



# Forsuaret

## Bacheloroppgave

OPG3301

### Predefinert informasjon

**Startdato:** 05-12-2022 09:00 CET  
**Sluttdato:** 19-12-2022 08:00 CET  
**Eksamensform:** Oppgave  
**Flowkode:** 1627 OPG3301 1 O 2022 HØST SKSK

**Termin:** 2022 HØST  
**Vurderingsform:** Norsk 6-trinns skala (A-F)

### Deltaker

<b>Navn:</b>	Johnny Jettapon Larsen
<b>Kandidatnr.:</b>	
<b>FHS-id:</b>	jlarsen@mil.no, johnnlarsen@mil.no

### Gruppe

**Gruppenavn:** Larsen og Soleim  
**Gruppenummer:** 7  
**Andre medlemmer i gruppen:** Theis Olsen Soleim



**Sjøkrigsskolen**

**Bacheloroppgave**

# Preventive og korrigerende tiltak

## Groe på Nansen-klasse fregatt

av

Johnny Jettapon Larsen

&

Theis Olsen Soleim

Levert som en del av kravet til graden:

**BACHELOR I MILITÆRE STUDIER MED FORDYPNING I LEDELSE OG  
MASKINFAG**

Antall ord: 10600

Innlevert: Desember 2022

**Godkjent for offentlig publisering**

**I. Avtale****Publiseringsavtale****En avtale om elektronisk publisering av bachelor/prosjektoppgave**

Kadettenene har opphavsrett til oppgaven, inkludert rettighetene til å publisere den.

Alle oppgaver som oppfyller kravene til publisering vil bli registrert og publisert i Bibsys Brage når kadettenene har godkjent publisering.

Opgaver som er graderte eller begrenset av en inngått avtale vil ikke bli publisert.

Vi gir herved Sjøkrigsskolen rett til å gjøre denne oppgaven tilgjengelig elektronisk, gratis og uten kostnader	<input checked="" type="checkbox"/>  Ja	  Nei
Finnes det en avtale om forsinket eller kun intern publisering? (Utfyllende opplysninger må fylles ut)  Hvis ja: kan oppgaven publiseres elektronisk når embargoperioden utløper?	  Ja  <input checked="" type="checkbox"/>  Ja	<input checked="" type="checkbox"/>  Nei    Nei

**Plagiaterklæring**

Vi erklærer herved at oppgaven er mitt eget arbeid og med bruk av riktig kildehenvisning.

Vi har ikke nyttet annen hjelp enn det som er beskrevet i oppgaven.

Vi er klar over at brudd på dette vil føre til avvisning av oppgaven.

**Dato: 18.12.2022**



Johnny J. Larsen



Theis O. Soleim

## **II. Forord**

Denne bacheloroppgaven er skrevet som vår avsluttende oppgave innen utdanningen bachelor i militær ledelse med fordypning i maskinfag på Sjøkrigsskolen. Vi har valgt denne oppgaven på eget initiativ etter at fagene på sjøkrigsskolen gav oss en forståelse av hvilke utfordringer og konsekvenser groe kan medføre og hvilke innsparinger og operasjonelle fordeler redusert groe kan medføre. Oppgaven har gitt oss muligheten til å fordype oss i motstandsberging og i tillegg tilegne oss ny kunnskap om groe og bunnstoff. Arbeidet startet september 2022 og avsluttet desember 2022.

Denne oppgaven hadde ikke blitt til uten hjelp og vi vil derfor takke:

Faglærer Gisle Strand for generell bistand

Faglærer Geir Kilhus for å ha introdusert oss for konsekvensene av groe

Odfjell for innblikk i det sivile

Kommandørkaptein Åge Vetaas for å henvise oss til relevante andre.

Og en spesiell takk til vår veileder Geir Asle Nedal.

### III. Sammendrag og konklusjon

Groe byr på utfordringer og uheldige konsekvenser for drift av Sjøforsvarets fartøyer. Kontroll av groe på en god måte kan gi operasjonelle fordeler og reduserte utgifter.

I denne oppgaven har vi tatt for oss hvordan groe vil påvirke et fregattskrog med hensyn på endringen i motstand. Vi har lagt vekt på de økonomiske, operasjonelle og miljømessige aspektene som kommer som følge av mangel på vedlikehold av skroget.

Ettersom hverken groe- eller bunnstoffteori ikke undervises på sjøkrigsskolen har vi satt oss inn i dette på eget initiativ og presenterer funnene våre i denne oppgaven. Det blir også presentert ulike løsninger for rengjøring av skroget når det ligger til kai.

Beregningene vi har gjennomført i oppgaven er gjort på et fregattskrog i slepetanken på Sjøkrigsskolen og følger ITTC 7.5-02-02-03 for beregning av motstandkoeffisienter. Vi kommer fram til at det er en mulig å redusere CO<sub>2</sub> utslippene til en fregatt som går i 15 knop med over 4 tonn per døgn som følge av groe.

Dagens vedlikeholdsrutiner på fregattskrog i Sjøforsvaret gjennomføres hvert 2.5 år når skipet ligger i tørrdokken. Dette er tilstrekkelig med tid for at groe skal etablere seg som tungt slim. Vi konkluderer med at det er meget gunstig å bytte bunnstoff til et uten giftstoffer og i tillegg innføre rutiner for jevnlig vask med vaskeroboten ECOsubsea når skipet ligger til kai.

Forbedret kontroll av groe på et fregattskrog vil kunne gi Sjøforsvaret betydelige årlige besparelser og/eller redusere fartøyenes klimafotspor samtidig som en øker operativ rekkevidde og operativ tid ute i sjøen. Basert på dette arbeidet mener vi at det også er et vesentlig potensial for innsparinger/operasjonelle forbedringer mtp å redusere groe på andre fartøy i Sjøforsvarets flåte og derfor bør følges nøye opp videre.

## Innholdsfortegnelse

<b>I.</b>	<b>Avtale</b> .....	ii
<b>II.</b>	<b>Forord</b> .....	iii
<b>III.</b>	<b>Sammendrag og konklusjon</b> .....	iv
<b>IV.</b>	<b>Figurer, tabeller og diagrammer</b> .....	7
<b>V.</b>	<b>Nomenklatur</b> .....	8
<b>1.</b>	<b>Innledning</b> .....	9
<b>1.1.</b>	<b>Bakgrunn</b> .....	9
<b>1.2.</b>	<b>Oppgaveformulering</b> .....	9
<b>1.3.</b>	<b>Avgrensinger</b> .....	10
<b>1.4.</b>	<b>Metode</b> .....	10
<b>1.5.</b>	<b>Struktur</b> .....	11
<b>2.</b>	<b>Analyse og teori</b> .....	12
<b>2.1.</b>	<b>Slepeeffekt med hensyn på begroing</b> .....	12
2.1.1.	Miljø og økonomiske konsekvenser .....	18
2.1.2.	Sammendrag av analyse.....	19
<b>2.2.</b>	<b>Groe</b> .....	19
2.2.1.	Konsekvenser av groe .....	20
2.2.2.	Sammendrag av groe.....	21
<b>2.3.</b>	<b>Preventive og korrigerende tiltak - Bekjempelse av groe</b> .....	22
<b>2.4.</b>	<b>Preventive tiltak - Bunnstoff</b> .....	22
<b>2.5.</b>	<b>Bunnstoffer kategori I - Anti fouling bunnstoffer (AF)</b> .....	23
2.5.1.	Sammendrag av anti-fouling bunnstoffer.....	26
<b>2.6.</b>	<b>Bunnstoffer kategori II - Fouling release bunnstoffer (FR)</b> .....	26
2.6.1.	Overflatetopografi .....	27
2.6.2.	Overflatekjemi .....	30
2.6.3.	Hydrofobe bunnstoffer .....	31
2.6.4.	Hydrofile bunnstoffer.....	34
2.6.5.	Amfifile og omnifobiske bunnstoffer.....	34
2.6.6.	Sammendrag av fouling release (FR) bunnstoffer .....	35
<b>2.7.</b>	<b>Korrigerende tiltak - Mekanisk rens av skrog</b> .....	35
2.7.1.	Børster.....	36
2.7.2.	Vann-jet.....	37
2.7.3.	Laser og varme.....	37

2.7.4.	Ultralyd .....	37
2.7.5.	Andre metoder.....	38
2.7.6.	Avfallshåndtering.....	38
2.7.7.	Utvalg av eksempler som finnes .....	38
2.7.8.	Sammendrag av mekanisk rens.....	41
<b>3.</b>	<b>Drøfting</b> .....	<b>42</b>
<b>3.1.</b>	<b>Intro</b> .....	<b>42</b>
<b>3.2.</b>	<b>Beregninger</b> .....	<b>42</b>
<b>3.3.</b>	<b>Forebyggende vedlikehold</b> .....	<b>42</b>
<b>3.4.</b>	<b>Korrigerende tiltak – Mekanisk rens</b> .....	<b>45</b>
<b>4.</b>	<b>Konklusjon</b> .....	<b>49</b>
<b>5.</b>	<b>Referanser</b> .....	<b>51</b>
<b>6.</b>	<b>Appendix</b> .....	<b>55</b>
	<b>Vedlegg a – Excel fra slepetankforsøk</b> .....	<b>55</b>
	<b>Vedlegg b – Beregninger av drivstoff-forbruk og utslipp</b> .....	<b>55</b>

#### IV. Figurer, tabeller og diagrammer

Tabell 1: Oversikt av overflateruheter ved ulik tilstand av skroget. (Shultz M., 2007, s.336) .....	14
Tabell 2: Oversikt over økt nødvendig akselkraft ved 15 knop for modellforsøk, DDG-51 og FFG-7 17	
Tabell 3: Oversikt over økt nødvendig akselkraft ved 30 knop for modellforsøk, DDG-51 og FFG-7 ... 17	
Tabell 4: Oversikt over hvilke børstetyper (Changhui & Weicheng, 2020, s. 42) .....	36
Figur 1: Oversikt over motstandskomponenter for et skip (Strand & Kilhus, 2020).....	12
Figur 2: Bilde av slepetanken på SKSK.....	13
Figur 3: Illustrasjon av marin groe. (Annual Reviews, 2012, referert i Sjøfartsdirektoratet, 2016). ....	20
Figur 4: Havnespy .....	21
Figur 5: Inndeling av marine økosoner (WRoMS referert I Campos et al., 2022, s. 3193).....	24
Figur 7: Illustrasjon av hvordan selvpolerende bunnstoff gradvis løses opp (Jotun, u.å).....	25
Figur 8: Illustrasjon av hvordan harde bunnstoffer utskiller biocider (Jotun, u.å).....	25
Figur 6: 3D-topografi AF(Yeginbayeva & Atlar, 2017, s. 1007) .....	26
Figur 9: Illustrasjon av festepunkt-teorien basert på diatomer (Scardino et al., 2006, s. 58).....	28
Figur 10: Illustrasjon av størrelsen til ulike organismer (Callow & callow, 2011, s. 2.) .....	29
Figur 11: Baier kurven (Kommeren, 2015, s. 6). .....	30
Figur 12: Relativ adhesjon som funksjon av $\sqrt{\gamma E}$ . Hentet fra Brady & Singer, 2009, s. 79.....	31
Figur 13: Illustrasjon av prelling(peel) og skjærkrefter (Shear). (adhesivetest.com 04.12.2022) .....	32
Figur 14: 3D-topografi av Foul release bunnstoff (Yeginbayeva & Atlar, 2017, s .....	33
Figur 15: Amfifilt fluorpolymer i Intersleek 1100SR (AkzoNobel, 2013) .....	35
Figur 17: Jotun Hullskater på skipsskrog. (Holm).....	39
Figur 16 18 Et utvalg av dykkeroppererte børstevogner (Subsea) .....	40
Figur 17 19 Bilde av Shipshave ITCH sine hovedkomponenter (Shipshave).....	41
Diagram 1: Beregnet slepeeffekt med hensyn på skipets ruhet og hastighet.....	15
Diagram 2: Forstørret beregnet slepeeffekt i området 25-29 knop .....	16



## V. Nomenklatur

Biocider	Samlebetegnelse på giftige stoffer som dreper levende organismer
IMO	International marine organization
AF	Anti-fouling. Bunnstoff som slipper ut biocider for å drepe groe.
FR	Fouling release. Glatte biocidfrie bunnstoffer som slipper groe ved å føre fartøyet opp i høy hastighet.
BPD	Biocidal Product Directive
BPR	Biocidal roducts Regulation. Tok over for BPD I 2013
Cu <sub>2</sub> O	Dikobberoksid. Kobberbasert biocid.
CuPT	Kobber pyrithion. Kobberbasert biocid.
Zineb	Zinc ethylenebisdithiocarbamate. Soppdrepende biocid.
$\gamma$	Overflateenergi
E	Elastitetsmodul
SP	Shaft Power eller akselkraft
CF	Friksjonskoeffisient
Ca	Korrelasjonskoeffisient
$\Delta$	Endring
L <sub>WL</sub>	Skipets lengde ved vannlinjen [m]
Rt <sub>50</sub>	Maritim standard for måling av ruhet [ $\mu\text{m}$ ]. Høyeste utslag på en måling,
AHR	Average Hull Roughness [ $\mu\text{m}$ ], er gjennomsnittet av flere Rt <sub>50</sub> -verdier. Det refereres oftest til denne verdien ved oppgitte Rt <sub>50</sub> i tabeller.
R <sub>a</sub>	Gjennomsnittlig ruhet på et gitt område.
PBT	Persistent Bioaccumulative and Toxic.
vPvB	very Persistent and very Bio-accumulative.
ROV	Remote Operated Vehicle
MARPOL	Maritime Pollution. Internasjonal konvensjon til forhindring for maritim forurensing.
BMWC	Ballastvannskonvensjonen. Regulerer inntak, utslipp og behandling av ballastvann fra skip.
HSS	HullSkater Solutions. Pakkeløsning for robotvask levert av Jotun og Kongsberg Maritime.

## 1. Innledning

### 1.1. Bakgrunn

Sjøforsvaret er en representant for sjøfartsnasjonen Norge og har som oppgave å beskytte, overvåke, og kontrollere landets havområder. Med et slikt ansvar må driften av marinens fartøyer også innfri samfunnets miljøkrav selv om MARPOL artikkel 3 og ballastvannkonvensjonen artikkel 3 unntar krigsskip dersom det går ut over deres operative evne.

Det mest innlysende problemet som følger av en oppblomstring av organisk materiale på skipsskroget vil være den økte skipsmotstanden<sup>1</sup> (Sjøfartsdirektoratet, 2016). En direkte konsekvens av dette er større drivstoff-forbruk grunnet økt nødvendig akselkraft med medfølgende økte drivstoffkostnader og utslipp av miljøgasser. Sjøforsvarets holdning til drivstofforbruk har frem til nå ikke vært like sentralt. Til forskjell fra de fleste sivile aktører vil ikke driften av Sjøforsvaret ha som mål å skape økonomisk vekst.

Etter samtaler med marinen ble det opplyst at fregattene følger en standardisert prosedyre for rens av skroget, henholdsvis spyling etter 2,5 års- og full nedvask etter 5 års hovedoverhaling. Begge tilfeller er utført i tørrdokk. Fartøyets skrog blir ellers ikke vedlikeholdt annet enn ved nødvendig rens av sonardomen. Til sammenligning ble det av tankskipselskapet Odfjell opplyst at deres fartøy følger samme standardiserte prosedyre for rens i dokk, men i tillegg ble det nyttet både vaskerobot av typen ShipShave under transit og vask av dykkere ved utenladshavner der dette er tillat.

Effektbehovet og medfølgende miljøgassutslipp for et fartøy henger sammen med friksjonsmotstanden på skroget. Metode for bekjempelse av groe på skrog har en betydelig innvirkning på miljøet. Videre, kan rengjøring for å glatte overflaten gi uheldige utslipp i sjøen og det er derfor i dag et behov for at dette blir utført i dokk. Ved å velge rett teknologi og metode for vedlikehold av undervannskroget uten behov for å ligge i dokk, kan en minke fartøyenes klimafotspor samtidig som en øker operativ rekkevidde og operativ tid ute i sjøen.

### 1.2. Oppgaveformulering

Kadettene skal gjøre seg kjent med Sjøforsvarets vedlikehold, metoder og krav opp mot overflateruhet på et generelt overflatefartøy uten løfteputer.

---

<sup>1</sup> Skipsmotstand består kort fortalt av tre hovedkomponenter og beregnes hver seg: 1) Friksjonsmotstand, 2) Bølgemotstand og 3) Formmotstand. Groe vil i hovedsak påvirke Friksjonsmotstanden.

I samarbeid med FMA og sivile leverandører av vedlikeholdsteknologi vil kadettene gjennomføre en komparativ studie for å se hva som er best praksis i maritim virksomhet.

Basert på resultatene fremmes den løsning som er best egnet for et teoretisk fartøy basert på Sjøforsvarets driftsmønster og hva det innebærer i form av redusert klimapåvirkning, kostnader og nedetid i forhold til dagens organisering og metoder.

