.000	t

CAPACITIES

Hold (box shaped) approx.	27.002	m ³
	953.567	cft
Fuel oil (HFO), approx.	1.080	m ³
Fuel oil (MGO), approx.	195	m ³
Potable water, approx.	130	m ³
Lubrication oil, approx.	20	m ³
Dirty oil, approx.	10	m ³
Sewage approx.	50	m ³
Dirty oil, approx.	10	m ³
Sludge, approx.	20	m ³
Cool water drain, approx.	4	m ³

Containers (20'x8'x8'6")

In hold	530	TEU
On deck	665	TEU
Total	1.185	TEU

PERFORMANCES (APPROX.)

Speed at 7,98 m draught, 90% MCR and 250 kW shaft generator	14,9	kn
---	------	----

HATCHCOVERS

 Hatches of the hydraulic folding type with closed underside
 Dimensions hold (B x H): 20,20 x 12,23 m

ACCOMMODATION

For a crew of 15 persons, with heating, ventilation and air conditioning

PROPULSION

- 1 Diesel engine, MAK 8M 43, output 8.000 kW at 500 rpm
- 1 Controllable pitch propeller
- 1 Reduction gearbox with PTO and shaft generator
- 1 Oil lubricated stern tube

EQUIPMENT

- 1 Electric/hydraulic steering gear, Rotary Vane type
- 1 Rudder, flap type
- 1 Electrically driven bow thruster unit, approx. 900 kW
- 2 Moveable grain bulkheads

DECKMACHINERY AND EQUIPMENT

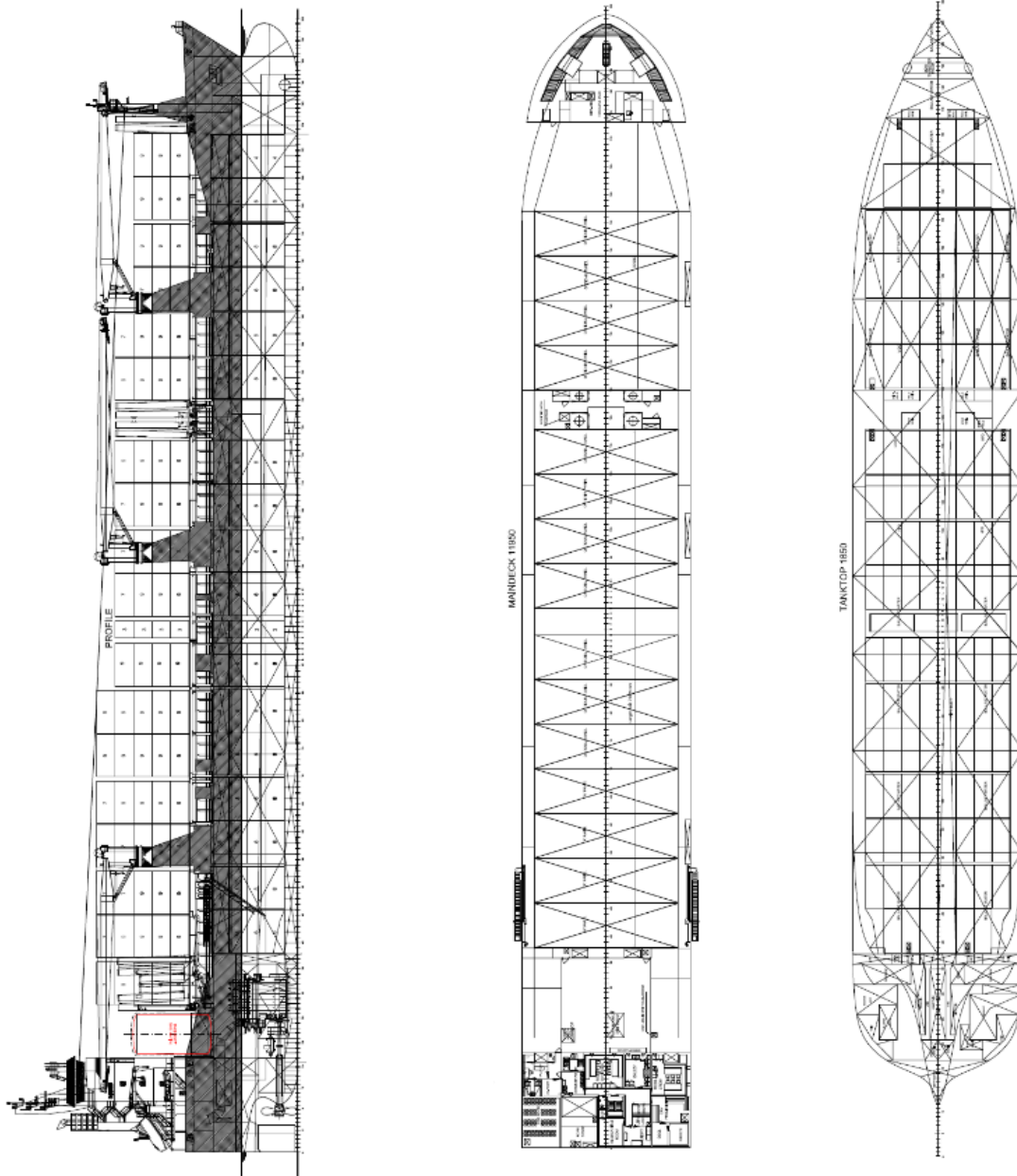
- 2 Electrical-hydraulic anchor/mooring winches with each one warping head and one rope drums on forecastle deck
- 2 Electric-hydraulic driven mooring winches with one rope drum and one warping head on poop deck aft
- 3 Electrical-hydraulic, wire-luffing cargo cranes
- 1 Rescue boat
- 3 Life rafts

