



Miljøministeriet  
Miljøstyrelsen

# Fleksibel Miljøpram - for et renere hav

MUDP Rapport

Februar 2023

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Jens Walther

Hans Henrik Ammersbøll

Fotos:

Jens Walther/FLEX-FEB

ISBN: 978-87-7038-476-6

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse

# Indhold

<b>1.</b>	<b>Forord</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Sammenfatning</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>Summary</b>	<b>6</b>
<b>4.</b>	<b>Indledning</b>	<b>7</b>
<b>5.</b>	<b>Teorimodel</b>	<b>8</b>
<b>6.</b>	<b>Designkriterier</b>	<b>9</b>
6.1	Vægt	9
6.2	Materiale	9
6.3	Dimensioner	9
6.4	Udformning	9
6.5	Automatisering	9
<b>7.</b>	<b>Metodetilgang</b>	<b>10</b>
<b>8.</b>	<b>Designforløb</b>	<b>11</b>
<b>9.</b>	<b>Hydrofilt Filter</b>	<b>12</b>
<b>10.</b>	<b>Designvalidering</b>	<b>13</b>
<b>11.</b>	<b>Bælteskimmer</b>	<b>14</b>
<b>12.</b>	<b>Coating</b>	<b>15</b>
<b>13.</b>	<b>Bygning på Søby Værft</b>	<b>16</b>
13.1	Bygning af den fleksible miljøpram	16
13.2	Værftsprøver	17
<b>14.</b>	<b>Elektroniksystemer</b>	<b>19</b>
14.1	Batterisystem	19
14.2	Skimmerkontrol	19
<b>15.</b>	<b>Søprøver</b>	<b>21</b>
15.1	Indledende Søprøver	21
15.2	Afsluttende Søprøver	22
<b>16.</b>	<b>Konklusion</b>	<b>26</b>

# 1. Forord

Denne rapport er udarbejdet på baggrund af projektet "Fleksibel Miljøpram", der er gennemført med tilskud fra Miljøministeriet under MUDP programmet 2020.

Projektreference MST 2020 – 15392.

Projektgruppen har bestået af:

Jens Walther, FLEX-FEB ApS  
Erik Schmidt, FLEX-FEB ApS  
Hans Henrik Ammerbøll, Søby Værft A/S  
Kaj Jørgensen, Søby Værft A/S

Projektet er blevet gennemført i perioden 1. januar 2021 til 30. juni 2022.

Projektet har været påvirket af COVID-19, som har haft betydning for gennemførelse af møder og leverancer af komponenter fra Fjernøsten. Økonomisk har projektet været udfordret af eksploderende priser, navnlig på aluminium.

Disse faktorer har betydet, at enkelte dele af projektet har måttet udgå, men projektet er alligevel blevet gennemført indenfor den afsatte projektperiode, og formålet med projektet er opnået.

## 2. Sammenfatning

Projektet "Fleksibel Miljøpram", som er beskrevet i denne rapport, har omfattet udvikling, design og bygning af en fleksibel miljøpram i form af en fuld funktionel testplatform, der kan opsamle olie, tang, plastik og andet overfladeaffald til søs.

Projektets konklusioner er, at:

- a. En fuldt funktionel testplatform er blevet udviklet, designet, bygget og testet til søs.
- b. Den fleksible miljøpram kan opsamle olie (simuleret ved popcorn) til søs.
- c. Det vurderes, at den fleksible miljøpram også kan opsamle tang, plastic og andet overfladeaffald, men det har ikke været muligt at teste det under søprøverne.
- d. Testplatformen er et godt grundlag for fremstilling af en prototype, der kan kommercialiseres og markedsføres.

Der er parallelt hermed søgt patent på opfindelsen, og Patent- og Varemærkestyrelsen har meddelt patent på alle de fremsendte patentkrav.

# 3. Summary

The project "Flexible Environmental Barge", which is described in this report, has included the development, design, and construction of a flexible environmental barge in the form of a fully functional test platform which is able to collect oil, seaweed, plastic, and other surface waste at sea.

The project's conclusions are that:

- a. A fully functional test platform has been developed, designed, built, and tested at sea.
- b. The flexible environmental barge can collect oil (simulated by popcorn) at sea.
- c. It is considered that the flexible environmental barge also can collect seaweed, plastic, and other surface waste, but it has not been possible to test this during the sea trials.
- d. The test platform is a good basis for the production of a prototype that can be commercialized and marketed.

## 4. Indledning

I Danmark varetages havmiljøberedskabet af særlige miljøskibe (specialskibe), som ikke har andre opgaver. Samtidig har antallet af alvorlige forureningsulykker været faldende i en år-række. Specialskibe er dyre at anskaffe og holde i drift, og samtidig er personaleomkostningerne til at opretholde et højt beredskab med specialuddannet personale betydelige.

De danske havmiljøskibe er ca. 40 år gamle og både nedslidte og teknologisk forældede. Der har ikke været politisk vilje til at afsætte den nødvendige økonomi til anskaffelse af nye miljøskibe, da det ikke giver samfundsøkonomisk mening at betale milliardbeløb for at anskaffe og opretholde et beredskab, som kun sjældent bliver aktiveret.