### 1.3. Avgrensinger

Sjøforsvaret operer et bredt spekter av ulike fartøy med ulike operasjonsmønstre. Groe er et komplekst tema med mange innvirkende faktorer og det vil derfor ikke la seg gjøre å finne en løsning som er optimal for alle fartøyene.

Av hensyn til begrenset informasjon vil derfor denne oppgaven fokusere på et teoretisk overflatefartøy med utgangspunkt i de offentlig tilgjengelige dimensjoner som er å finne for en Nansen-klasse fregatt og forsøk med skrogmodell i Sjøkrigsskolens slepetank.

Etter observasjon av tilstanden av skroget til KNM Otto Sverdrup ved dokking og samtaler med marinen er det synlig at groe av typen tungt slim vil være tilstedeværende. Beregninger og drøftinger i denne oppgaven vil derfor begrense seg til groe opp til og med tungt slim.

### 1.4. Metode

Denne bacheloroppgaven er en komparativ studie basert på kvalitative sammenligninger hvor arbeidet er delt inn i fire faser.

#### **Fase 1 – Skape informasjonsgrunnlag om militær og sivil praksis for håndtering av groe:**

Organisatorisk kommunikasjon med marinen og sivile aktører for innhenting av informasjon for hvilke holdninger og praksis som er nyttet for håndtering av marine organismer.

#### **Fase 2 – Dokumentstudier om groe og dets påvirkning på fartøy og miljø:**

Gjennomgang av relevant teori og lovverk, samt beregninger på egne forsøk for å kartlegge hvordan groe påvirker fartøyets effekt, klimautslipp og spredning av fremmedarter.

#### **Fase 3 – Innsamling og analysering av relevante tiltak:**

Kartlegging av effekt og konsekvenser for ulike typer preventive og korrigerende tiltak for forhindring av groe.

#### **Fase 4 – Analysering og drøfting av resultater:**

Basert på innhentet data og egne beregninger vil løsninger bli vurdert og gjort rede for.

### 1.5. Struktur

Oppgaven er oppbygd av fire kapitler og delt inn i flere delkapitler. Først blir resultater fra labforsøk i Sjøkrigsskolens slepetank analysert og sammenlignet med tidligere studier for å kartlegge effekten av økt ruhet på et fartøy. Analysen belyser de operasjonelle-, økonomiske- og miljømessige konsekvenser av seiling med ulike stadier av groe.

Hovedvekten ligger i teorikapittelet. Her blir det tatt for seg relevant teori av de marine organismer som danner groe og gir leseren nødvendige inngangsverdier for resten av oppgaven.

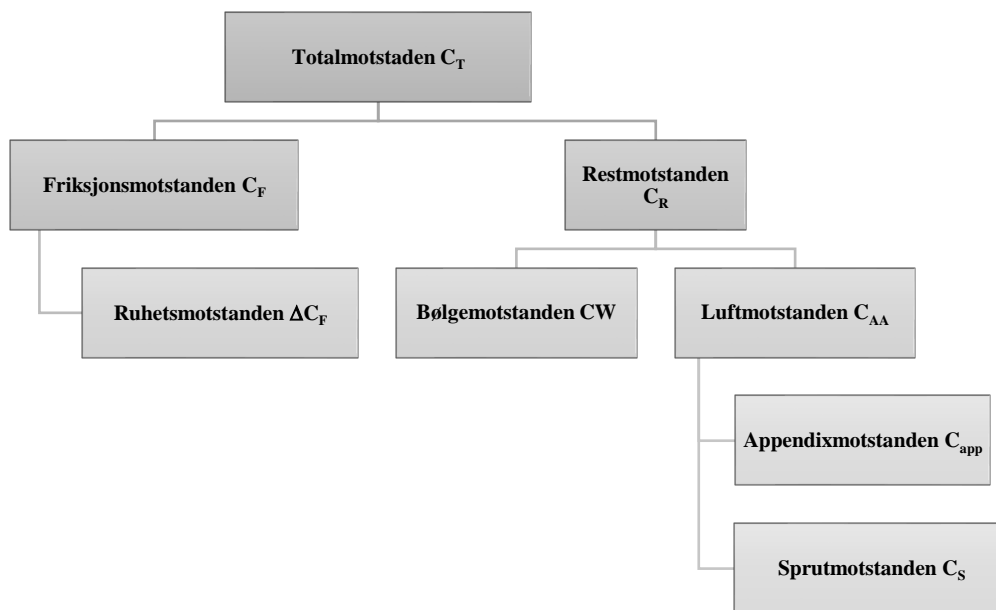
Videre vil ulike metoder for håndtering av groe ved bruk av bunnstoffer og mekanisk rens bli grundig bemerket opp mot effektivitet og miljøkonsekvenser.

Med bakgrunn i teorien vil informasjonen bli drøftet og sammenfattet til en anbefaling av alternative løsninger for dagens praksis.

## 2. Analyse og teori

Kraften som trengs for å skyve et fartøy gjennom vann er direkte koblet til totalmotstandskoeffisienten til skroget. Det er flere komponenter som sammenfatter den totale motstanden på et skip, men flertallet vil ikke kunne endres uten omfattende modifikasjoner på fartøyets profil (Figur 1). Slike modifikasjoner er ikke bare kostbare og tidkrevende, men selv små fysiske endringer vil påvirke signaturen til skipet.

Derfor vil den beste løsningen for å redusere totalmotstanden på et allerede eksisterende marinefartøy være å redusere ruhetsmotstanden.



Figur 1: Oversikt over motstandskomponenter for et skip (Strand & Kilhus, 2020).

Når kraften som propellen må yte for å drive fartøyet fremover skal fastsettes gjøres det ved hjelp av modellforsøk av tilsvarende skrog. I slike forsøk kalles denne kraften slepeeffekt.

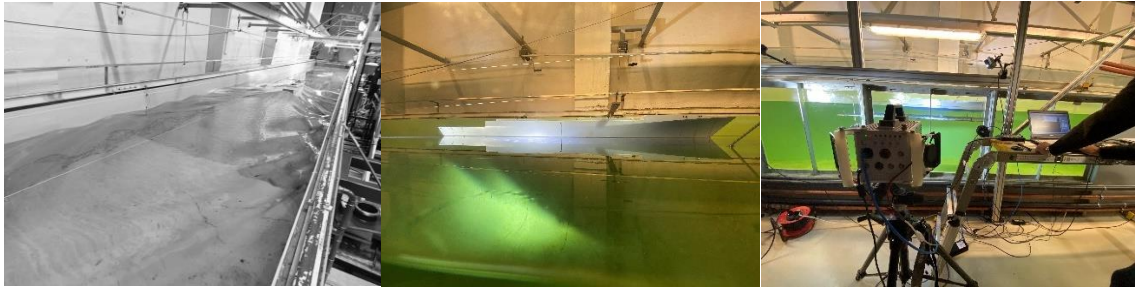
Av formelen under illustreres hvordan totalmotstanden påvirker slepeeffekten. Formelen viser tydelig at uten å redusere skipets hastighet eller betraktelig endre skrogets form er det bare totalmotstanden som er et alternativ å gjøre endringer på.

$$P_E = \frac{1}{2} * \rho * V^3 * S * C_T$$

### 2.1. Slepeeffekt med hensyn på begroing

For å eksemplifisere det økte behovet av slepeeffekt med hensyn på begroing har vi tatt utgangspunkt i et tidligere forsøk vi har utført som en del av studiet marineingeniør maskin i

faget ING3303. Forsøket ble utført i Sjøkrigsskolens slepetank med en skrogmodell av typen fregatt (Vedlegg a).



Figur 2: Bilde av slepetanken på SKSK, modellen og måleutstyr.

Totalmotstand ( $C_T$ ) er en dynamisk koeffisient som vil endres med ruheten på skipet. For å fastsette ny  $C_T$  for skip basert på modell forsøk i henhold til ITTC 7.5-02-02-03 benyttes følgende formel.

$$C_T = C_R + (1 + k) * C_F + \Delta C_F + C_A$$

### Bølgemotstandskoeffisienten ( $C_R$ )

Bølgemotstandskoeffisienten vil for en modell og fullskalaversjonen av skroget være lik. Det er fordi den baserer seg på bølgemønsteret som oppstår når skipet beveger seg gjennom vannet.

### Formfaktor ( $k$ )

«[...] formfaktoren en korreksjon for fortrenningseffekten til skroget» (Steen, 2007, s.10)

Formfaktoren for modell og skip er lik. Ved å slepe modellen i så lave hastigheter at bølgemotstanden blir lik 0 kan formfaktoren regnes ut ved hjelp av motstandstall fra forsøket. Prohaskas metode benytter seg av data ved relativt lave hastigheter til å plote et diagram som en kan lese formfaktoren fra. Forsøket vårt baserer seg på hastigheter fra 15 til 30 knop og vi har derfor brukt MARINTEKs formel for formfaktor. Den vil i utgangspunktet gi lavere formfaktorverdier enn modellforsøk. (Steen, 2007, s. 11)

$$k = 0,6\varphi + 145\varphi^{3,5}, \varphi = \frac{C_B}{L_{WL}} \sqrt{(T_{AP} + T_{FP}) * B}$$

### Friksjonsmotstandskoeffisienten ( $C_F$ )

Friksjonsmotstandskoeffisienten er avhengig av Reynolds tallet og vil øke når farten øker.

Den er bestemt av følgende formel:

$$C_F = \frac{0,0075}{(\log Rn - 2)^2}$$

### Ruhetsmotstandskoeffisienten ( $\Delta C_F$ )

Ruhetsmotstandskoeffisienten gjelder kun for fullskala beregninger og er derfor viktig å ta med i beregninger som baserer seg på modellforsøk. I denne sammenheng er det nyttet formel for utregning av  $\Delta C_F$  hentet fra ITTC 7.5-02-02-03.

$$\Delta C_F = 0,44 \left[ \left( \frac{Rt_{50}}{L_{WL}} \right)^{\frac{1}{3}} - 10Re^{-1/3} \right] + 0,000125$$

Ulike tilstander av bunnsføring og grader av biologisk vekst vil medføre endring i skrogets ruhet ( $Rt_{50}$ ).

Description of condition	NSTM rating*	$k_s$ ( $\mu\text{m}$ )	$Rt_{50}$ ( $\mu\text{m}$ )
Hydraulically smooth surface	0	0	0
Typical as applied AF coating	0	30	150
Deteriorated coating or light slime	10–20	100	300
Heavy slime	30	300	600
Small calcareous fouling or weed	40–60	1000	1000
Medium calcareous fouling	70–80	3000	3000
Heavy calcareous fouling	90–100	10,000	10,000

\*NSTM (2002).

Tabell 1: Oversikt av overflateruheter ved ulik tilstand av skroget. Hentet fra (Shultz M., 2007, s.336) Lastet ned 29.11.2022

Med utgangspunkt i  $Rt_{50}$ -verdiene gitt av tabell 1 og avgrensingene gitt av kapittel 1.4 er  $\Delta C_F$  beregnet for ruhetene ved et gjennomsnittlig nytt lag bunnsføring, lett slim og tungt slim, henholdsvis 150  $\mu\text{m}$ , 300  $\mu\text{m}$  og 600  $\mu\text{m}$  (Vedlegg a).

I maritim virksomhet er  $Rt_{50}$  etablert som en standardisert metode for måling av skrogets ruhet (Yeginbayeva & Atlar, 2018, s. 1001; Hearn & Metcalfe, 1995, s. u).  $Rt_{50}$  er den maksimale høyden mellom toppunktet og bunnpunktet i bunnsføringen målt på et 50 mm utsnitt av skroget.

Målingene skjer ved inn- og ut-dokking av fartøyet og foregår på standardiserte lokasjoner langs skroget. Snittet av flere målinger utført på samme lokasjon utgjør verdien *mean hull roughness* (MHR). Snittet av MHR målingene utgjør average hull roughness (AHR) og gir

tilstanden av skroget i en kvantifiserbar verdi. Ved bruk av  $Rt_{50}$  refereres AHR verdien som er oppgitt i  $\mu\text{m}$  (Yeginbayeva & Atlar, 2018, s. 1001; Hearn & Metcalfe, 1995, s. u).

### Korrelasjonskoeffisienten ( $C_A$ )

I dette forsøket var korrelasjonskoeffisienten satt til en fast verdi 0,0004. Det er en faktor satt av tidligere modell og fullskala forsøk med lignende skip. For motstandsberegninger i henhold til ITTC 75-02-02-03 beregnes  $C_A$  som følgende:

$$C_A = 5,68 - 0,6 \log Re * 10^{-3}$$

### Tverrhekk- og luftmotstand

Når hekken ikke er under vannoverflaten vil tverrhekkmotstanden ikke være en egen koeffisient, men en del av bølgemotstanden. Grunnet skrogets oppbygning var ikke hekken under vann og tverrhekkmotstanden blir en del av bølgemotstanden. Modellskroget nyttet i forsøket var uten overbygg, men ettersom tverrsnittsarealet til en Nansen-klasse fregatt er såpass lite og farten er henholdsvis lav kan en neglisjere luftmotstanden. (Steen, 2007, s. 15 & 30)

Dette gir følgende graf over økt slepeeffekt med hensyn på ruheten og hastighet basert på ITTC 75-02-02-03:

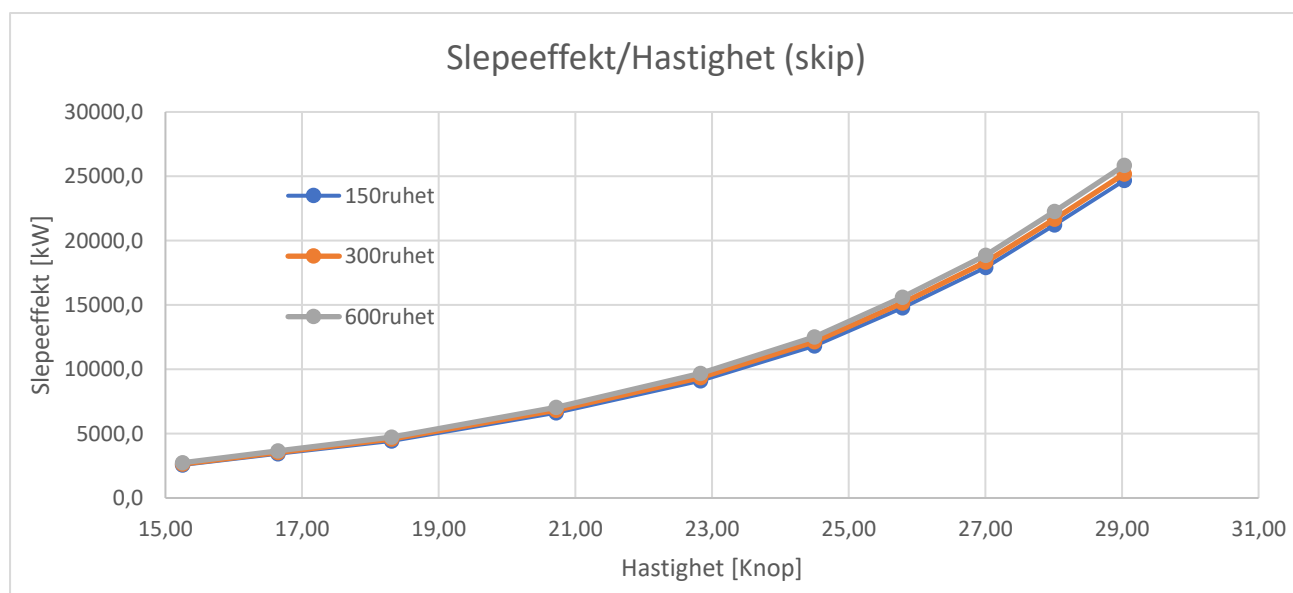


Diagram 1: Beregnet slepeeffekt med hensyn på skipets ruhet og hastighet (Hentet fra vedlegg a).