AUXILIARY

- 2 Generator sets
- 1 Emergency generator set, 150 kW(e)
- 1 Shore connection, 230V/400V
- 2 Starting air compressors
- 1 Self-cleaning lubrication oil separator
- 1 Bilge water separator acc. Marpol
- 2 Bilge-/ballast pumps, 350 m³/hr
- 1 Emergency firefighting pump
- 1 CO₂ firefighting system for engine room and cargo hold

NAVIGATIONAL EQUIPMENT


- 1 Radio telephone set according to GMDSS for area A3



DAMEN COMBI FREIGHTER 19000 STANDARD

DAMEN

DAMEN SHIPYARDS GORINCHEM

Member of the DAMEN SHIPYARDS GROUP 

Rev. 25 augustus 2016

Industrieterrein Avelingen West 20
4202 MS Gorinchem

P.O. Box 1
4200 AA Gorinchem
The Netherlands

phone +31 (0)183 63 99 11
fax +31 (0)183 63 21 89

info@damen.com
www.damen.com

Registered at the Chamber of Commerce, no. 23036357, under the name BV Scheepswerf Damen Gorinchem.
All our offers are without engagement unless stated otherwise.
All activities carried out in accordance with the VNSI General Yard Conditions (Netherlands Shipbuilding Industry Association).



25000dwt

MV PAC ALTAIR

Description

Single screw, self-sustaining, multi-purpose container vessel, with double skin, box shaped cargo holds and a double tier of flush removable 'tween decks.

The vessel is non-cellular, but fully fitted for the carriage of palletized natural rubber, steel containers, grain or other cargoes in bulk and other unitized general cargoes in bags, bulk, breakbulk etc. The vessel is fitted for unrestricted service and for unmanned machinery spaces.

Principal Particulars

Type : Multi-purpose, triple deck, container/bulk carrier
 Owner : Altair Maritime Limited
 Disp. Owner : Paccship (UK) Ltd.
 Managers : Paccship (UK) Ltd.
 Builders : Kouan Shipyard, China
 Hull No. : WM 25000-1
 Built : Mar-03
 Class : American Bureau of Shipping
 Notation : +A1(E), Container & Bulk Carrier, SH, +AMS, +ACCU
 Official No. : 389860
 IMO No. : 9265902
 Port of Registry : SINGAPORE
 Call Sign : S6DU5
 MMSI No. : 564 864 000
 Inmarsat-C : 456 486 240
 Inmarsat-B : voice – 356 486 440
 : fax – 356 486 450
 : data – 356 486 460
 : telex – 356 486 470
 Deadweight : see table below
 TEU : 1,364 TEU (On deck: 760 + In hold: 604)
 FEU : 649 (On deck: 355 + In hold: 294)

Principal Dimensions

LOA : 178.8m
 LBP : 169.4m
 Beam Moulded : 27.20m
 Depth Moulded : 14.20m
 Summer Draft : 10.427m
 GRT : 20471
 NRT : 10630

Mark	Deadweight	Draft	Displacement	Freeboard
Summer	27,692	10.427m	38,046 mt	3.803m
Tropical	28,604	10.644m	38,958 mt	3.586m
Winter	26,784	10.210m	37,138 mt	4.020m
Tropical (FW)	28,604	10.872m	38,958 mt	3.358m
Summer (FW)	27,692	10.655m	38,046 mt	3.575m
Lightship:	10,354 mt	FWA: 228 mm	TPC at summer draft : 41.95	

Airdraft on summer marks (Even keel) : 36.37 metres



Machinery

Main Engine : Mitsubishi 6UEC50LSII
Engine Power : MCR 8,250kW @ 124 rpm / 11,217 hp
Generators : 3 Daihatsu x 700kw
Bow Thruster : 1,000 kW / 1,340 hp thrust, electrically driven

Cargo cranes

No. 1 : 1 x 40mt SWL @ 26m
No. 2A : 1 x 45 mt SWL @ 22m, 37 mt @ 28m, 30 mt @ 31m
No. 2B : 1 x 45 mt SWL @ 22m, 37 mt @ 28m, 30 mt @ 31m
Cranes 2A & 2B can be Geminied to lift 70mt/85mt @ 28m/22m resp. using a Twin Beam.
No. 3 : 1 x 40mt SWL @ 26m
Using a Team Beam which is warehoused at selective ports, loads of upto 120 mt can be lifted using 3 cranes.

Type : Electro-Hydraulic

Speed & Consumption

15.25 knots on about 30.5 mt IFO 380cSt / day (M/E only) basis design draft, 85% MCR and 15% sea Margin

A/E Consumption:

At sea : About 2.8 mt IFO 380cSt / day (on 1 generator only)
In port : About 3.5 / 2.0 mt IFO 380cSt / day with / without ship's cranes operating

Minor quantities of MDO are consumed when starting / stopping the diesel generators and when manoeuvring in confined waters / canals / rivers and during mooring operations (about 0.30 mt)

Min. bunker quality specification:

IFO 380 : ISO 8217(E) - RMG 35
MDO : ISO 8127(E) - DMC

Endurance : About 46 days

Range : About 16,560 nm