Det er derfor tilkendegivet politisk, at der i stedet skal anskaffes patruljeskibe, som **også** kan løse havmiljøopgaver. Forudsætningen for at patruljeskibe, som typisk har en dybgang på 5 m, kan bekæmpe olieforurening på lægt vand er imidlertid, at de råder over nogle havmiljøkapaciteter, der kan indsættes **fra** patruljeskibet uden at være en integreret del **af** patruljeskibet.

Denne dybgangsproblematik kan løses med fleksible miljøpramme, som kan medtages om bord i disse nye patruljeskibe.

Fleksible miljøpramme har en dybgang på kun 60 cm, ligesom Beredskabsstyrelsens lægtvandsfartøjer, og med sådanne miljøpramme er det muligt på en helt ny måde, enkelt, effektivt og billigt at opsamle olieforurenede vand, filtrere det, lede det rene vand tilbage i havet og lagre den bortfiltrerede olie, til olien kan pumpes over i et tankanlæg og genanvendes.

FLEX-FEB beregninger viser, at hvis man sammenligner havmiljøskibe med fleksible miljøpramme, falder sammenligningen ud til fordel for fleksible miljøpramme med en faktor på mere end 400, når man under et ser på effektivitet, anskaffelsespris og driftsomkostninger.

Fleksible miljøpramme vil formentlig også kunne anvendes til at opsamle andet overfladeaffald så som tang, fedtemøg og plastik, så der også vil være alternative anvendelsesmuligheder for miljøprammene, mens de ligger i beredskab mhp. en olieforureningsulykke.

Ud over Danmark er jf. brancheorganisationen Naval Team Denmark igang med overvejelser om, hvordan man kan få et enkelt og effektivt havmiljøberedskab, der kan baseres på patruljeskibe i stedet for egentlige miljøskibe, så markedet for fleksible miljøpramme er betydeligt.

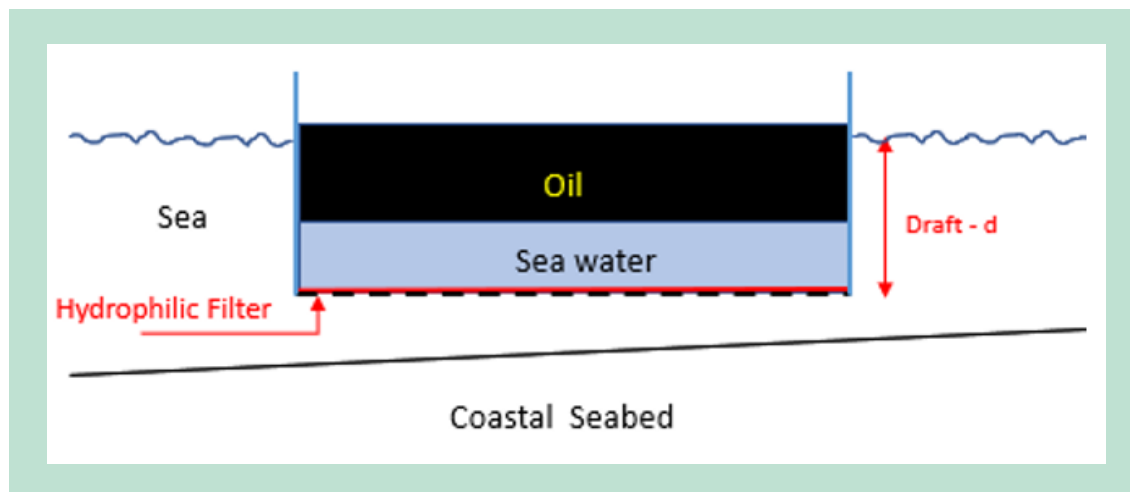
Da de fleksible miljøpramme formentlig kan anvendes til at opsamle andet overfladeaffald og anvendes som arbejdsplatforme, vil sådanne pramme måske også være af interesse for større havne, selv om havne ikke har en forpligtelse til at have egen bekæmpelseskapacitet på dette område.

De fleksible miljøpramme er enkle at håndtere og transportere, så der vil måske også være rederier og virksomheder i offshore sektoren, der kunne have interesse i miljøprammene.

Den fleksible miljøpram er en opfindelse, som FLEX-FEB parallelt hermed har søgt patent på. Patent- og Varemærkestyrelsen har imødekommet ansøgningen og meddelt patent på alle patentkravene.

## 5. Teorimodel

FIGUR 1 nedenfor illustrerer den teorimodel, der ligger til grund for den fleksible miljøpram.



**FIGUR 1.** Teorimodel til grund for den fleksible miljøpram.

Den fleksible miljøpram kan i én arbejdsgang opsamle olieblandet vand, filtrere det og lede det rensede vand tilbage i havet. Når miljøprammen er fyldt med olie, kan olien pumpes over i et tankanlæg og genanvendes.