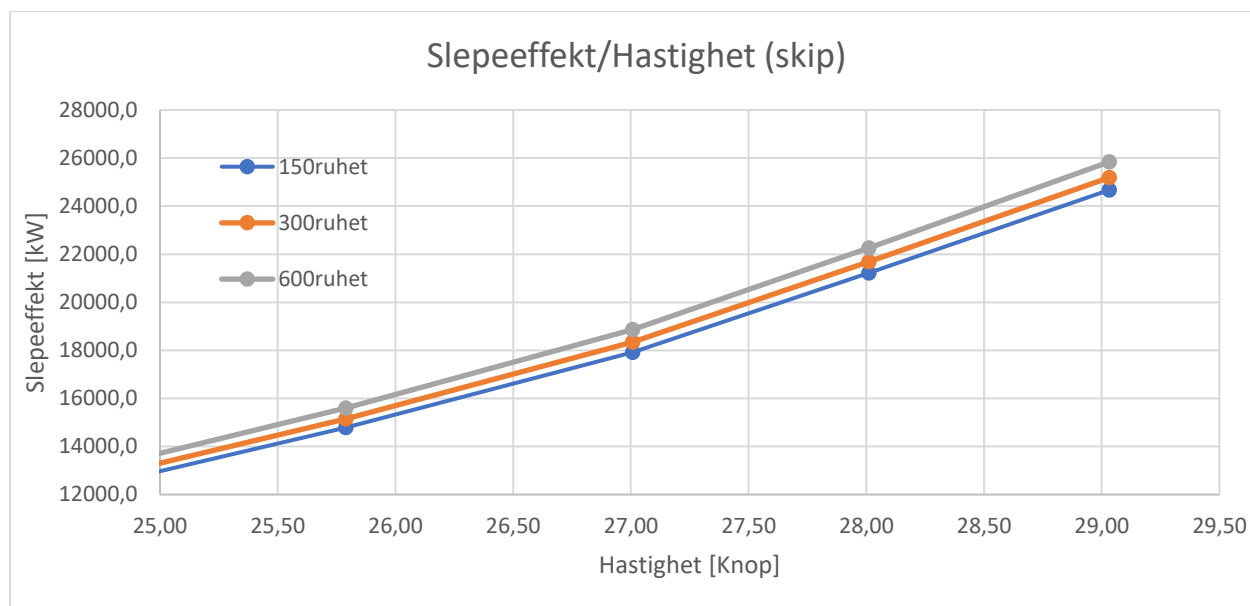


Diagram 2: Forstørret beregnet slepeeffekt i området 25-29 knop for å belyse reduksjon i hastighet basert på ruhet (Hentet fra vedlegg a).

Grafen over beskriver ikke bare at en økt ruhet fører til økt SP som igjen fører til økt drivstofforbruk, men også at topphastigheten vil bli redusert. Dette fordi et fregattskrog må yte 415,1 kW mer ved en ruhet på 300  $\mu\text{m}$  og 938,2 kW mer ved en ruhet på 600  $\mu\text{m}$  i SP i forhold til en ruhet på 150 dersom det skal kjøre i 27 knop.

Utregningene over gir også følgende graf over  $C_R$  og  $\Delta C_F$  basert på Froude tallet.

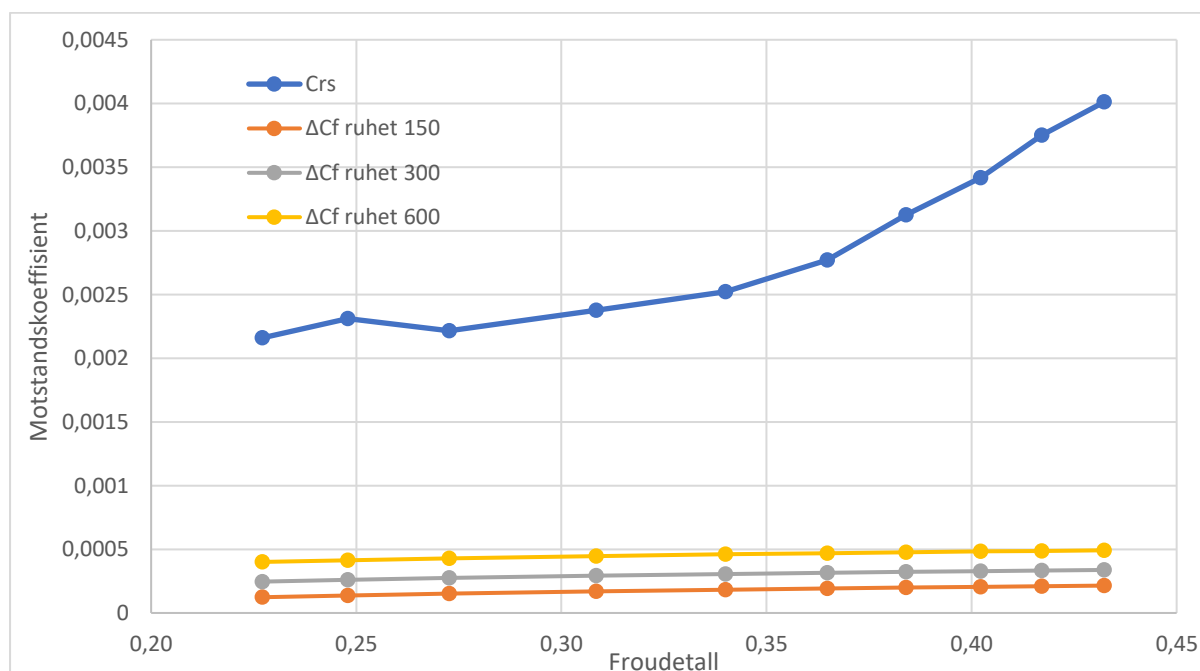


Diagram 3: Motstandskoeffisienter med hensyn på Froude tall.

$C_R$  baserer seg på Froude tallet og er likt for modell og skip. Grunnen til nedgangen i punkt 3 i grafen over er at bølgemønsteret laget av modellen er halvparten av skipets lengde. Som sett over er  $\Delta C_F$  relativt konstant mens  $C_R$  øker når farten øker. Det vil si at ved høyere hastigheter vil den prosentandelen av totalmotstandskoeffisienten som  $\Delta C_F$  utgjør minke.

Følgende viser en sammenligning av våre resultater for akselkraft (SP), fra vedlegg A, opp mot resultater utarbeidet av (Shultz, Bendick, Holm, & Hertel, 2011) og (Shultz M. , 2007):

Ved 15 knop:

	Nansen klasse skrog modell		DDG-51 Arleigh Burke klasse destroyer		FFG-7 Oliver Hazard Perry klasse fregatt	
Tilstand på skrog	$\Delta SP$ (kW)	$\Delta SP$ (%)	$\Delta SP$ (kW)	$\Delta SP$ (%)	$\Delta SP$ (kW)	$\Delta SP$ (%)
Lett slim eller slitt bunnstoff	74.8	2,8%	334	8%	200	9%
Tykt slim	169	6,2%	705	17%	408	19%

Tabell 2: Oversikt over økt nødvendig akselkraft ved 15 knop for modellforsøk, DDG-51 og FFG-7

Ved 30 knop:

	Nansen klasse skrog modell		DDG-51 Arleigh Burke klasse destroyer		FFG-7 Oliver Hazard Perry klasse fregatt	
Tilstand på skrog	$\Delta SP$ (kW)	$\Delta SP$ (%)	$\Delta SP$ (kW)	$\Delta SP$ (%)	$\Delta SP$ (kW)	$\Delta SP$ (%)
Lett slim eller slitt bunnstoff	516 kW	2%	2767	4%	1614	6%
Tykt slim	1165 kW	4,5%	5669	9%	3307	12%

Tabell 3: Oversikt over økt nødvendig akselkraft ved 30 knop for modellforsøk, DDG-51 og FFG-7

Tallene fra DDG-51, Arleigh Burke klassen, er hentet fra Shultz, Bendick, Holm, & Hertel, 2011, s. 91 og tallene fra Hazard Perry klassen er hentet fra Shultz M., 2007, s. 339

I *Effects on coating roughness and biofouling on ship resistance and powering* sammenlignes de beregnede verdiene på FFG-7 med fullskala forsøk på en Knox-klasse fregatt med lignende skrogtype. Både Hundly og Tate i 1980 og Haslbeck og Bohlander i 1992 sine resultater fra fullskala forsøk underbygger de beregnede verdiene (Shultz M, 2007, s.339-340).

Hundly og Tate sitt forsøk på et skrog med sjøgress og en påbegynnende røormvekst, før og etter vask, resulterte i en målt endring på 24% i SP ved 15 knop. Ettersom ruheten på Knox-klasse skroget etter rengjøring ikke er kjent men mest sannsynlig befinner seg mellom lett slim/slitt malingslag og nymalt, som henholdsvis tilsier en reduksjon på 22% og 32%, er beregningene gjort for FFG-7 plausible.

Haslbeck og Bohlander sitt fullskala forsøk på et Knox-klasse skrog med tykt slim før og etter vask, resulterte i en reduksjon på 9% ved 16 knop. Den målte ruheten på skroget etter vask var 264 mikrometer som tilsvarer en skrogtilstand hvor bunnstoffet er slitt. Den beregnede differansen med 264 mikrometer blir 8% (Shultz M, 2007, s.339-340).

Hvis vi legger dette til grunn for våre fregatter så vil det økte behovet for SP ved 15 knop ligge et sted mellom 2,8%-9% ved slitt bunnstoff/lett slim og 6,2%-19% ved tykt slim. Ved 30 knop vil det økte behovet for SP ligge 2%-6% ved slitt bunnstoff/lett slim og 4,5%-12% ved tykt slim.

### 2.1.1. Miljø og økonomiske konsekvenser

Vi baserer oss videre på en teoretisk transitt-hastighet på 15 knop hvor to dieselmotorer deler lasten. Dieselmotorene vi har valgt å basere utregningene på er Caterpillar C280 16-sylinder ettersom de er den beste kandidaten til å erstatte dagens fregattmotorer. (Gjerde, 2018, s. 72).

#### **For operasjoner ved lett slim:**

For å opprettholde originalt operasjonsmønster med 2,8% økt drivstoff-forbruk vil et dieseldrevet fartøy som under transitt originalt bruker 1100 liter drivstoff i timen medføre (Se vedlegg B):

- En kostnadsøkning på over 12500 NOK per døgn.
- 0,6 Timer redusert operasjonstid per døgn.

- 1,9 tonn ekstra CO<sub>2</sub> per døgn avhengig av drivstoffkvalitet.

### **For operasjoner ved tykt slim:**

For å opprettholde originalt operasjonsmønster med 6,2% (Tilsvarende tykt slim) økt drivstoff-forbruk vil et dieseldrevet fartøy som under transitt originalt bruker 1100 liter drivstoff i timen medføre (Se vedlegg):

- En kostnadsøkning på over 27800 NOK per døgn.
- 1,4 Timer redusert operasjonstid per døgn.
- 4,3 tonn ekstra CO<sub>2</sub> per døgn avhengig av drivstoffkvalitet.

I tillegg til naturlig bruksslitasje vil det ved rengjøring av skroget mulig oppstå skader eller slitasje på bunnstoffet. Derfor vil ikke ruheten komme ned på 150 µm som er det typiske for et fartøy som nylig har fått påført bunnstoff. Et mer realistisk scenario er at ruheten går fra 600 µm (tykt slim) til 300 µm (tynt slim/slitt bunnstoff) eller til nærmere 150 µm, alt ettersom hvor nytt bunnstoffet er.

#### **2.1.2. Sammendrag av analyse**

Ruhetsmotstanden vil over tid kraftig påvirkes av groe. Som vist av våre beregninger vil drivstofforbruket øke med 6.8% dersom skroget ikke blir vedlikeholdt mellom dokking. Overforbruket vil føre til over 4 tonn ekstra CO<sub>2</sub> utslipp. Det bør bemerkes at forbrenning av diesel medfører utslipp av flere klimagasser enn bare CO<sub>2</sub>. Derfor er det viktig å minimere mengden groe. For å velge den beste metoden for vedlikehold av skroget er det viktig å først forstå hva groe er, hvordan marine organismer etablerer seg og hvilke konsekvenser det medfører.

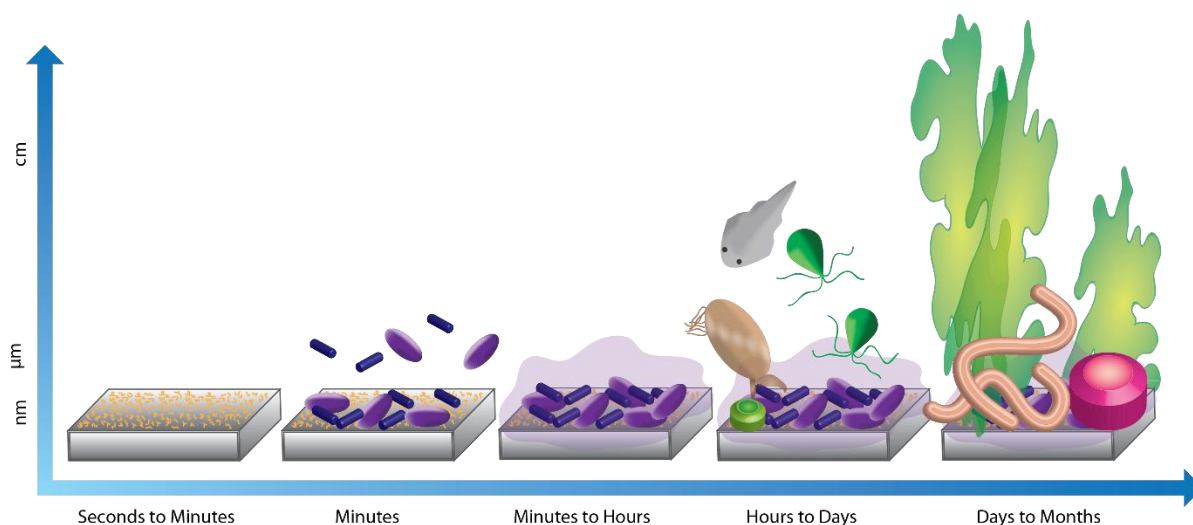
#### **2.2. Groe**

Marin groe er et økologisk samfunn som utvikles på neddykkede overflater slik som et skipsskrog (Silva et al., 2019, s.1507-1508; Sjøfartsdirektoratet, 2016). Utviklingen skjer over fire faser;

- Fase 1: Umiddelbart etter kontakt med sjøvann vil et lag organiske molekyler legge seg på overflaten og danne grunnlaget for videre vekster.
- Fase 2: Timer etter kontakt vil sopper, virus og bakterier begynne å danne en mikrobiologisk film. Mikroorganismene vil etter hvert begynne å omgjøre stoffer og skille ut molekyler som tiltrekker seg nye organismer og hjelper med utvikling av

larvene til mikroorganismene selv under ugunstige forhold. Denne fasen kan gjenkjennes ved et slimlag på skroget.

- Fase 3: Timer til dager etter kontakt vil encellede organismer i form av algesporer begynne å vokse.
- Fase 4: I løpet av dager til måneder vil større flercellede organismer som rur og blåskjell ha festet seg og makrogroe oppstått (Silva et. al., 2019, s. 1507-1508; Sjøfartsdirektoratet 2016).



Figur 3: Illustrasjon av marin groe. (Annual Reviews, 2012, referert i Utslipp til sjø, 2016).

I all hovedsak vil groe oppstå og utvikle seg når skipet er stilleliggende. Ved hastigheter over 2 knop vil utviklingen stoppe opp (Sjøfartsdirektoratet, 2016). Problemet med oppblomstring forsvinner likevel ikke, og vil fortsette så snart skipet blir liggende stasjonært. Generelt sett vil marine organismer som har festet seg fortsette å gro så lenge det er tilgang på næring og sollys. Det er likevel flere faktorer som spiller inn på organismenes produktivitet og groen vil i sørlige deler av Norge være mest aktiv om våren og tidlig utover sommeren (Sjøfartsdirektoratet, 2016).

### 2.2.1. Konsekvenser av groe

Flertallet av Sjøforsvarets fartøy er tiltenkt et operasjonsområde i norsk territorialfarvann. Likevel beveger de seg tidvis utover dette området. Spesielt fregattene og logistikkfartøyet KNM Maud seiler regelmessig til havområder som Middelhavet og Atlanterhavet. I slike situasjoner kan organismene som har etablert seg på skroget fraktes til nye økosystemer med et ødeleggende resultat (Sjøfartsdirektoratet, 2016).

Arten Japansk sjøpung (*Didemnum vexillum*) er et eksempel på en slik invasiv art. Grunnet det karakteristiske utseendet har den i Norge fått tilnavnet havnespy (Statsforvalteren i Vestland, 2021; Miljødirektoratet, 2022) Trolig har arten kommet til Norge som groe på skipstrafikk. Havnespy legger seg som et teppe på havbunnen med en kvelende effekt på andre arter. Det første tilfellet i Norge ble oppdaget i Engøysundet i Stavanger i 2020 og hadde innen 2022 dekket over 50% av havbunnen der. Nylig har det også blitt konstatert videre spredning til bl.a. Askøy i Bergen (Statsforvalteren i Vestland, 2021; Miljødirektoratet, 2022).



Figur 4: Havnespy fortrenger alle andre arter i havnebassenget. Arten har kommet fra Japan som groe på skipsskrog.

(Havforskningsinstituttet, referert av Informasjonsmøte om havnespy/japansk sjøpung, 2022).

Per dags dato har ikke Sjøfartsdirektoratet noen forskrifter som spesifikt omhandler spredning av marine organismer fra et norsk havområde til et annet (Sjøfartsdirektoratet, 2022). Unnlattelse av å vise aktsomhet og gjøre rimelige tiltak for å redusere risikoen av spredning av fremmedarter kan likevel medføre brudd på aktsomhetsloven (Forskrift om fremmede organismer, 2015, §18).