En pram er grundlæggende blot en firkantet kasse. Det særlige ved den fleksible miljøpram er, at der er et hydrofilt filter i bunden af miljøprammen, som gør det muligt for vand at passere.

Når olieblandet vand løftes op i den fleksible miljøpram, vil olien lægge sig oven på vandet, da oliens massefylde er mindre end havvandets. Da miljøprammens indre står i forbindelse med det omkringliggende hav gennem det hydrofile filter, fungerer miljøpram og hav som to forbundne kar.

Væskestanden inde i miljøprammen vil være lidt højere end det omkringliggende hav, da der skal et større rumfang olie til for at opveje den fortrængte vandmængde.

I takt med, at der fyldes olieblandet vand op i miljøprammen, vil vandet inde i prammen blive trykket ud gennem det hydrofile filter i bunden. Det betyder i praksis, at vandet inde i miljøprammen bliver erstattet med olie. Den proces kan fortsætte, indtil den fleksible miljøpram er fyldt med olie, og processen sker vel at mærke uden miljøprammens dybgang øges.

Som det ses, betyder denne teknik, at den fleksible miljøpram har en lastekapacitet, der udnyttes 100 % uden en dybgangsførøgelse, og det gør miljøprammen særlig anvendelig på lægt vand tæt på kysten.



## 6. Designkriterier

Der blev fastlagt en række designkriterier for den fleksible miljøpram, inden det egentlige udviklingsarbejde blev påbegyndt. Helt overordnet har det været rammesættende for designarbejdet, at der skulle findes enkle og effektive, men alligevel billige løsninger.

De væsentligste kriterier med rationale er kort beskrevet nedenfor.

### 6.1 Vægt

Hurtig indsættelse er væsentlig for et godt beredskab. Det var derfor et designkriterie, at miljøprammen ikke måtte veje mere end ca. 1.000 kg, så den kan slænges med helikopter og hurtigt løftes til områder, der er øde og dårligt logistisk udbygget.

Vægt og økonomimæssige betragtninger betød, at det blev besluttet, at de anvendte pladetykkelser ikke skulle være større end absolut nødvendigt ud fra den devise, at det er lettere at styrke en konstruktion, hvis det er nødvendigt, end det er at svække den på forsvarlig vis.

### 6.2 Materiale

Vægtkriteriet indikerede, at miljøprammen skulle fremstilles af kulfiber kompositmateriale eller aluminium. Valget faldt på aluminium, da det er et godt genbrugsmateriale og relativt let at arbejde med, mens der er miljømæssige udfordringer med at bortskaffe kompositaffald. Kulfiber komposit er også et dyrere materiale, og det er vanskeligere at reparere skader på kompositmateriale eller bearbejde det, som der måtte forventes at være behov for i udviklingsarbejdet med testplatformen.

### 6.3 Dimensioner

En pram er grundlæggende en firkantet kasse. Logistiske hensyn betød, at miljøprammens footprint blev fastlagt til at være identisk med en 20' ISO container. Det blev vurderet, at miljøprammens højde skulle være ca. 100 cm, så dimensionen ville blive ca. 606x244x100 cm (LxBxH).

### 6.4 Udformning

Miljøprammen skal kunne operere tæt under kysten på læge vanddybder, og den skal kunne arbejde sammen med Beredskabsstyrelsens (BRS) lægtvandsfartøjer. Det blev derfor besluttet, at den fleksible miljøpram skulle have samme dybgang som BRS lægtvandsfartøjer, i.e. 60 cm, og et fribord på ca. 40 cm.

For at sikre fuldstændig dimensionsmæssig kompatibilitet med 20' containerformatet blev det besluttet, at fleksible miljøpramme skulle være indvendigt stabelbare, så et antal miljøpramme på en transportramme fik præcis samme dimension som en 20' container, i.e. 606x244x259 cm.

Af logistiske hensyn blev det ligeledes besluttet, at der skulle være corner castings i hvert hjørne af den fleksible miljøpram og i bunden af transportrammen.

### 6.5 Automatisering

Arbejds miljø- og driftsmæssige forhold indikerede, at den fleksible miljøpram skulle kunne indsættes med en meget lille besætning og helst ubemandet. Det blev derfor besluttet, at opsamlings- og sensorsystemer skulle have elektrisk kraftforsyning, som skulle være batteridrevet.

## 7. Metodetilgang

Udviklingsarbejdet blev indledt med en FLEX-FEB opgaveanalyse for at identificere og se-kventere projektets delopgaver. Denne proces resulterede i identifikation af 20 forskellige del-opgaver, som hver især blev analyseret for at identificere mulige løsninger på de forskellige opgaver.

Analysen af hver delopgave blev beskrevet i et notat, som mundede ud i FLEX-FEB oplæg til løsningsmodel.

De 20 notater blev behandlet på en workshop på Søby Værft på Ærø sammen med FLEX-FEB samarbejdspartner Søby Værft A/S. I workshoppen deltog også den designvirksomhed, som skulle arbejde med at omsætte enkle tegninger og analysenotater til et udkast til 3D designskitser, som der kunne arbejdes videre med mhp. et godt, industrielt design.