### 2.2.2. Sammendrag av groe

Dannelsen av groe begynner umiddelbart etter kontakt med sjøvann og vil etter dager etablere seg som slim på skroget. Groens vekst vil stoppe opp dersom de opplever strømminger på 2 knop og oppover, men vil begynne igjen når strømmingene slutter så lenge det er tilgang på næring. Mangelen av tiltak for å forhindre groe har ført til at fremmedarter som havnespy har fått fotfeste i Norge.

### 2.3. Preventive og korrigerende tiltak - Bekjempelse av groe

Det ha nå blitt etablert en forståelse for hva groe er, dets effekter på økosystemet og påvirkning på fartøyets motstand og dermed drivstoff-forbruk. Skadeeffekten er så stor at moderniserte metoder for tiltak i Sjøforsvaret bør drøftes videre.

Metodene for bekjempelse av groe kan deles inn i to kategorier; Preventive og korrigerende tiltak. Med preventive tiltak menes bunnstoffer, som har som formål å forhindre at marine organismer initialt får etablert seg på skroget.

Med korrigerende tiltak menes mekanisk rens, som har som formål å ved hjelp av fysiske tiltak fjerne de organismer som alt har etablert seg på skroget.

Virkemåter for bunnstoffer og mekanisk rens vil videre bli belyst og deres respektive egenskaper gjennomgått, henholdsvis i kapittel 2.5 - 2.7.

### 2.4. Preventive tiltak - Bunnstoff

Bunnstoff er definert som «[...] undervannsmaling til skroget på båter og skip for å hindre at marint liv får feste til å gro på skroget» (Osnes, 2021).

Bunnstoffer blir primært delt i to kategorier; *Anti-fouling* og *Foul release*. Begge typer er effektive, men baserer seg på svært forskjellige teknologier for å forebygge utvikling av groe med påfølgende fordeler og svakheter.

Et tredje alternativ kan være bunnstoffer i kategorien Foul release hvor topografien endres ved reaksjon på stimuli av signaler fra pH-verdier, temperatur eller spenning. Såkalte stimuli-responsive bunnstoffer. Selv om lovende er dette et relativt nytt fagfelt og enda ikke implementert suksessfullt i bunnstoffer (Kommeren, 2017, s. 17). Det vil derfor i denne oppgaven ikke bli tatt stilling til denne typen.

Utviklingen av bunnstoffer er i stor endring grunnet større søkelys på skipsfartens påvirkning på miljø og klima. Økt forståelse for hvordan spredning av fremmedarter og utslipp av giftstoffer påvirker lokale biotoper gir et grunnlag for valg som omfatter mer enn bare ren effektivitet mot groe.

Etter samtaler med marinen og sivile aktører har vi satt følgende kriterier for valg av bunnstoffer:

1. Forhindre spredning av fremmede arter.
2. Redusere veksten av groe i forhold til nåværende praksis.

3. Minimere risikoen for utslipp av både direkte virkende og bioakkumulerende biocider.

Ønsket egenskap:

1. Tilfredsstillende presumpptive miljøkrav.

For å best mulig være i stand til å vurdere bunnstoffer opp mot kravene er det nødvendig å forstå hvordan ny foul release- og tradisjonell anti-fouling teknologi virker på groe og miljø.

### **2.5. Bunnstoffer kategori I - Anti fouling bunnstoffer (AF)**

Bunnstoff av typen AF slipper ut biocider i en kontrollert hastighet som tar livet av organismene som vokser på skroget (Jun & Shing, 2010, s. 310).

AF er den tradisjonelle typen bunnstoff og har blitt utviklet og etablert uten konkurrenter i en årrekke. Forskning gir ny kunnskap som gjør det viktig å forstå utviklingen av AF-bunnstoffer for vurdering av en erstatning;

Et mye brukt biocid er tributyltinn (TBT). TBT er et særdeles effektivt tilsetningsmiddel for bunnstoff, men stoffet har ført med seg store skader på det maritime miljøet, spesielt i havner der skip med denne typen bunnstoff har ligget til kai (Jun & Shing, 2010, s. 310).

Et konkret eksempel på skadevirkningen ved bruk av TBT i bunnstoff er observasjonen av purpursnegl-hunner langs norskekysten som utviklet penis og sædleder med medfølgende sterilitet (Norsk institutt for vannforskning, 2019). Den skadelige innvirkningen førte til at IMO innførte globalt totalforbud mot bruk av TBT i bunnstoffer fra 2008 (Jun & Shing, 2010, s. 310).

Etter forbudet mot bruk av TBT ble en ny generasjon bunnstoff nyttet som erstatning. Diuron, Irgarol 1051 og DCOIT ble de mest nyttede blant de kjemiske sammensetninger tillatt av EU i bunnstoff (Campos et al., 2022, s. 3181). Den nye generasjonen anti fouling-bunnstoffer er ment å være mer miljøvennlige enn tidligere, men mangelen på systematisk evaluering av stoffenes innvirkning på miljøet har ført til mangelfull data. Irgarol 1051 ble fjernet fra EUs liste over godkjente stoffer brukt i bunnsføring i 2017 (Campos et al., 2022, s. 3181).

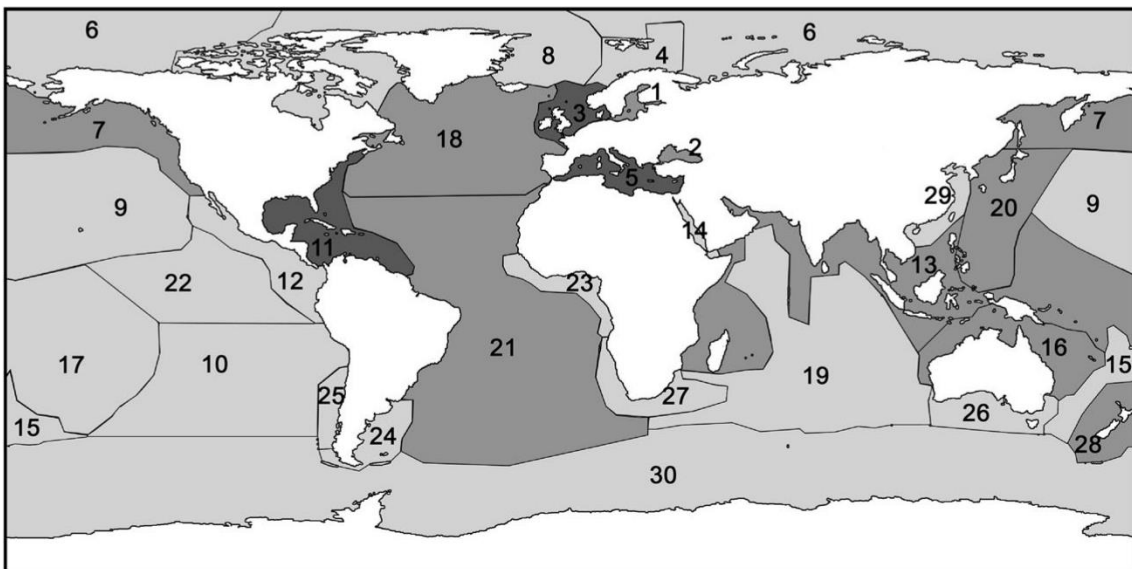
Sjøforsvaret bruker per dags dato AF bunnstoffer på sine fartøy. Eksempelvis nytter fregattene i Nansen-klassen bunnstoff av typen Jotun SeaForce 90. Dette bunnstoffet inneholder bl.a. stoffene kobber pyrithione (CuPT), dikobberoksid (Cu<sub>2</sub>O) og Zineb.



Innenfor EU blir bruken av biocider i bunnstoffer regulert gjennom Biocidal Products Regulation (BPR) (Campos et al., s. 3196). Krav som stilles til nyttede biocider er at de må være lite giftige for organismer utenfor målgruppen, brytes ned raskt og utgjøre lite potensiale for bioakkumulering. Zineb og  $\text{Cu}_2\text{O}$  er 3-400 ganger giftigere for arter utenfor målgruppen sammenlignet med artene stoffene er beregnet på. Resulterende tilfredsstillende ikke Zineb og  $\text{Cu}_2\text{O}$  kravene i BPR.  $\text{CuPT}$  er like giftig for organismer innenfor og utenfor målgruppen med en gjennomsnittlig differanse på  $\leq 1,5$  (Campos et al., s. 3196).

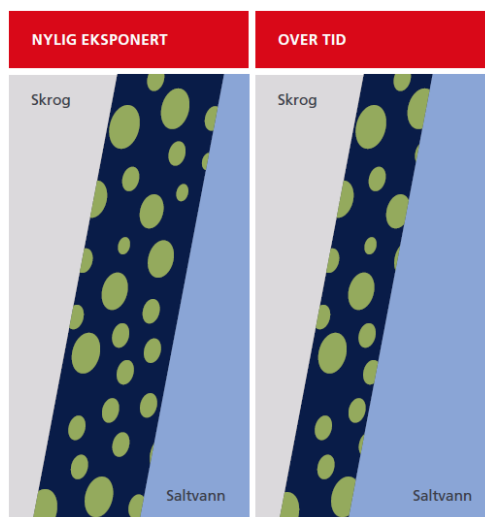
Siden midten av 1950-tallet har kobber vært den mest utbredte metalliske biocidenen nyttet i AF-bunnstoffer (Campos et al., s. 3188). Tester har vist at det kobber-baserte biocidet  $\text{CuPT}$  har en svært kort halveringstid i sjøvann og av fotolytisk nedbryting, henholdsvis  $t^{\frac{1}{2}} = 0,5h$  og  $t^{\frac{1}{2}} > 1h$  (Thomas & Brooks, 2010, s. 81). Det er likevel uklart hvordan dybden og feilbruk av bunnstoffet endrer dette. Data viser at halveringstiden øker signifikant ved dybder over 25 meter og i grensesjiktet mellom bunnsedimenter og sjøvann, spesielt om utslippet er i form av løsnede malingsflak (Thomas & Brooks, 2010, s. 81).

Innhenting av data på oppbygging og påvirkning på det marine miljøet fra biocider i bunnstoff er i stor grad utført i de nord-østlige- og offshore delen av Atlanterhavet (område 3 & 18 på figur 5) (Campos et al., s. 3192). Det er ikke gjort forskning på biocidenes påvirkning på arter som er endemiske til polarregionene nord for 60. nordlige breddesirkel (Campos et al. s. 3192).



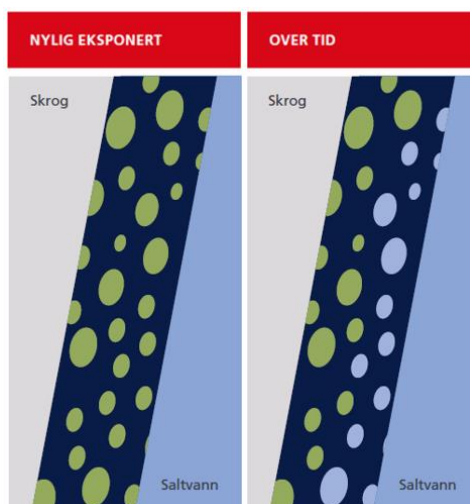
Figur 5: Inndeling av marine økosoner (World register of marine species referert i Campos et al., 2022, s. 3193)

Uavhengig av hvilke biocider som er nyttet kan teknologien for utslippsmetoden deles inn i gruppene selvpolerende og harde bunnstoff (Jotun, u.å., s. 13). Selvpolerende bunnstoffer blir gradvis løst opp ved kontakt med saltvann slik at groe ikke får etablert seg og et nytt lag med biocider alltid er eksponert. Derfor vil denne typen ha en begrenset levetid (figur 6).



Figur 6: Illustrasjon av hvordan selvpolerende bunnstoff gradvis løses opp. Grønne prikker representerer biocider og mørkeblått bunnstoffet. (Jotun, u.å) Lastet ned 02.12.2022

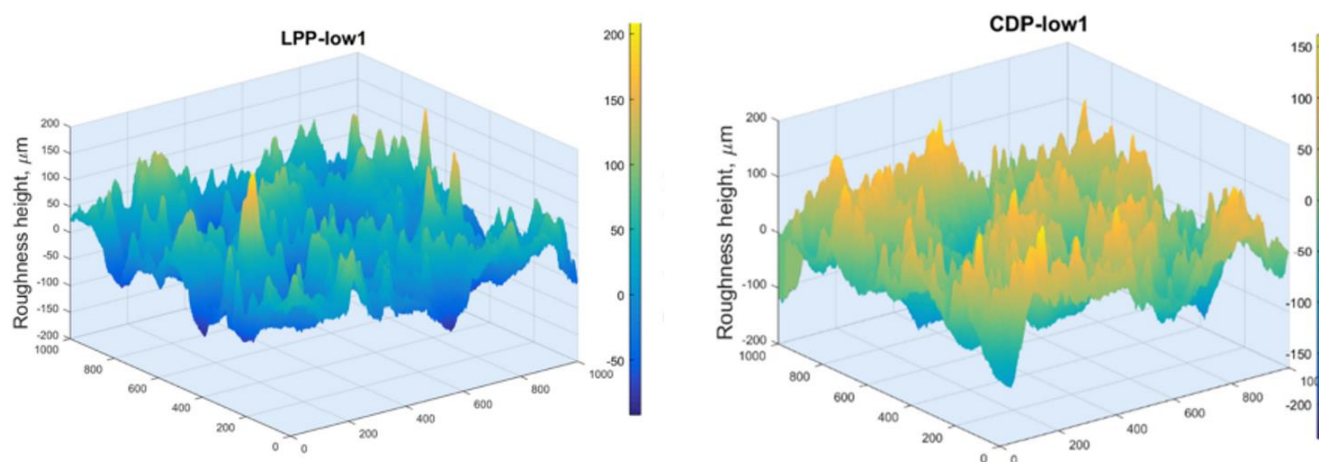
Harde bunnstoffer er uoppløselige og tykkelsen holdes derfor konstant. Med tiden vil utslippet av biocider bli mindre effektivt og det ytterste laget porøst og inaktivt. Derfor er harde bunnstoffer mer motstandsdyktig enn selvpolerende bunnstoffer, men det er nødvendig å slipe over før påføring av nytt bunnstoff eller for å opprettholde effektiviteten (figur 7).



Figur 7: Illustrasjon av hvordan harde bunnstoffer utskiller biocider uten at selve bindemiddelet forsvinner. Grønne prikker representerer biocider og mørkeblått bunnstoffet (Jotun, u.å). Lastet ned 02.12.2022

Siden AF-bunnstoffer baserer seg på giftstoffer er overflateruheten mindre relevant enn for FR-bunnstoffer i et rent groe-perspektiv. Likevel ses det her nødvendig å belyse grunnet bunnstoffets motstand opp mot slepeeffekt og marine organismers varierende festemetoder og toleranser for biocider.

Figur 8 viser lasermålt 3D-topografi av to typer selvpolerende AF-bunnstoffer, henholdsvis Intersect 8000 LPP og Interspeed 6400 CDP. Det merkes at forsøket er utført i laboratorium med simulert lav ruhet på grunningen. Det er av samme årsak ikke mulig å oppnå tilstrekkelig informasjon for å regne ut et AHR-resultat som er representativt for skroget på et reelt fartøy. Gjennomsnittlig utslag  $R_a$  kan derimot brukes, og er regnet til  $\sim 4,5 \mu\text{m}$  for Intersect 8000 og  $\sim 8,0 \mu\text{m}$  for Interspeed 6400 (Yeginbayeva, 2017, s. 1007).



Figur 8: 3D-topografi målt i laboratorium på et 25x25 mm<sup>2</sup> areal med Optisk overflate profilometer. Hentet fra Hentet fra: (Yeginbayeva & Atlar, 2017, s. 1007) Lastet ned 07.12.2022

### 2.5.1. Sammendrag av anti-fouling bunnstoffer

AF bunnstoffer bekjemper groe ved kontrollerte utslipp av giftstoffer. Etter forbudet mot bruk av det mye nyttede stoffet TBT har oppmerksomheten på skadeomfanget fra AF bunnstoffer økt. I dag er kobber mest nyttet, men vil trolig bli forbudt i nærmere fremtid. AF bunnstoffer fungerer uavhengig av operasjonsmønsteret til fartøyet, men har ulik effektivitet på ulike arter i tillegg til skade på utilsiktet marint liv. Nansen-klassen bruker per dags dato denne typen, men innen fartøyet blir ført i dokk har minimum tungt slim etablert seg på skroget.

### 2.6. Bunnstoffer kategori II - Fouling release bunnstoffer (FR)

FR bunnstoffer består av materialer av en slik natur at adhesjonen mellom bunnstoffet og groe blir svekket i den grad at groen ikke får feste. Dette oppnås ved å fremstille overflatekjemien og overflatetopografien til bunnstoffet slik at en oppnår ønsket effekt på

målgruppen av organismer (kommeren, 2017, s. 4-5). FR bunnstoffer eliminerer derav hele problematikken som anti-fouling bunnstoffer har med biocider som lekker ut i miljøet.

Merk at ved feilbruk kan likevel biocider lekke ut, også fra FR bunnstoffer. Stoffer som kan betraktes som biocider ved utslipp er fremdeles brukt i flere FR bunnstoffer. Eksempelvis markedsføres Hempaspeed TF 77222 produsert av Hempel som biocidfritt, men inneholder stoffer som er bioakkumulerende, motstandsdyktige og giftige i ulik grad, såkalte PBT og vPvB-stoffer (Hempel, sikkerhetsdatablad). Disse stoffene er ikke ment å lekke ut fra bunnstoffet, men ved skader fra fysiske påkjenninger som feilvask kan føre til at malingsflak løsner og derav slipper ut giftstoffer.

Intersleek 1100SR produsert av AzkoNobel inneholder til motsetning ingen stoffer som per dags dato klassifiseres som biocider (International, Sikkerhetsdatablad).

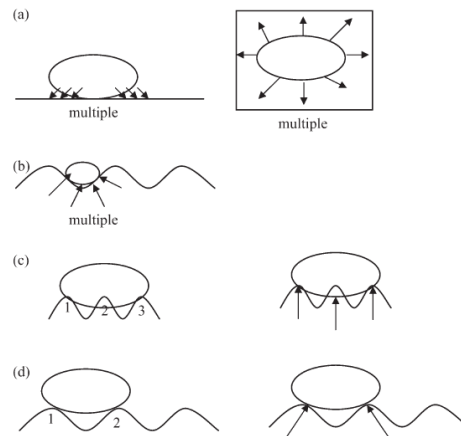
Uavhengig av om det finnes giftige stoffer i FR bunnstoffer er ikke intensjonen med bruken å påvirke de marine organismer som befinner seg ved skroget. Teknologi under rask utvikling og mangel på hjelp fra giftstoffer gjør det derfor viktig å skjønne hvordan FR bunnstoffer har utviklet seg og hvordan tilpasset overflatetopografi og overflatekjemi kan forhindre etablering av groe.

### 2.6.1. Overflatetopografi

Det er gjort omfattende arbeid som viser at overflatetopografien til et underlag påvirker adhesjonsevnen til ulike marine organismer uten at det i like stor grad er utarbeidet en konkret grunn. En utbredt teori er festepunkt-teorien, som vil bli bakgrunn for denne oppgavens utgangspunkt i temaet overflatetopografi (Figur 9).

Ulike arter marine organismer lokaliserer gunstige overflater både via aktiv søken eller passiv søken ved å benytte gravitasjon og havstrømmer (Scardino et al., 2007, s. 55; Kommeren, 2017, s. 11-12). I begge tilfeller søker organismen etter gunstige overflater og velger selv å etablere seg med bakgrunn i artens preferanser.

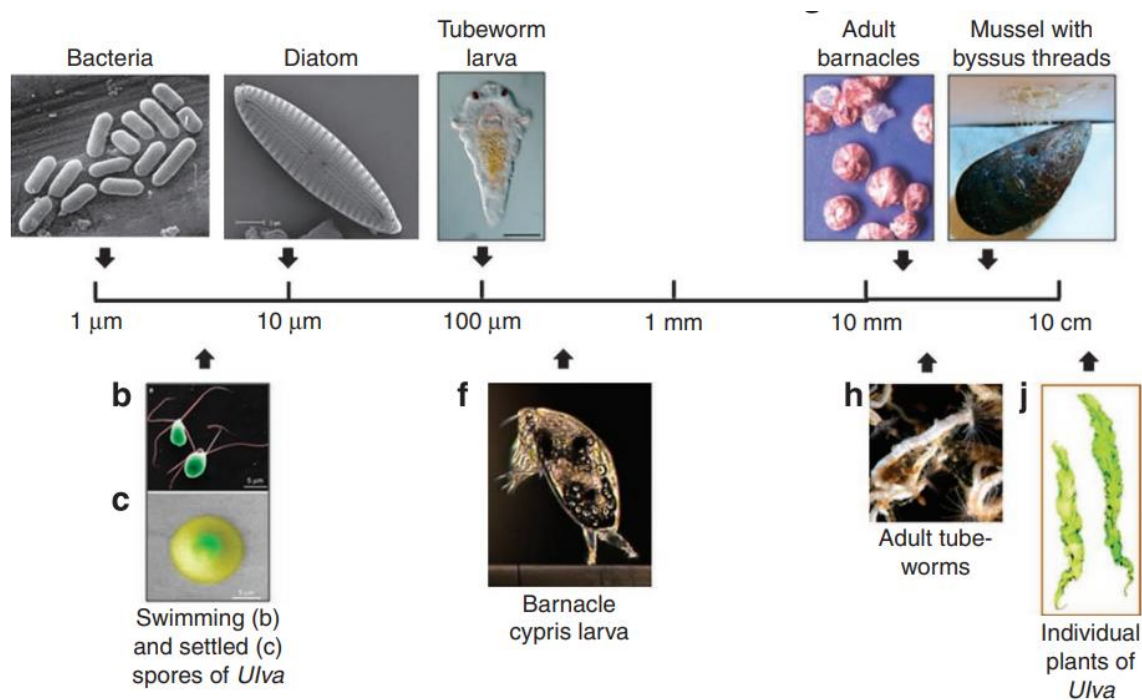
Når en marin organisme er mindre enn dimensjonene til overflatens ruhet vil adhesjonen styrkes grunnet flere festepunkt. Tilsvarende vil adhesjonen være svakere dersom organismen er større enn overflateruheten til underlaget (Scardino et al., 2007, s. 55; Kommeren, 2017, s. 11-12). Dette er vist av figur 9.



Figur 9: Illustrasjon av festepunkt-teorien basert på diatomer på; (a) glatt overflate – flere festepunkt. (b) Overflatestruktur med struktur større enn diatomet – flere festepunkt. (c & d) Overflatestruktur med struktur mindre enn diatomet – 2 og 3 festepunkt (Scardino et al., 2006, s. 58). Lastet ned 10.12.2022

Fra teorien kommer det frem at størrelsen på organismene i målgruppen er et viktig grunnlag ved valg av overflatetopografien til bunnstoff. I tillegg må det tas hensyn til organismenes ulike sensoriske organ benyttet for å undersøke underlaget. Eksempel er antenner som anvendt av rankefot-larver som omfatter bla. a. rur og andeskjell (Scardino et al., 2007, s. 55; Kommeren, 2017, s. 11-12).

Å tilpasse topografien til bunnstoffer for å bekjempe groe er vanskelig i praksis grunnet det svært store spennet i størrelsen til de ulike organismene. Som vist av figur 10 er bakterier i størrelsesordenen  $\sim 1 \mu\text{m}$ , grønnalgesporer (*Ulva*)  $\sim 8 \mu\text{m}$  og rankefot-larver  $\sim 500 \mu\text{m}$ .



Figur 10: Illustrasjon av størrelsen til ulike organismer som typisk er å finne i oppbyggingen til marin groe på undervannsinstallasjoner som skipsskrog. (Callow & Callow, 2011, s. 2.) Lastet ned 29.11.2022

Nanostrukturerte bunnstoffer har som formål å forhindre adhesjonen av bakterier og diatomer som etablerer seg i løpet av minutter og dermed bremse den videre marine groen disse organismene tiltrekker seg (Kommeren, 2017, s. 13-16). Denne typen bunnstoffer er vist å redusere adhesjonen av bakterier med 30-45%.

Mikrostrukturerte bunnstoffer er basert på flere marine arter som bruskfisker, hvaler og krepsdyr som nytter topografien på skjell og skinn for å forhindre groe. Slike bunnstoffer har vist effekt mot grønnalgesporer og rankefot-larver.

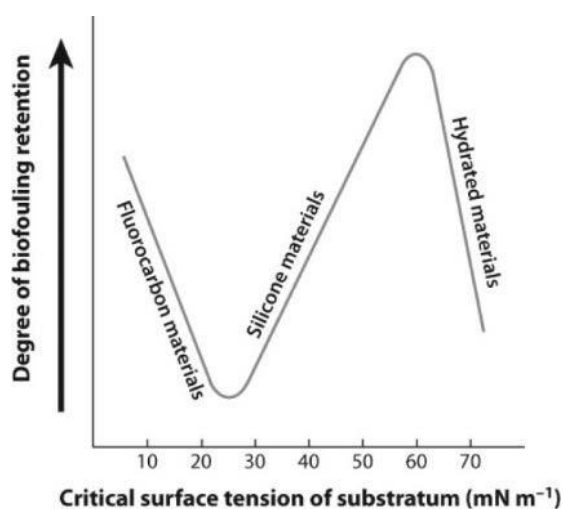
Det er likevel vanskelig å oppnå ett enkelt bunnstoff som er effektivt mot begge arter fordi grønnalgesporer mest effektivt adherer til topografier i størrelsen 2 µm mens rankefot-larver etablerer seg mest effektivt ved topografier i størrelsen 20 µm.

Å benytte seg av overflatetopografien til bunnstoffer alene for å forhindre groe er som vist ikke effektivt, og vil heller virke bremsende. Marine organismer som nytter seg av dette har flere forsvarsmekanismer som for eksempel hamskifte. De minste artene av diatomer er i tillegg så små at de kan få feste uavhengig av strukturen på dagens bunnstoffer (Kommeren, 2017, s. 13-16 & Scardino et al., 2007, s. 57).

### 2.6.2. Overflatekjemi

Som nå fastsatt er mangfoldet av festemekanismer og størrelser hos marine organismer for stort til at overflatetopografien alene kan forhindre etablering av groe. Bunnstoffets kjemiske sammensetning påvirker både holdbarhet, evne til feste til skroget og frastøting av groe. Ut ifra fartøyets bruk er det derfor viktig å velge bunnstoff basert på riktig overflatekjemi.

Robert Baier var en av de første til å finne en sammenheng mellom adhesjonsegenskapene til groe og overflatespenningen til underlaget (Flemming et al., 2008, s. 141). Basert på en variasjon av overflatespenningen til ulike bunnstoff og tilhørende evne til adhesjon utarbeidet Baier en oversikt over sammenhengen i form av Baier kurven (Figur 11).

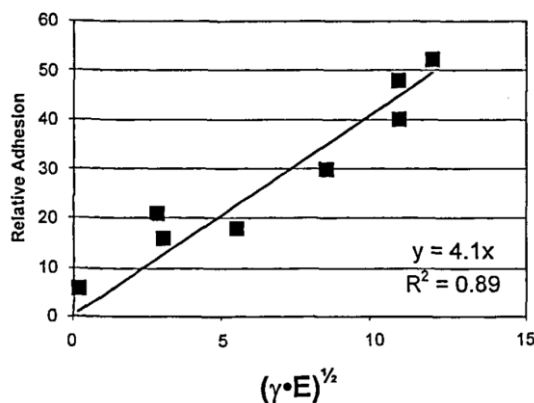


Figur 11: Baier kurven viser sammenhengen mellom kritisk overflatespenning til et underlag og adhesjonsegenskapene til groe (Kommeren, 2015, s. 6).

Baier-kurven er relatert til overflatespenningen til underlaget når væsken har en angrepsvinkel på 0°. Ut ifra kurven kommer det frem at groen evner minimal adhesjon ved en overflatespenning på 20-30  $\frac{mN}{m}$ .

Dette korresponderer med hydrofobe Fluor- og silikonbaserte FR-bunnstoffer. Vi ser også liten evne til adhesjon over 70  $\frac{mN}{m}$ , altså hydrogeleer (kommeren, 2017, s. 6).

Videre er den relative adhesjonsevnen for hard groe (skjell) er proporsjonal med produktet av  $\sqrt{\gamma E}$ , hvor  $\gamma$ =overflateenergi og  $E$ =elastitetsmodulen (Figur 12) (Brady & Singer, 2009, s. 79).



Figur 12: Relativ adhesjon som funksjon av  $\sqrt{\gamma E}$ . Hentet fra Brady & Singer, 2009, s. 79.

Av figuren over ser vi at det er ønskelig med lavest mulig overflateenergi og elastitetsmodul. For lav E-modul må likevel begrenses da det fører til at bunnstoffet blir for mykt og lett deformert til å kunne nyttes i praksis.

Moderne FR bunnstoffer er bygget på teorien fra figur 11 og 12. Utdyping av de viktigste kjemiske sammensetningene blir videre utdypet.

### 2.6.3. Hydrofobe bunnstoffer

Hydrofobe bunnstoffer er bunnstoffer som har en frastøtende effekt på vann og derav ikke oppløses ved kontakt (Sandtorv, 2019). Eksempler på typiske hydrofobiske materialer nyttet som basis i bunnstoffer er fluorpolymere og silikonelastomere.

Som vist av baier kurven (figur 11) kan en ved bruk av silikonelastomere og fluorpolymere oppnå overflatespenninger på  $20\text{--}30 \frac{mN}{m}$ . Dette gir minimal adhesjonsevne for klebrige proteiner. Som et resultat kan groe som har festet seg fjernes ved bruk av relativt lave mekaniske påkjenninger som lett vask eller å føre skipet opp i høye hastigheter (Kommeren, 2017, s. 8).

Både silikonelastomerbaserte- og fluorpolymerbaserte bunnstoffer er viktige i FR teknologien og vil derfor bli belyst under.

#### Silikonelastomerbasert bunnstoff

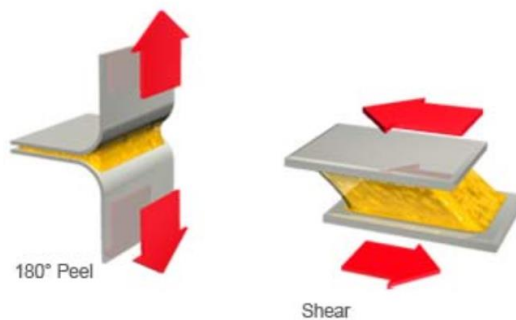
Utviklingen av silikonelastomere var stor allerede på 1970-tallet, men etter forbudet mot TBT ble materialet spesielt viktig og det har blitt stort fokus på utviklingen av teknologi på dette området. En elastomer er en polymer som har svært elastiske egenskaper ved romtemperatur. Forbindelsene finnes naturlig som eksempelvis gummi, eller kan fremstilles syntetisk som



silikon. Kombinasjonen av lav E-modul og overflateenergi gjør Silikonelastomere til et utstrakt materiale brukt i FR-bunnsføring (Kommeren, 2017, s. 8; Helseth, 2020).

I bunnstoffer av silikonelastomere det vanlig å tilsette hydrofobe væsker som mineraloljer, silikonoljer eller parafin fordi det øker motstanden mot adhesjon av biologisk materiale som grønnalger og rur. Resultatet hydrofobiske væsker gir på grønnalger og rur har derimot vist seg å være omvendt på bakterier og diatomer som adherer kraftig til hydrofobiske overflater (Kommeren, 2017, s. 8).

Silikonbaserte bunnstoffer påført med feil tykkelse kan føre til at groe løsner grunnet skjærkrefter i adhesjonslaget istedenfor å prelle av. Dette medfører større slitasje og kortere intervall mellom vedlikeholdsperioder (Brady, 2005, s. 79).



Figur 13: Illustrasjon av prelling(peel) og skjærkrefter (Shear). Gult prepresenterer adhesjonslaget mellom to overflater. (Lastet ned fra adhesivetest.com 04.12.2022)

### Fluorpolymerbasert bunnstoff

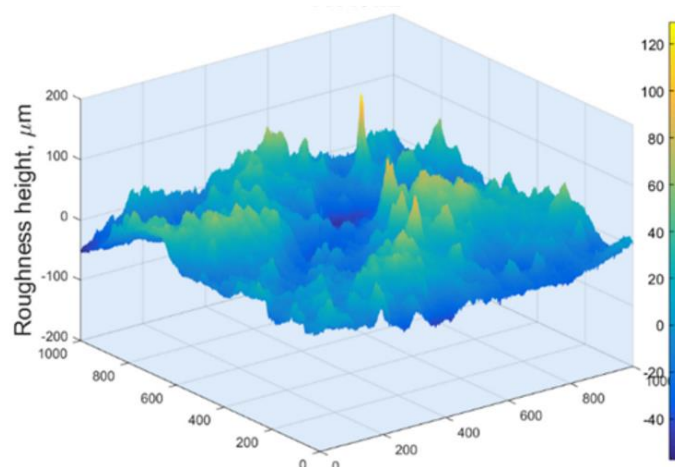
En polymer er en naturlig eller syntetisk kjemisk forbindelse bestående av en rekke veldig store molekyler kalt monomerer (Britannica, u.å.). Fluorpolymerer er en type polymerer bestående av sterke fluor-karbon-bindinger med svært ettertraktede kvaliteter innen flere typer industrier, som nonstick-egenskaper, høy temperaturløselighet og svært sterk korrosjonsmotstand. Fluorpolymeren polytetrafluoretylen (PFTE) kjent under merkenavnet Teflon er et eksempel (Britannica, u.å.).

Fluorpolymerer ble initielt vurdert som et alternativ for FR-bunnstoffer grunnet deres lave overflateenergi som er en stor medfaktor i forhindring av at marine arter får feste (Figur 11 og 12). I kombinasjon med den lave overflateenergien kan fluorpolymerer konstrueres for å frastøte marine organismer med en tettpakket overflate som er motstandsdyktig mot penetrering av marin adhesjon (Brady, 2005, s. 77-78).