I processen var der fokus på enkelhed for at optimere de kommercielle og betjeningsmæssige aspekter. De identificerede udfordringer blev behandlet i særskilte arbejdsplaner, hvoraf de væsentligste er beskrevet efterfølgende.



**FIGUR 2.** Workshop på Søby Værft – Februar 2021.

## 8. Designforløb

Med udgangspunkt i det gennemførte udviklingsstudie blev der gennemført et intenst designforløb, hvor FLEX-FEB industridesigner udarbejdede et antal 3D-modeller efter anvisning og i tæt dialog med FLEX-FEB og Søby Værft.

COVID-19 begrænsninger betød, at designforløbet blev gennemført med kun et fysisk møde på Søby Værft mellem Søby Værft og FLEX-FEB. Ellers blev den nødvendige dialog i designforløbet gennemført pr. telefon, mail og ved en del virtuelle Teamsmøder.

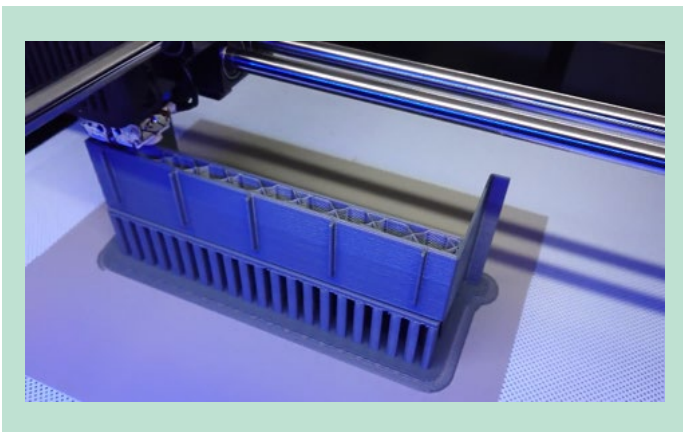
I designforløbet har der været lagt stor vægt på produktionsmæssige forhold for at søge at minimere omkostninger til fremstilling af prammen. Det betyder f.eks., at prammen i overvejende grad er opbygget af rektangulære flader, der er bukket i rette vinkler. Det betyder også, at toppen af sidepontonerne efter input fra Søby Værft blev sænket 20 mm for at lette svejsearbejdet.

I forhold til udviklingsstudiet blev det i designforløbet besluttet, at prammens sider skulle være lodrette i stedet for skråt indfaldende fra de langsgående pontoner til bundpladen. Det gav mulighed for, at skvalpeskotterne også kunne være rektangulære og fastgøres på prammens sider i stedet for på bundpladen.

I designforløbet blev det også klart, at prammens anvendelighed og fleksibilitet ville øges, hvis toppen kunne lukkes med alu-dæksplader i stedet for blot en presenning. Dette ville øge mulighederne for alternativ anvendelse af prammen som arbejdsplatform.

Beslutningen om, at prammen ved konstruktionsvandlinjen med en dybgang på 60 cm skulle kunne bære et komplet sæt dæksplader af aluminium, betød en højere dødvægt end oprindeligt forudset, hvorfor der også blev behov for at øge opdriften. Den ekstra opdrift blev tilvejebragt ved at lave opdriftsrum i endepladerne og i en stor del af bunden, som så blev en dobbeltbund. Dette betød, at kun den centrale del af prambunden blev en hulbund, hvor filteret skulle passes ind. Det lagde en dimensionsmæssig begrænsning på filteret.

Designarbejdet vedrørende selve miljøprammen blev afsluttet med en færdig 3D-model i form af CAD-filer og to 1:10 skalamodeller, der blev 3D-printet. På baggrund af designarbejdet kunne der udarbejdes produktionstegninger og skære- og bukkefiler til CNC-bearbejdning af aluminiumsplader.



**FIGUR 3.** 1:10 Skalamodel 3D-printes – April 2021.

## 9. Hydrofilt Filter

Filteret i bunden af den fleksible miljøpram skal være hydrofilt (vand elskende) og ideelt set lipofobt (fedtopløseligt og vandskyende), så vandgennemstrømning er mulig, mens olie og fedtstoffer afvises. Samtidig skal filteret fungere efter gravitationsprincippet (passiv filtrering).

Filterkapaciteten skulle være betydelig for at kunne håndtere det vandflow, der blev genereret af den skimmer, der løfter olie/vand blandingen op i den fleksible miljøpram, og samtidig var det af logistiske og vedligeholdelsesmæssige årsager ønskeligt, at filterarealet maksimalt var på ca. 1 m<sup>2</sup>.

Indledningsvis skulle det afklares, om der var kommercielt tilgængelige filtre, der kunne anvendes. For at afklare dette blev der i samarbejde med Dansk Hydraulisk Institut (DHI) gennemført et studie og en markedscreening, og DHI var i processen i dialog med en del relevante, industrielle kontakter.

Det viste sig, at der ikke var nogle kommercielt tilgængelige filtre, der umiddelbart kunne anvendes, og det blev vurderet som økonomisk ufordelagtigt at iværksætte fremstilling af filtre, der både var hydrofile og lipofobe.

DHI studie havde imidlertid også identificeret nogle syntetiske tekstiler, der var hydrofile, og som ville kunne anvendes til fremstilling af filtre. Disse tekstiler var ikke kun hydrofile; de var også lipofile, så de opslugede olie, men molekylestrukturen tillod ikke, at oliedråber passede gennem materialet, medmindre det var i f.m. en trykpåvirkning. Det blev derfor besluttet at anvende syntetiske hydrofile tekstiler som filtermateriale til design og fremstilling af filterelementer.



**FIGUR 4.** Færdige filterelementer – August 2021.

Filterelementerne blev designet, så overfladearealet blev maksimeret, og så elementerne kan udskiftes, når den fleksible miljøpram ligger i vandet, hvis filtermaterialet ved et uheld bliver mættet med olie.

# 10. Designvalidering

Det var væsentligt at få vurderet designet, inden der blev udskåret plader og iværksat bygning af testplatformen på Søby Værft. Derfor blev der gennemført en designvalidering, dels som enkle forsøg med den 3D-printede 1:10 skalamodel og dels i form af en computersimulering i form af en såkaldt CFD-analyse, der tog udgangspunkt i miljøprammens CAD-filer.

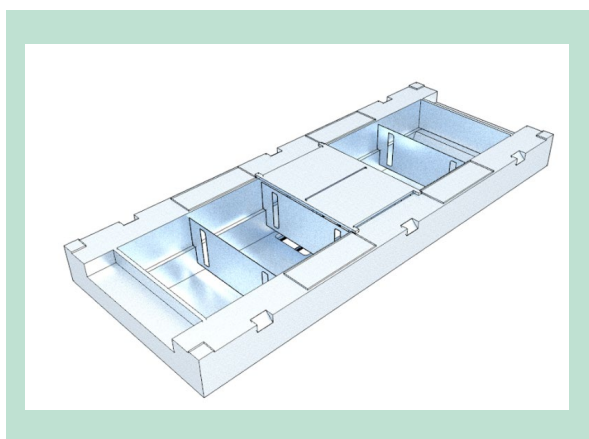
Forsøgene med skalamodellen havde fokus på at vurdere, om designet af skvalpeskotterne var hensigtsmæssigt. Det er FLEX-FEB vurdering, at det er tilfældet. Bedømt på visuelle observationer tillader de lodrette udfræsninger i skotterne, at olien tilstrækkeligt frit kan bevæge sig fra skimmer- til motorende uanset, hvor meget olie, der er skimmet/pumpet op i prammen. Tilsvarende sikrer skalpeskotternes udformning mod bunden en fri bevægelighed af vand/olie lige over prambunden i hele prammens længderetning.

FLEX-FEB havde en længere dialog med Force Technology (GTS-institut) om at gennemføre en CFD-analyse (Computational Fluid Dynamics). Det modtagne oplæg var imidlertid meget ambitiøst og forudsatte, at FLEX-FEB skulle levere en række data, som ikke var umiddelbart tilgængelige. I stedet blev der indgået en aftale med konsulentfirmaet Aerotak, som gennemførte CFD-analysen på meget tilfredsstillende vis.

Projektøkonomien rakte kun til at få gennemført én simulation. FLEX-FEB valgte en bølgehøjde på 0,5 m med søen ind ret for med en strømningshastighed på én knob. Den kondition blev valgt, da det umiddelbart blev vurderet til at være marginalkonditionen for indsættelse af den fleksible miljøpram.

CFD-analysen viste, at den fleksible miljøpram bjærgede sig fint, men også at bølger begyndte at skylle ind over prammen, og at bølger formentlig vil bevæge sig op over de læsehuller, der er i batterikasserne. Designet blev derfor ændret, så læsehullerne blev lukket for at forhindre, at der kan trænge vand ind i batterikasserne via læsehullerne.

I praksis er overskyl nok ikke et problem. Prammen er designet med henblik på indsættelse i lægtvandszonen, hvor den signifikante bølgehøjde er under 0,5 m langs kysterne i de indre danske farvande. Hertil kommer, at vandoverskyl vil sive ned gennem prammen og blive ført tilbage til havet. Det vigtige er at forhindre, at olien øverst i prammen skylles tilbage i havet, og dette forhindrer de designede dæksplader.



**FIGUR 5.** Den anvendte CFD-model – Juni 2021

Dette [videoklip](#) viser simuleringen af bølgesystemer omkring den fleksible miljøpram.

# 11. Bælteskimmer

Der skal anvendes en såkaldt bælteskimmer (endeløst transportbånd) til at løfte olie/vand op i den fleksible miljøpram. Der er mange COTS bælteskimmere, men en markedsscreening identificerede ikke nogen, der umiddelbart kunne anvendes eller blot krævede en mindre justering.