Overflatetopografien til denne typen bunnstoffer er viktig for å oppnå effekt. Ved fraværende bruk av biocider er effektive FR-bunnstoffer avhengig av en veldig glatt overflate for å forhindre groe. Eksempelvis har PFTE en porøs overflate og er derfor lite egnet til bruk som bunnstoff fordi marin adhesjon etablerer seg i porene og skaper en sterk forrigling selv uten en kjemisk binding (Brady, 2005, s. 77-78).

FR-bunnstoffer har derfor generelt en veldig lav overflateruhet. Tester ved bruk av ruhetsmåleren *Thermimport Quality Control* (TQC), utført av Yeginbayeva & Atlar i henhold til  $R_{t50}$  standard, viser at ved tilstrekkelig kvalitetskontroll og korrekt arbeid kan en med noen fluorpolymerbaserte bunnstoffer oppnå en AHR-verdi på  $<75 \mu\text{m}$  (Yeginbayeva & Atlar, 2017, s. 1002).

I forbindelse med målingen til Yeginbayeva og Atlar ble det produsert et 3D-topografisk plott presist målt kontaktløst ved hjelp av laser-profilometer (Figur 14). Målingen er utført på fluorpolymerbasert FR bunnstoff av merket Intersleek 1100SR. Av laserprofileringen vises det en gjennomsnittlig utslag:  $R_a \approx 2 \mu\text{m}$  (Yeginbayeva & Atlar, 2017, s. 1007). Det bør bemerkes at høyeste utslag i plottet,  $\sim 200 \mu\text{m}$ , ikke er representativt for bunnstoffets  $R_{t50}$ -verdi på et reelt fartøy, da forsøket er utført i lab, med medfølgende avgresninger til tilstrekkelig målingsareal.



Figur 14: 3D-topografi av Foul release bunnstoffet Intersleek 1100SR målt ved bruk av UNISCAN OSP100A laser-profilometer. Forsøket er utført i lab, men simulert lav overflateruhet på grunningen før påføring av bunnstoff. Hentet fra: (Yejotginbayeva & Atlar, 2017, s.1007).

#### 2.6.4. Hydrofile bunnstoffer

Hydrofile bunnstoffer er bunnstoffer som absorberer vann ved at molekylet helt eller delvis binder seg til vann (Sandtorv, 2019). Det har lenge vært kjent av hydrofile overflater som polymerbørster og hydrogeleer kan forhindre adhesjon av klebrige proteiner (Kommeren, 2017, s. 8). Polymerbørster av poly(etylenglykol), poly(akrylsyre) eller polysakkarider har vist seg å være effektiv i bunnsmøring for å forhindre at proteiner får feste. Praktisk bruk er likevel begrenset da polymerbørster blir lett skadet og hver skade svekker bunnsmøringens virkning i sin helet.

Et mer praktisk stoff, med lik evne til motstand mot adhesjon av groe er hydrogeleer. Likt som med polymerbørster utgjør hydrogeleer en sterkt hydratisert overflate, men en lav E-modul øker motstanden mot adhesjon ytterligere som vist i figur 9, samt økt motstand mot mekanisk påkjenning (Kommeren, 2017, s. 8).

#### 2.6.5. Amfifile og omnifobiske bunnstoffer

Som belyst under «hydrofobiske bunnstoffer» og «hydrofile bunnstoffer» har ulike organismer forskjellige metoder for adhesjon, noe som gjør at verken hydrofobe eller hydrofile bunnstoffer effektivt kan fungere mot alle typer organismer som fester seg til skroget.

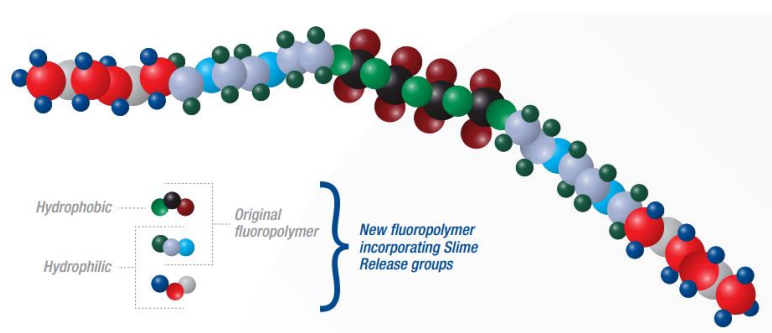
Dette har ført til utviklingen av amfifile og omnifobe bunnstoffer som i større grad er i stand til å virke mot et større mangfold av marine organismer (Kommeren, 2017, s. 10-11)

Amfifile bunnstoffer er et relativt nytt konsept, men flere studier har vist at denne typen bunnstoffer gir god effekt på både grønne alger og diatomer. Grunnen til dette er at amfifile bunnstoffer innehar både hydrofile og hydrofobe egenskaper.

Felles for de beste FR-bunnstoffene basert på silikonelastomerer og amfifile blokk-kopolymerer er utnyttelsen av en dynamisk overflatekomponent. Denne komponenten er en væske som migrerer ut fra bunnstoffet og danner et tynt dynamisk lag på overflaten.

Denne mekanismen kalt «slippery-infused porous surfaces (SLIPs) er å finne i naturen eksempelvis på kannebærer-planter. Ved forsøk på å fremstille slike overflater har resultatet ofte blitt omnifobe overflater. Omnifobe overflater frastøter både hydrofobe og hydrofile

væsker samtidig, men er ellers i stor grad lik amfifile bunnstoffer (Kommeren, 2017, s. 10-11).



Figur 15: Amfifilt fluoropolymer i Intersleek 1100SR (AkzoNobel, 2013) Lastet ned 07.12.2022

Illustrasjonen viser hvordan en amfifil polymer kan være oppbygd av en hydrofil og hydrofob del. Den hydrofile delen er effektiv for å forhindre etablering av slim på skroget og den hydrofobe, ikke vannløselige, delen forlenger smøringens levetid (AkzoNobel, 2013).

#### 2.6.6. Sammendrag av fouling release (FR) bunnstoffer

FR bunnstoffer baserer seg ikke på bruk av giftstoffer for å forhindre groe. De fleste typer har likevel biocider i malingen og skader kan derfor likevel medføre giftige utslipp. Denne typen bunnstoff baserer seg på overflatekjemi og en svært glatt overflate slik at groe løsner ved at skipet blir ført opp i høye hastigheter. Det kan derav oppnås mindre motstand på fartøyet enn ved bruk av AF bunnstoffer. Amfifile FR bunnstoffer er mest robuste og allsidige. Selv om dyrere og mer sårbare for skader enn AF bunnstoffer viser FR behov for mindre vedlikehold og bedre motstand mot groe.

Selv om nye typer amfifile bunnstoffer viser evne til å relativt lett fjerne slim som har etablert seg ved stilleliggende er det behov for vedlikehold ved kai i form av mekanisk rens.

#### 2.7. Korrigerende tiltak - Mekanisk rens av skrog

For å redusere tiden skroget bruker i tørrdokken er det ikke tilstrekkelig med kun bunnstoff. Det vil være områder på skroget som ikke er utsatt for de strømmingene som kreves for å hindre at det vokser groe, sjøkister er et eksempel på dette. Dersom skroget ligger stillestående over lengre tid vil det også oppstå et behov for vask. Det er derfor viktig å benytte mekanisk rens for å forhindre groe.

Etter samtaler med Sjøforsvaret har vi satt følgende kriterier for metode av skrogrensjøring

1. Operasjonstid og operasjonsmønsteret til fartøyet skal ikke svekkes.
2. Ved vask til kai skal det ikke havne avfallsstoffer i havnebassenget som et resultat av vasken.
3. Minimere risiko for skade på personell, anlegg og utstyr.
4. Løsningen skal kunne fjerne groe

### 2.7.1. Børster

Børster rengjør skroget, enten ved hjelp av roterende maskineri eller manuelt arbeid. Ulike børster benyttes med hensyn på typen begroing og typen materialet skroget er laget av (Changhui & Weicheng, 2020, s. 417). Børstene som er omtalt i denne oppgaven er hydraulisk drevne og basert på Armada Systems Inc (Systems, u.d.), Subsea Industries (Subsea) og Phosmarine Brush Kart (Kart, u.d.). Antall børster og størrelse tilpasses etter behov.

Type børste	Bruksområde	Skrog type
Polypropylen	Fjerne groe på skrog	Fiberglass, aluminium, stål og tre
Nylon	Gress og slim	Fiberglass, aluminium, stål og tre
Grit - Nylon Silicon Carbide	Gress og slim	Fiberglass, aluminium, stål og tre
Flat vaier stålbørste	kraftig vekst av rankefot, rørormer og slim	Stål
Rustfri stålvaier	Moderat vekst av rankefot, rørorm og slim	Stål og aluminium
Flat vaier med rankefot fjerner	kraftig vekst av rankefot, rørormer og slim	Stål

Tabell 4: Oversikt over hvilke børstetyper og bruksområdene deres (Changhui & Weicheng, 2020, s. 420).

De fleste børstevogner har ikke inkorporert muligheter for å håndtere avfallsstoffer, men noen produsenter har sagt seg villige til å supplere med det dersom det er tilstrekkelig etterspørsel fra markedet (Morrisey & Woods, 2015, s.10). Slitasjen fra rengjøring med børster er avhengig av både operatøren og bunnstoffet med tanke på hvilke innstillinger børstevogneren har (Holm, Haslbeck, & Horinek, 2003, s. 305 ). Etter rengjøring med børster

vil fortsatt en stor del av mikroorganismene være til stede på skroget fordi børster ikke klarer å fjerne encellede organismer og røttene til større alger. (Morrisey & Woods, 2015, s. 31).

### 2.7.2. Vann-jet

Vann-jet baserer seg på kraften fra vannstråler til å fjerne groe. Trykket på vannstrålen kan variere fra 50 til 1000 bar (Changhui & Weicheng, 2020, s. 418-419). Rengjøring med vann-jet av bunnstoff av typen AF og FR vil ikke føre til skader, men kan føre til et lavere ruhetstall enn ved påføring i tillegg vil det ikke føre til økt utslipp av biocider. Forsøk gjort i Saltholmen marina, Kattegat, Sverige viser at vann-jet effektivt fjerner groe, men det tar kort tid før groen er tilbake på prerengjøringstadiet (Oliveira & Granhag, 2020, s. 340). Hullwiper og Seabadger er *Remote Operated Vehicles (ROV)* som benytter seg av vann-jet og i tillegg har systemer for avfallshåndtering. (Changhui & Weicheng, 2020, s. 418-419.)

### 2.7.3. Laser og varme

Varme blir brukt i dag for å eliminere organismer i ballasttanker og kjølesystem (Changhui & Weicheng, 2020, s.422). Varme fjerner ikke groe, men baserer seg på å ta livet av den slik at de slipper av seg selv eller ført avgårde av strømmen. Ved å varme opp vannet til 70 grader og opprettholde temperaturen i 10 minutter dreper en sporofyten, selve planten med unntak av pollen og frø, til tang (Morrisey & Woods, 2015, s.20). Resultater viser at bruken av et rengjørings system basert på en autonom «varmtvannsboks» viser seg å ikke klare å dekke mer en 50% av skroget til et Australsk marineskip grunnet skrogformen (Morrisey & Woods, 2015, s. 20).

Laserrengjøringssystemer baserer seg på å fordampe groe ved hjelp av konsentrert høyenergilys. Ved å bruke en laser på 800 +/- 200 W som beveges med en hastighet på 40 mm/s vil en fjerne groe (Kostenko, Bykanova, & Tolstonogov, 2019, s. 4).

Operasjonstemperaturen for varmebaserte rengjøringsmetoder er i det øvre sjiktet for toleranse for de fleste selvpolerende bunnstoff, men ved en kort eksponeringstid vil effekten være reverserbar (Morrisey & Woods, 2015, s. 20).

### 2.7.4. Ultralyd

Ultralyd genererer lavfrekvente energipulser som igjen skaper små gassbobler grunnet undertrykk og deretter et overtrykk som får boblene til å implodere. Disse energipulsene kan også forårsake varme og trykk. Disse tre faktorene rengjør skroget og har i tillegg enven til å drepe rankefot-larver (Morrisey & Woods, 2015, s. 23; Changhui & Weicheng, 2020, s. 421). Ultralyd er i hovedsak beregnet på mindre områder eller fritidsbåter på grunn av det

begrensede virkeområdet. En kan enten montere transdusere permanent på innsiden av skroget, bruke ROV eller dykker med håndholdte apparat.

#### 2.7.5. Andre metoder

En type korrigerende tiltak mot etablering av groe er Innkapsling. Dette går ut på å forhindre groe sin tilgang på næring ved å pakke inn skroget i en membran som forhindrer tilgangen på nytt vann. For å hurtiggjøre prosessen blir ferskvann, biocider eller oksygendepriverende komponenter tilsatt det avlukkende innkapslede skroget (Morrisey & Woods, 2015, s. 24).

#### 2.7.6. Avfallshåndtering

For å håndtere avfallsstoffer i form av mulige fremmedarter som har satt seg på skroget mens skipet har vært i uthavn må en ha et tilstrekkelig filtreringssystem. For å effektivt kvitte seg med eksempelvis Didemnum benyttes en tretrinns filtrering som går fra 200  $\mu\text{m}$  til 50  $\mu\text{m}$  (Morrisey & Woods, 2015, s. 32).

#### 2.7.7. Utvalg av eksempler som finnes

Det finnes mange leverandører for skrogrens som tilbyr løsninger uten at skipet trenger å nytte tørrdokken. Løsningene presentert under er eksempler på hvordan de ulike metodene kan implementeres i systemer. Ultralyd, laser og innkapsling er ikke egnet for rengjøring av store skrog og blir derfor ikke tatt hensyn til videre.

##### ECOsubsea

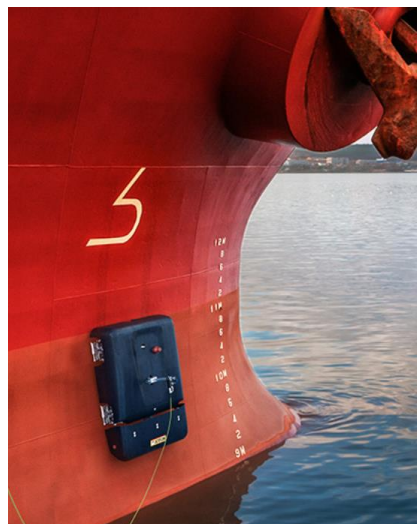
The collector fra ECOsubsea benytter seg av en vann-jett som rensemetode. Den styres fra land ved hjelp av 10 thrustere og 8 kameraer, den er elektrisk drevet og har et avfallshåndtering system designet for å fange opp groe. ECOsubsea sin collector vil kunne rengjøre opptil 3000  $\text{m}^2$  / time (Ecosubsea, u.d.). Både den britiske og franske marinen har tatt i bruk denne roboten. (Staff, 2022).



Figur 16: Bilde av "The Collector" fra ECOsubsea (hentet 10.12.2022 fra nettsiden til ECOsubsea)

#### Jotun Hullskater

Jotun HULLSKATER er en fjernstyrt robot som benytter seg av magnetiske hjul for å holde seg inntil skroget. For å vaske skroget benytter den seg av en roterende børste. (Semcon, u.d.)



Figur 17: Jotun Hullskater på skipsskrog. (Holm)

Selve roboten blir levert som en del av en pakke kalt Jotun hullskater solutions (HSS), den består av:

- Bunnstoff (seaquantum skate coating) som Jotun har lagd med spesifikt hensyn på å bli brukt i samarbeid med hullskater ROVen.
- En proaktiv overvåking av fartøyets skrog basert på GPS data.
- Inspeksjon og rengjøring av skrog med overnevnte ROV.

HULLSkater fjern opereres gjennom 4G nettverk av Jotun ved hjelp av 4 kameraer som også blir benyttet til å inspisere skroget. Den kan plasseres om bord fartøyet i en for eksempel en



konteiner og blir deployert av mannskapet når det trenges. En inspeksjon og påfølgende rengjøring vil ta 8-9 timer. Hullskater har per nå 02.12.2022 ingen muligheter for avfallshåndtering. (Jotun, u.d.)

#### Børstevogner

«Børstevogner» fra subsea industries er varierer i vekt og størrelse

MC131 har en roterende børste og er operert av dykker. Den veier 9 kg og har et børste diameter på 300 mm som gir den den teoretiske vaskeeffektiviteten på 300 m<sup>2</sup>/time. (Subsea)

MC212 har to roterende børser og er dykkeroperert. Den veier 23 kg og har en teoretisk vaskeeffekt på 450 m<sup>2</sup>/time. I tillegg har den et ledd slik at den kommer til i nisje områder. (Subsea)

MC313 har tre roterende børster og er operert av en dykker, men styrt med hjelp av thrustere. Den har en vaskeeffekt på opptil 1500m<sup>2</sup>/time og en størrelse på. (Subsea)

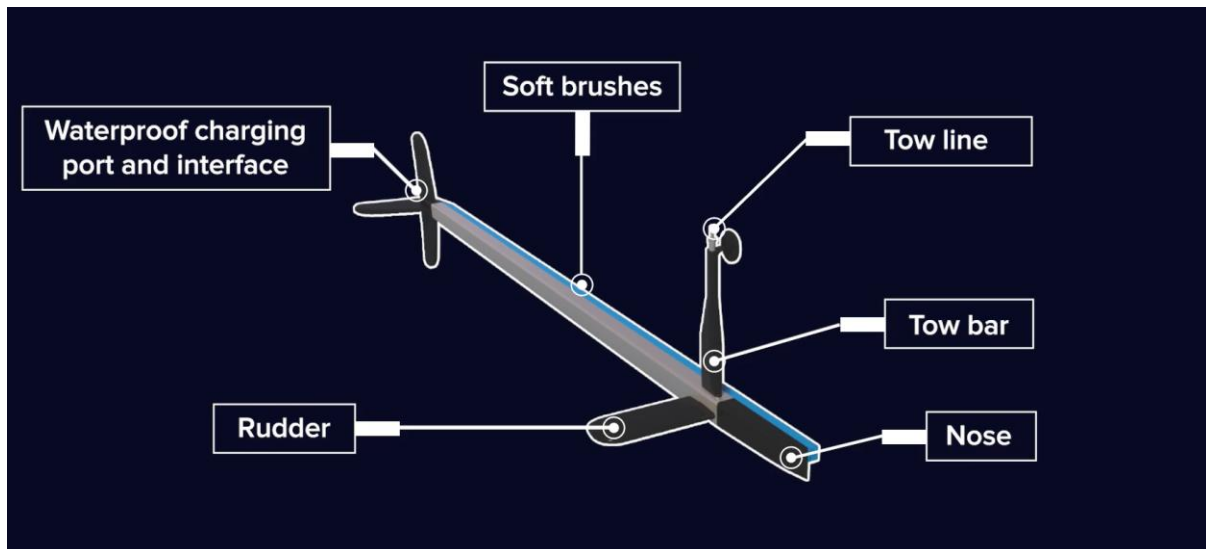


Figur 18 Et utvalg av dykkeropererte børstevogner fra Subsea industries med a) MC313 b) MC212 og c) MC111. De varierer i størrelse fra 300 mm til 1040 mm. (Subsea) lastet ned 02.12.2022

Det er som er felles for de fleste børste vogner og underkategorier er at de hydraulisk drevet (Morrisey & Woods, 2015, s. 9). Valgmulighetene levert av Subsea Industries trenger 140 bar levert av en landbasert pumpe.

#### Shipshave ITCH

Shipshave ITCH er en semiautonom vaskerobot som designet for å fjerne tidlige stadier av groe når skipet er i transitt. Hele systemet består av en elektrisk vinsj på maks 150 kg, et tau eller vaier og selve roboten som veier 5 kg. I tillegg har roboten et kamera og batteri innlemmet i halefinnen. (GL)



Figur 19 Bilde av Shipshave ITCH sine hovedkomponenter (Shipshave)

Vinsjen blir montert i baugen med strømforsyning så festes ITCH roboten og senkes ned i vannet. Når den treffer vannet vil finnene sørge for at den legger seg langs skroget, deretter vil vinsjen sørge for bevegelse langs skipet og finnene for vertikal bevegelse.

#### 2.7.8. Sammendrag av mekanisk rens

For å rengjøre skroget kan det nyttes:

- Børster
- Vann-jet
- Ultralyd
- Laser og varme
- Innkapsling

Av disse er vann-jet og børster de aktuelle med tanke på størrelsen på et fregattskrog. Ingen av de aktuelle metodene tar livet av groen, men vil kun fjerne den fra skroget. Eksempler på produkter som bruker børster er ShipShave, Hullskater og dykkeropererte børstevogner. Eksempel på produkt som nytter vann-jet er ECOsubsea.

### 3. Drøfting

#### 3.1. Intro

Det er en betydelig forskjell på vedlikehold av fartøysskrog i Sjøforsvaret og i sivil sektor. Det sivile markedet er i mye større grad økonomisk motivert og gjør regelmessige tiltak for å effektivisere skroget for å redusere drivstoffutgifter og bygge positivt omdømme i markedet. Vi ser ikke samme holdningen i marinen, men FMA har uttrykt et ønske om innspill for effektivisering av skroget, ikke fra et økonomisk perspektiv, men grunnet et klimaperspektiv. Som nevnt innledningsvis i oppgaven utfører ikke fregattvåpenet vask av skroget i særlig grad mellom tørrdokk-intervallene. Derfor får marine vekster utviklet seg i slik grad at tungt slim er etablert når rutinemessig dokking og vask blir utført. Vi anser derfor at det er et klart behov for å implementere rutiner og teknologi allerede nyttet i sivil sektor.

#### 3.2. Beregninger

Våre beregninger tar utgangspunkt i et slepetankforsøk. Slike ideelle forhold vil sjelden oppleves til sjøs, men skaper et godt grunnlag for kartlegge omfanget av groe. Ved å benytte MARINTEKs formfaktor formel vil vi ha en lavere formfaktor enn den man finner ved å slepe modellen. For de videre beregningene vil det kun påvirke  $C_F$  som igjen gjør at  $\Delta C_F$  vil utgjøre en lavere prosent andel. I sammenligningen med de tidligere forsøkene gjort på lignende skrog blir våre resultater ganske lave, som kan tyde på at omfanget av groe antageligvis er større enn tidligere antatt. Det er også verdt å nevne at de tidligere forsøkene ble gjennomført i farvann som potensielt inneholder andre marine mikroorganismer og temperaturer og derfor kan ha vært mer utsatt for groe. For å holde oss på et ugradert nivå har vi antatt  $P.C^2$  og hentet drivstofforbruket fra Caterpillar C280 16-sylinder. Dette gir kun et bilde på utslipp med den motoren. Når det gjelder utslipp fra BARZAN BRAVO motoren må beregningen gjøres med tilhørende spesifikke drivstofforbruk<sup>3</sup>.

#### 3.3. Forebyggende vedlikehold

Innledningsvis i kapittel 2.4 «Preventive tiltak – Bunnstoff» ble det satt følgende kriterier for valg av bunnstoff;

1. Forhindre spredning av fremmede arter.
2. Redusere veksten av groe i forhold til nåværende praksis.

---

<sup>2</sup> P.C er propulsjonskoeffisienten, det er samling av mekaniske virkningsgrader fra motor til og med propell

<sup>3</sup> Det spesifikke drivstofforbruk er hvor mange gram med drivstoff motoren bruker per kWh [g/kWh]

3. Minimere risikoen for utslipp av både direkte virkende og bioakkumulerende biocider.

Ønsket egenskap:

1. Tilfredsstillende presumptive miljøkrav.

For å avgrense drøftingen vil nevnte kriterier være grunnlag for denne oppgavens drøftinger av bunnstoffer.

### **1. Forhindring av fremmede arter.**

Introduksjonen av den japanske arten havnespy i Stavanger i 2020 med påfølgende spredning til bl.a. Askøy i Bergen innen 2022 er med stor sannsynlighet grunnet etablering på skipsskrog. Det er diskutert om arten har fått etablert seg på skroget fordi bunnstoffene ikke har tilstrekkelig effekt på denne organismen eller grunnet menneskelige feil som dårlig vedlikehold, skader på malingen eller feilaktig påføring av bunnstoffet. AF<sup>4</sup> bunnstoffer er markedsstandarden for forebygging av groe på skipsskroget. FR<sup>5</sup> bunnstoffer er relativt nytt på markedet og betraktelig mindre utbredt. Statistisk sett er det derfor større sannsynlighet for at spredningen av arter som havnespy kommer fra skip med AF-bunnstoffer. Mangel på forskning og marine organismers komplekse gifttoleranser og festemekanismer medfører uansett at ingen av bunnstoffene alene kan beskyldes for spredningen. Det kan tenkes at vask av skroget før avgang fra områder med påviste fremmedarter eller i åpent hav der organismene synker dypt nok til at trykket tar livet av dem er mer effektivt enn å fokusere på å bytte bunnstoffet.

### **2. Redusere veksten av groe i forhold til nåværende praksis.**

Etter samtaler med marinen og egne observasjoner av skroget til fregatten KNM Otto Sverdrup er det bekreftet at groe minimum bestående av tungt slim er tilstedeværende på fregattens skrog når skipet blir ført i dokk. Sammenligninger av våre beregninger fra forsøk i sjøkrigsskolens skipstank med tall for US Navys FFG-7 og DDG-51<sup>6</sup> er det trolig at tyngre groe i form av rankeføtter også er etablert. Samtaler med Odfjell tyder på at betydelig reduksjon av groe er oppnåelig for marinen ved endring av holdninger, praksis og teknologi.

---

<sup>4</sup> Anti Fouling er bunnstoffer som nytter kontrollert utslipp av giftstoffer (Biocider).

<sup>5</sup> Foul- Release bunnstoffer nytter stoffets overflate og skipets hastighet for å fjerne groe.

<sup>6</sup> FFG-7 og DDG-51 er amerikanske krigsskip nyttet for flere forsøk og beregninger fra diverse institusjoner.

Grunnen til at fregattene har groe i den grad de har henger mer sammen med mangelen på vask mellom dokking. Et godt bunnstoff må uansett kunne fungere best mulig under det operasjonsmønster fartøyet er ment for. Per dags dato nytter Nansen-klasse fregattene AF bunnstoffet Jotun SeaForce90. Dette er et selvpolerende kobberbasert bunnstoff. Hyppig rens av skroget kan derfor medføre så stor slitasje at større behov for dokking og ny smøring blir et resultat. Harde AF bunnstoffer kombinert med regelmessig vedlikehold kan være mer hensiktsmessig, da denne typen baserer seg på ekstern polering for å opprettholde effektivt utslipp av biocider. Giftene i AF bunnstoffer gjør det nødvendig med oppsamlingssystem av avfallsstoffene, eventuelt føre fartøyet i dokk.

FR bunnstoffer er ikke ment for rens. Slik fregattene driftes i dag kan det derfor tenkes at denne typen er mer gunstig. FR bunnstoffer har en overflate som gjør det så vanskelig for groe å få tak at høye vannstrømminger fører til at organismene faller av. Grunnet mangelen på biocider er denne typen bunnstoff mer påvirket av groe dersom skipet blir liggende i ro over lengre tid. Moderne typer slik som Intersleek 1100SR er amfifilt<sup>7</sup> og gir derfor egenskaper som gjør at også tungt slim kan fjernes fra skroget ved å føre det opp i høy hastighet. Dersom nok groe har etablert seg kan vask likevel være nødvendig også for FR bunnstoffer. Slike stoffer er derimot mindre tolerante for fysiske påkjenninger og vask kan derfor svekke stoffets effekt mot groe.

### **3. Minimere risikoen for utslipp av både direkte virkende og bioakkumulerende biocider.**

FR-bunnstoffer er i utgangspunktet biocidfrie, men kan inneholde bioakkumulerende og giftige stoffer uten at de har som formål å lekke ut i miljøet. Dersom Sjøforsvaret ønsker å fortsette med minimal vask mellom dokking kan derfor slike bunnstoffer være et alternativ. For ønsket reduksjon av groe og følgende utslipp av klimagasser bør uansett fartøyet vaskes oftere, og helt biocidfrie bunnstoffer er en fordel. Faren for skader medfører likevel nødvendighet av spesielle vaskeredskaper, og flere av disse har også mulighet for oppsamling av avfallsstoff.

Moderne AF-bunnstoffer inneholder fremdeles kobber som hovedinnhold. Kobber er et omdiskutert biocid. Forskning viser at stoffet raskt løser seg opp i vann, men ved dybder over 25 meter, løsning i form av malingsflak eller oppsamling på bunnen ved kaianlegg er det

---

<sup>7</sup> Amfifilt stoff er et stoff som har både vannavstøtende og vannabsorberende egenskaper.

betydelig lengre nedbrytingstid. AF bunnstoffer baserer seg uavhengig av typen på utslipp av giftstoffer. Også moderne biocider som SeaForce 90 inneholder stoffer som er opp til 400 ganger giftigere for arter utenfor målgruppen enn de artene stoffet faktisk er ment for. AF-bunnstoffer har vært nyttet så lenge at det kan tenkes utviklingen i noen grad har stagnert, og fortsatt utslipp av gift er uunngåelig ved bruk.

### **Ønsket egenskap: Tilfredsstillende presumtive miljøkrav.**

Militærfartøy er unntatt en rekke miljøkrav dersom det hemmer operativ evne. Et nytt syn på skadeomfang fra skipstrafikken kan likevel medføre endringer i nær fremtid.

Forbudet mot giftstoffet TBT i AF bunnstoff i 2008 med påfølgende forbud mot Irgarol 1051 og nå stedvis forbud mot kobber gir en pekepinn på fremtidige krav.

AF bunnstoffer er fremdeles svært avhengig av kobber og biocidfrie FR-bunnstoffer er per i dag eneste alternativ for helt biocidfritt preventivt tiltak mot groe. FR bunnstoffer kan også nå ruhet som er bare halvparten av det AF gir, noe som også minker utslipp av CO<sub>2</sub> og drivstoffkostnader.

### **3.4. Korrigerende tiltak – Mekanisk rens**

Sammenlignet med Sjøforsvaret utfører tankskipselskapet Odfjell regelmessig vedlikehold av bunnsmøringen ut over faste tørrdokkintervaller i form av både manuell og semi-autonom vask på fartøyet i havn og i transit. Ettersom bruken av de overnevnte eksemplene av vaskeroboter fører til at skrogets tilstand raskt er tilbake på pre-rengjøringsstadiet er det gunstig å vaske skroget månedlig dersom det ligger til kai. Et minimum krav til vask bør være ved ankomst, med tanke på fremmedarter og ved avgang for å redusere ruheten ved lengre opphold til i ro.

Innledningsvis i kapittel 2.7 ble følgende kriterier satt for metoder for skrogrengjøring

1. Operasjonstid og operasjonsmønsteret til fartøyet skal ikke svekkes.
2. Ved vask til kai skal det ikke havne avfallsstoffer i havnebassenget som et resultat av vasken.
3. Minimere risiko for skade på personell, anlegg og utstyr.
4. Løsningen skal kunne fjerne groe

For å avgrense drøftingen vil nevnte kriterier være grunnlag for denne oppgavens drøftinger av bunnstoffer.

### **1. Operasjonstid og operasjonsmønster til fartøyet skal ikke svekkes**

Sjøforsvaret har egen dokk for fregattene. Likevel er det svært tidskrevende å nytte denne så ofte som nødvendig for hensiktsmessig forhindring av groe. Slik bruk reduserer fartøyenes operasjonstid betydelig.

I utgangspunktet vil en 24 timers periode til kai være tilstrekkelig for rengjøring med alle de nevnte eksempler utenom Shipshave da den er avhenging av at fartøyet er i bevegelse.

Hullskater Solutions oppbevares i en konteiner, dette muliggjør oppbevaring på skip. Den skal, på grunn av magnethjulene, deployeres fra skrogsiden så den må være om bord skipet for at den skal kunne nyttes. Hullskater kan ikke nyttes i fart som begrenser bruken til når skipet er i ro. Ved å oppbevare en Hullskater om bord vil en kunne rengjøre skroget hvor som helst, men det kommer på bekostning av den endrede signaturen fartøyet vil ha hvis konteineren plasseres på dekk.

ECOsubseas avfallshåndteringsystem gjør at det er svært lite gunstig å plassere den om bord i et skip. ROVen deployeres fra kaien og på grunn av thrustere vil den kunne bevege seg fritt rundt skroget.

Børstevogner har fordelen at de er billige og kan opereres av fartøyets egne skipsdykkere uten spesiell opplæring. Bruken er begrenset til når skipet står stille og de mindre modellene, MC 212 og MC 111, kan lett låres ned i vannet av personer. Ved bruk av MC313 er det nødvendig med kran for å trygt få vognen opp og ned av vannet. MC313 er den som klarer å rengjøre den største flaten på kortest tid.

Shipshave baserer seg på at fartøyet skal være i bevegelse, dette medfører begrensinger på hastighet og manøvreringsevne. Ved fregattens transit-hastighet på 15 knop skal dette ikke være et problem, men ved en hurtig akselerasjon eller krapp manøvrering vil potensielt effekten av rengjøringen bli påvirket.

### **2. Ved vask til kai skal det ikke havne avfallsstoffer i havnebassenget.**

Hverken bruk av børster eller vann-jet som benyttes av eksemplene vil ta livet av groen. For å håndtere groe og biocider som er fjernet fra skroget må vasken gjennomføres et sted der groen ikke utgjør en trussel mot marint liv eller ved bruk av avfallshåndteringsystem.