Kravene til bælteskimmeren var en vægt på maksimalt 100 kg og bestemte fysiske dimensioner, så skimmeren kan ligge på bunden af miljøprammen under transport. Samtidig var det et krav, at bælteskimmeren skulle være elektrisk drevet.

Der blev derfor iværksat udvikling, design og fremstilling af en bælteskimmer efter FLEX-FEB specifikationer. Det blev en omfattende og bekostelig arbejdsopgave og en udfordring for såvel FLEX-FEB som den valgte underleverandør, som har meget stor ekspertise i fremstilling af skimmere og transportbånd, og resultatet var først tilfredsstillende efter flere designmæssige tilbageløb.

Der er en tommelfingerregel, der siger, at en bælteskimmer skal være mindst 3,5 gange så lang, som den er bred, for at sikre den nødvendige båndstabilitet, men på det punkt måtte der gås på kompromis, da faktoren endte med at blive 2,9.

Med en vægt på 100 kg vejer skimmeren, der er fremstillet i aluminium, under 1/3 af, hvad en tilsvarende COTS-skimmer i rustfrit stål ville veje. Skimmeren er forsynet med opdriftslegemer, så den kan flyde og ikke mistes, hvis den tabes fra den fleksible miljøpram.

Skimmeren er blevet testet både i et særligt testkar og i f.m. søprøverne, og det er vurderingen, at det er lykkedes at udvikle, designe og fremstille en god bælteskimmer, der opfylder designkravene. Skimmeren fungerer tilfredsstillende ved fuld motorhastighed i et testmiljø, hvor der leveres en betydelig mængde olie/vand op i prammen. I f.m. søprøverne opsamlede skimmeren popcorn, der simulerede olie. Der var ikke mulighed for at teste opsamling af tang og/eller plastikemner, så det udestår, og det er muligt, at det bliver nødvendigt at udvikle særlige skimmerbånd til disse formål.



**FIGUR 6.** Test af bælteskimmer hos leverandøren – Oktober 2021.

## 12. Coating

Som tidligere anført blev det besluttet at fremstille testplatformen i aluminium. Med den beslutning var der ikke behov for at overfladebehandle miljøprammen for at forhindre korrosion. FLEX-FEB besluttede imidlertid at fastholde den planlagte arbejdsplan vedrørende coating, da det måske kunne være hensigtsmæssigt at coate miljøprammen af rengørings- og vedligeholdelsesmæssige grunde.

På den baggrund blev det besluttet i samarbejde med Teknologisk Institut i Aarhus at gennemføre en markedsafklaring og et testforløb af mulige coatings til pram og skimmer.

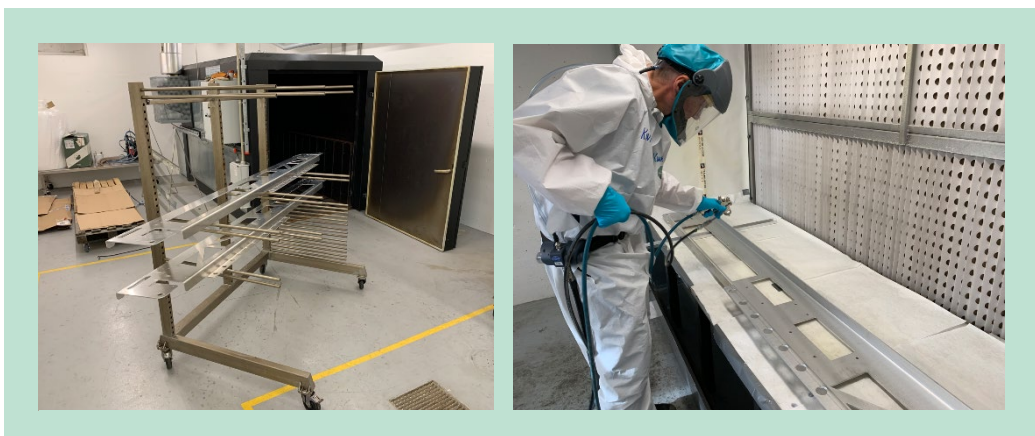
To coatings blev udvalgt, og der blev gennemført test med kuponer, der inden testen var blevet sandblæst på Søby Værft. Herefter blev en coating udvalgt og påført testkar og miljøprammens indre på Søby Værft mhp. test i et saltvands- og oliemiljø.

Teknologisk Institut i Aarhus behersker en unik teknik, hvor det er muligt keramisk at coate aluminiumsemner, som har et smeltepunkt på 660 °C. Med sprayudstyr behandles aluminiumsemnerne med en såkaldt sol-gel overfladebehandling, hvorefter coatingen, ved en relativ lav temperatur på 185 °C, afhærdes i en ovn. Konventionelle glaskeramiske overflader sintres ellers ofte ved meget højere temperaturer - ofte over 900 °C.

Den glaskeramiske coating er udviklet af Teknologisk Institut til forhindring af tilsmudsning af overflader i kontakt med råolie. Ved hjælp af ikke fluor-baserede additiver afvises råolie effektivt på de coatede overflader.

Der er en fysisk begrænsning på denne proces, da den keramiske ovn maksimalt kan rumme emner, der er 3000 mm lange. Det blev besluttet at coate skimmerens vanger keramisk, hvorfor skimmerlængden blev reduceret til 2900 mm.

Efterfølgende test med den keramisk coated skimmer, det coated testkar og olie har godtgjort, at både skimmer og pram kan coates, så rengøring lettes betydeligt. Keramisk coating er dog relativt omkostningstungt, så det vil give mening, at en potentiel kunde selv afgør, om man vil coate skimmer og/eller pram for at lette rengøring.



**FIGUR 7.** Keramisk Coating – Teknologisk Institut – Oktober 2021.

# 13. Bygning på Søby Værft

Projektets vigtigste og mest omfattende arbejdsopgave var bygningen af den fleksible miljøpram på Søby Værft.

Inden bygningen kunne påbegyndes, skulle alle komponenter fremskaffes, og det var en udfordring pga. COVID-19, som i voldsom grad påvirkede logistikket. Batterileverancen fra Fjernøsten var stærkt forsinket, men det lykkedes akkurat at få fremskaffet de nødvendige komponenter, så bygningen kunne påbegyndes som oprindeligt planlagt ved udarbejdelse af projektplanen.

Bygningen af miljøprammen fandt sted i november-december måned 2021, og der blev gennemført værftsprøver i februar måned 2022.

## 13.1 Bygning af den fleksible miljøpram

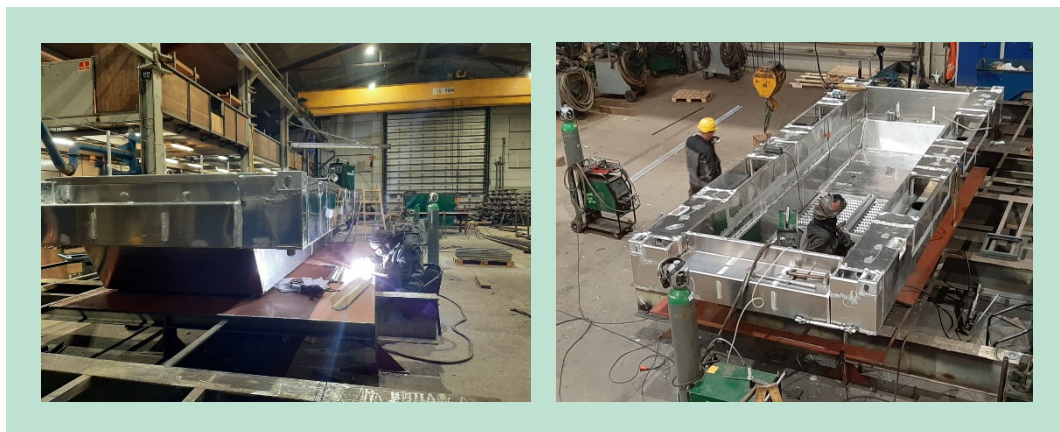
Søby Værft var ansvarlig for gennemførelse af denne arbejdsopgave, mens FLEX-FEB's rolle begrænsede sig til at føre byggetilsyn, dokumentere byggeriet og være til rådighed for værftet, for at afklare evt. tvivlsspørgsmål af tegnings- og designmæssig karakter.

Som anført i pkt. 6.1, var det et designmæssigt valg, at pladetykkelser ikke skulle være større end absolut nødvendigt. Det er vanskeligt at svejse i tynde aluminiumsplader, da pladerne krymper en del, når de bliver varmet op ved svejsningen. Samtidig var det et krav, at testplatformen skulle overholde standard 20' containerdimensioner, jf. pkt. 6.3, så der var tale om en læringsproces. I enkelte tilfælde var det nødvendigt at foretage tilpasninger på værftet, fordi de designmæssige tolerancer var for små, men de små problemer blev løst løbende af Søby Værft, så miljøprammen kunne færdigbygges som planlagt med overholdelse af de givne dimensioner.

Der blev i f.m. bygningen kun konstateret én - ubetydelig - tegningsmæssig fejl.