Hullskater er en del av en pakkeløsning som også inneholder et eget bunnstoff, SeaQuantum, ved en kombinasjon av disse to vil det ikke være et ekstra utslipp av biocider. Ved bruk til kai vil det likevel havne avfallstoffer i form av marine fremmedarter i havnebassenget dersom de er til stede på skroget før vask. Fordelen med Hullskater er at den kan benyttes utenfor havnebassenget hvor groen som blir fjernet fra skroget vil synke ned på dypet, hvor de ikke utgjør noen trussel.

ECOsubsea har et avfallshåndteringssystem for å forhindre miljøutslipp under vask. Det er derfor ikke behov for å bytte til et spesifikt bunnstoff for å nytte denne løsningen. Ettersom den vil filtrere det som blir sugd opp før det blir pumpet ut i havnebassenget igjen. Dette muliggjør bruken av ECOsubsea til kai.

Ved bruk av børstevogner uten et avfallshåndteringssystem kan en ikke forhindre at det kommer både groe og biocider i havnebassenget. I utgangspunktet vil det ikke være noe problem å gjennomføre vask med børstevogner i områder der avfallstoffene ikke vil påvirke miljøet.

Shipshave er ikke avhengig av et eget bunnstoff, dette er fordi den ikke skal nyttes annet enn i åpent farvann der hverken biocider eller groe er en trussel for miljøet.

### **3. Minimere risiko for skade på personell, anlegg og utstyr.**

Hullskater og ECOsubsea benytter seg av ROV utstyrt med kamera som styres fra land av kompetent personell. Begge har muligheten til å gjennomføre en inspeksjon av skroget før eventuell vask. Ved å kunne gjennomføre en inspeksjon vil en kunne kartlegge problemområder for å optimalisere selve vaskeprosessen som igjen vil kunne føre til mindre slitasje på skrog.

Hullskater vil ikke påføre noe skader på kaianlegget ettersom bruken i hovedsak befinner seg utenfor havnebassenget. ECOsubsea har en relativt liten profil når den beveger seg langs skroget, det kan likevel oppstå et problem i form av slanger som er koblet til avfallshåndteringssystemet.

Ved bruken av børstevogner må det være en dykker i vannet, dette øker risikoen betraktelig for personskader. I tillegg vil feilbruk av børster som feil vinkling eller for mye trykk føre til skader på bunnstoffet. Utenom det vil risikoen for skader på kaianlegg være minimal ettersom det er beregnet for bruk i åpen sjø.



Shipshave er en semiautonom robot hvor monteringen av vinsjen blir gjort av mannskapet, ved ukorrekt montering kan konsekvensene være betydelige. Børsten er designet slik at den ikke skal påføre noe unødvendig slitasje på bunnstoffet, likevel er det finner som kan komme i kontakt med skroget og skade bunnstoffet.

#### **4. Løsningen skal kunne fjerne groe**

Hullskater med sine magnetiske hjul vil ha problemer med å traversere hindringer på skroget. Dette kombinert med den delvis innkapslede børsten vil medføre at den ikke kommer til på alle vedhengene som befinner seg på et fregattskrog. Groe vokser mest i vanngrensen grunnet tilgang på sollys. På disse områdene er det ingen vedheng, og den vil derfor likevel kunne fjerne det mest omfattende problemet.

ECOsubsea kan bevege seg fritt langs skroget takket være thrustere dette kombinert med vann-jet gjør at den burde komme til på både vedheng og skrog.

Børstevogner kommer i forskjellige størrelser og vil kunne tilpasses etter hva det er behov for. De vil kunne nå de fleste områder på skroget.

Shipshave sin plassering på baugen vil gjøre at den har problemer med å nå hele skroget, deler av baugen vil bli utelatt. Den begrensede mobiliteten kombinert med fregattskrogets vedheng gjør at roboten ikke når frem overalt, likevel vil de mest kritiske områdene bli rengjort.

#### 4. Konklusjon

Ved kontinuerlig vedlikehold av skroget antar vi at det arbeidet som må utføres i dokk vil bli betydelig redusert. Med mindre groe på skipet ser vi at maksfarten opprettholdes i større grad og at drivstofforbruket reduseres. Dette medfører igjen lengre intervaller mellom drivstoff-fyllinger, lavere drivstoffkostnader og mindre utslipp av klimagasser. For ett skrog i Nansen-klassen som følger en årlig seilingsplan på henholdsvis 100 døgn kan overforbruket av drivstoff gi en kostand på 2,8 millioner NOK, 430 tonn CO<sub>2</sub> og 148 timer redusert operasjonstid per år ved tungt slim.

Basert på ulikhetene mellom våre beregninger og resultater fra tidligere forsøk, er det vår anbefaling å gjennomføre fullskala forsøk før og etter rengjøring av fregattskrog av typen Nansen klasse for å kartlegge den faktiske påvirkningen groe har på akselkraften.

Av de mulige miljø- og økonomiske innsparinger belyst av denne bacheloroppgaven ser vi det som hensiktsmessig å endre den praksis marinen nytter i dag.

Selv dersom det blir gitt unntak for militære fartøy i de sannsynlig kommende innstramminger for bruk av biocider mener vi at marinen har et etisk ansvar for å fatte tiltak for å forhindre skader på marine organismer. Vi ser det derfor som fordelaktig å bytte til biocidfrie bunnstoffer av typen foul release. Selv om disse bunnstoffene er dyrere enn tradisjonelle AF-bunnstoffer ser vi overveiende gunstige årsaker til å bytte.

Moderne foul release-bunnstoffer er konstruert som vedlikeholdsfrie og fjerner effektivt groe av typen slim ved relativt lave hastigheter. Utfordringen oppstår når skipet ligger i ro over lengre perioder da slike bunnstoffer ikke lekker biocider og har derav ingen beskyttelse mot marin groe uten tilstrekkelige strømminger i vannet.

Ved bytte til FR-bunnstoffer anbefales amfifil teknologi. Dette fordi den hydrofobe delen forlenger stoffets levetid, mens den hydrofile delen er vist effektiv mot grønnalgene som utgjør slimet som er nevnt problematisk ved marinens nåværende praksis. FR-bunnstoffer har generelt en svært lav overflateruhet og kan derfor bidra til et utslipp av klimagasser som er mindre enn mulig for AF-bunnstoffer selv i perfekt stand.

Uavhengig av typen bunnstoff ser vi det som nødvendig å nytte rensing av skroget ved ankomst og avgang dersom det skal ligge over to uker til kai.

Grunnet Hullskater solutions sin overvåkning og fjernstyring fra ekstern part anser vi den ikke som gunstig å bruke på et militært fartøy med mindre det utarbeides en løsning uten

overvåkning og som muliggjør lokal styring. Magnethjulene gjør at den ikke kan benyttes på hverken korvettene eller minefarøyene.

Vi ser Shipshave løsningen som lite hensiktsmessig på grunn av behovet for at fartøyet er i bevegelse. Som nevnt vokser maritime organismer hovedsakelig på skroget når det ligger i ro. Shipshave er derfor ikke kapabel til å bekjempe groen ved lengre perioder ved kai.

Det ekstra faremomentet som er knyttet til bruken av dykker og børstevogner med tanke på skaden det kan påføre bunnstoffet fører til at et ikke er et gunstig valg.

Den beste kandidaten per dags dato er ECOsubsea. Dette fordi den kan operere langs fartøy uavhengig av materiale, den har et filtreringssystem som kan håndtere avfallstoffer og invasive arter. Noe som gir den muligheten til å benyttes til kai. I tillegg har bruken av vann-jet en polerende effekt på bunnstoff som gir bedre resultater med tanke på ruhetsmotstand.

Vann-jeten minimerer faren for skader på skroget og er derfor en god løsning å kombinere med amfifle FR bunnstoffer.

## 5. Referanser

- AkzoNobel (2017). *Safety Data Sheet: Intersleek 1100 SR* [Brosjyre]. International.
- AkzoNobel. (2013). *Intersleek 1100SR* [Brosjyre]. International.  
<https://marinecoatings.brand.akzonobel.com/m/72c7ba833d1aa850/original/Intersleek-1100SR-English.pdf>
- Armada systems. (u.d). Products. I Armada systems. Hentet 12. november fra  
<https://armadahull.com/all-products/>
- Brady, R. F. & Singer, I. L. (2000). Mechanical factors favoring release from fouling release coatings. *Biofouling The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research* 15(1-3)  
<https://doi.org/10.1080/08927010009386299>
- Brush Kart Phosmarine. (u.d). Underwater hull cleaning. I *Brush-kart*. Hentet 16. desember 2022 fra <https://www.brush-kart.com/eng/>
- Campos, B. G., Figueiredo, J., Perina, F., Abessa, D. M., Loureiro, S. & Martins, R. (2022). Occurrence, effects and environmental risk of antifouling biocides (EU PT21): Are marine ecosystems threatened? *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 52(18), <https://doi.org/10.1080/10643389.2021.1910003>
- Changhui, S., & Weicheng, C. (2020, Oktober 13). Reveiw of Underwater Ship Hull Cleaning Technologies. *Journal of Marine Science and Application (2020)*, Springer.
- DNV GL. (14. April 2020.). To whom it may concern. I *DNV GL*. Hentet 16. desember 2022 fra [shipshave-statement-from-dnv-gl.pdf \(theexplorer.no\)](https://www.dnv.com/shipshave-statement-from-dnv-gl.pdf)
- Ecosubsea. (u.d.). Hull Cleaning: Clean, caring, compliant. I *EcoSubsea*. Hentet 16. desember 2022 fra <https://ecosubsea.com/hull-cleaning-2/>
- Flemming, H., Murthy, P. S., Venkatesan, R. & Cooksey, K. E. (2008). *Marine and Industrial Biofouling* (2009). Springer.
- Forskrift om fremmede organismer. (2015) Forskrift om fremmede organismer (FOR-2015-06-19-716). Lovdata. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2015-06-19-716>
- Garlid, H. (2021, november 16). Storrenngjøring i shipping med ny oppfinnelse. I

- Innovasjonspark Stavanger*. Hentet 16. desember 2022 fra <https://innovasjonspark.no/index.php?p=aktuelt/storregj%C3%B8ring-i-shipping-med-ny-oppfinnelse>
- Gjerde, M. T. (24.05.2018) *Nye dieselmotorer for Nansenklasse fregatt: Hva er den beste kandidaten til å erstatte dagens motorer?* [Bacheloroppgave]. FHS Sjøkrigsskolen.
- Hempel. (2021). *Safety Data Sheet: Hempaspeed TF 77222* [Brosjyre]. Hempel.
- Holm, E. D. (2022, 21. januar). Ny teknologi rengjør skipsskrog og reduserer CO<sub>2</sub>-utslipp. *DNB nyheter*. Hentet fra: [Ny teknologi rengjør skipsskrog og reduserer CO<sub>2</sub>-utslipp - DNB Nyheter](#)
- Holm, E. R., Haslbeck, E. G. & Horinek, A. A. (2003) Evaluation of Brushes for Removal of Fouling from Fouling-release Surfaces, Using a Hydraulic Cleaning Device. *Biofouling The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research* 19(5) <https://doi.org/10.1080/0892701031000137512>
- HullWiper. (u.d) Why hullwiper. I *HullWiper*. Hentet 12. november fra <https://www.hullwiper.co/why-hullwiper>
- ITTC. (2017). *Resistance and Propulsion Test and Performance Prediction with Skin Frictional Drag Reduction Techniques*. ITTC. <https://www.ittc.info/media/9603/75-02-0203.pdf>
- Jotun (2021). *Safety Data Sheet: SeaQuantum Skate* [Brosjyre]. Jotun
- Jotun. (2022) *BÅTEN: Alt om båten, over og under vannlinjen*. [Brosjyre] Jotun.
- Jotun. (2022). *Sikkerhetsdatablad: SeaForce90* [Brosjyre]. Jotun.
- Jotun. (u.d). How the HullSkater works. I *Jotun*. Hentet 16. desember 2022 fra <https://www.jotun.com/br-en/industries/solutions-and-brands/hull-skating-solutions/resources/meet-the-hullskater>
- Jun, C. & Shing, W. (2010) *Biofouling: Types, Impact and Anti-fouling*. Nova Science Pub Inc.
- Kommeren, A. S. (2017). *Structured antifouling coatings for the marine environment*. [Doktorgradsavhandling]. Technische Universiteit Eindhoven.
- Kostenko, Bykanova, & Tolstonogov. (2019). Underwater Robotics Complex for Inspection

- and Laser Cleaning of Ships from Biofouling. *International Science and technology conference "earth science"*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/272/2/022103>
- Miljødirektoratet. (2022, 23. august) Havnespy (japansk sjøpung). I *Miljødirektoratet*. Hentet 28. november 2022 fra <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/arter-naturtyper/fremmede-arter/havnespy-japansk-sjopung/>
- Morrisey, D. & Woods, C. (2015). In-water cleaning technologies: *reveiw of information. Ministry of Primary Industries Technical Paper*. 2015(38)
- Naval News staff (2022). ECOsubsea's Hull-Cleaning Robot Used By The French Navy. *Navel News*. [ECOsubsea's hull-cleaning robot used by the French Navy - Naval News](https://www.navalnews.com/2022/08/11/eco-subsea-hull-cleaning-robot-used-by-the-french-navy/)
- Oliveira, D. R., & Granhag, L. (2020). Ship hull in-wawter cleaning and its effects on fouling-control coatings. *Biofouling The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research* 36(3). <https://doi.org/10.1080/08927014.2020.1762079>
- Osnes, A. (2021, 29. oktober). *Bunnstoff*. <https://snl.no/bunnstoff>
- Sandtorv, A. H. (2029, 10. mai). *Hydrofil*. [hydrofil – kjemi – Store norske leksikon \(snl.no\)](https://snl.no/hydrofil)
- Seabadger Hydro hull cleaning (u.d.). HHCLEANING. I *Seabadger Hydro Hull Cleaning*. hentet 16. Desember 2022 fra <https://www.hhcleaning.dk/>
- Semcon. (u.d.). New robotic technology for cleaning of ships. I *Semcon*. Hentet 16. Deseber 2022 fra <https://semcon.com/jotunhullskater/>
- Shipshave. (2022). Shipshave ITCH (3.5 min) [video] Vimeo. <https://vimeo.com/476202038>
- Shultz, M. P. (2007). Effects of coating roughness and biofouling on ship resistance and powering. *Biofouling The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research* 23(5). <https://doi.org/10.1080/08927010701461974>
- Shultz, M. P. Bendick, J. A., Holm, E. R. & Hertel, W. M. (2011). Economic impact of biofouling on a naval surface ship. *Biofouling The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research* 27(1). <https://doi.org/10.1080/08927014.2010.542809>
- Sjøfartsdirektoratet. (2016). Utslipp til sjø. I *Sjøfartsdirektoratet Norwegian Maritime Authority*. Hentet 2. desember 2022 fra <https://www.sdir.no/sjofart/fartoy/miljo/utslipp-fra-skip/utslipp-til-sjo/>
- Sjøfartsdirektoratet. (2022, 3. februar). Tiltak for å redusere risikoen for spredning av

havnespy. I *Sjøfartsdirektoratet Norwegian Maritime Authority*. Hentet 28. november 2022 fra [https://www.sdir.no/veiledninger/tiltak-for-a-redusere-risikoen-for-spredning-av-havnespy/#\\_ftn4](https://www.sdir.no/veiledninger/tiltak-for-a-redusere-risikoen-for-spredning-av-havnespy/#_ftn4)

Statsforvalteren i Vestland. (2021, 10. desember). Informasjonsmøte om havnespy/japansk sjøpung. I *Statsforvalteren i Vestland*. Hentet 28. november 2022 fra <https://www.statsforvalteren.no/vestland/kurs-og-konferansar/2022/01/informasjonsmote-om-havnespyjapansk-sjopung/>

Steen, S. (2007). *Motstand og propulsjon: propel- og foilteori*.

NTNU Institutt for marin teknikk.

Strand, G. & Kilhus, G. (2020). *Motstand og framdrift*. FHS Sjøkrigsskolen.

Subsea Industries (u.d). Underwater Cleaning Equipment.

I *Subsea Industries*. Hentet 16. desember fra

<https://subind.net/wp-content/uploads/2022/03/Cleaning-Equipment-2022.pdf>

TestResources, Inc (2004). Introduction to Adhesion and Peel or Peel Strength Testing. I *adhesivetest.com*. Hentet 4. desember 2022 fra [http://www.adhesivetest.com/peal\\_test.htm](http://www.adhesivetest.com/peal_test.htm)

The editors of Encyclopedia Britannica. (u.å) *Polymer*.

<https://www.britannica.com/science/polymer/Synthetic-polymers>

Yeginbayeva, I. A. & Atlar, M. (2018) An experimental investigation into the surface and hydrodynamic characteristics of marine coatings with mimicked hull roughness ranges. *Biofouling The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research* 34(9) <https://doi.org/10.1080/08927014.2018.1529760>

## **6. Appendix**

Vedlegg a – Excel fra slepetankforsøk

Vedlegg b – Beregnigner av drivstoff-forbruk og utslipp