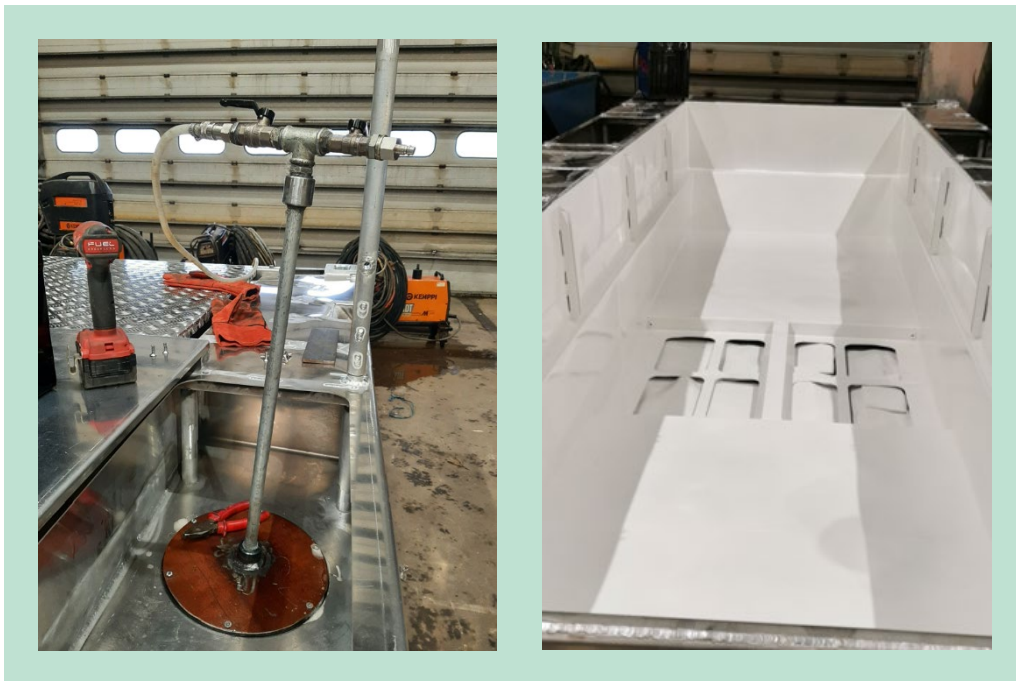
I værftsperioden udførte Søby Skibselektro kabeltræk og de elektriske installationsarbejder, monterede frekvensregulator til skimmer, ladekabler til batterier, invertere, mv., så alle elektriske installationsarbejder var færdige inden værftsprøverne i uge 9-10/2022.

Inden værftsprøverne blev den fleksible miljøpram coated indvendig, jf. pkt. 12.



FIGUR 8. Opbygning og svejsning af den fleksible miljøpram – Søby Værft – November 2021.





**FIGUR 9.** Trykprøvning af vandtæt sektion (venstre). Miljøpram – Coated indvendig (højre).

## 13.2 Værftsprøver

I f.m. værftsprøverne blev der gennemført en supplerende test af skimmeren og filterkapacitet i det særligt fremstillede testkar. Det konstateredes, at filterkapaciteten er rigelig til at filtrere den maksimale mængde olie/vand, som skimmeren kan levere op i prammen. Skimmeren transporterer fint olie/vand op i karret, men det vurderedes, at der var behov for at optimere skimmerens 'ansugning'. Det blev derfor besluttet at designe og fremstille et 'boblefang' for at flytte luftbobler væk fra skimmerens nederste del.

Da en kran løftede skimmeren på plads på miljøprammen og efterfølgende løftede pram med skimmer ned i dokken, var det muligt med dynamometer at veje såvel skimmer som komplet pram. Skimmeren vejede 100 kg, som den jf. pkt. 11 var designet til, og den fleksible miljøpram vejede 1.000 kg, hvilket var i overensstemmelse med den beregnede vægt, som udledt af 3D-modellen.

Miljøprammen blev sat i vandet i Dok 1 på Søby Værft. Dokken blev fyldt med 1 m vand, så det var muligt at gå på dokbunden og gennemføre de forskellige tests.

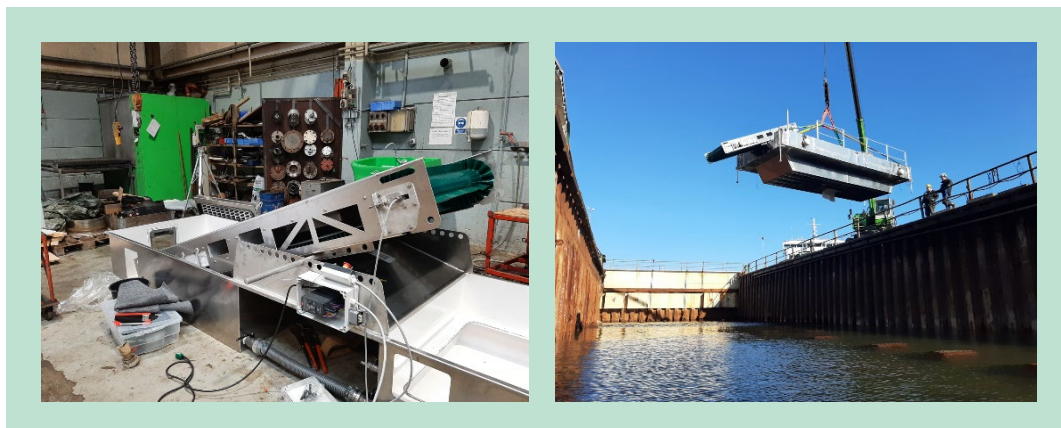
For at afbalancere skimmervægten var de fire batterier samlet i de to batterirum modsat skimmeren, og det viste sig, at den balance var perfekt. Miljøprammen lå med fuldstændig neutralt trim, så der var ikke behov for at anvende ballast for at trimme den.

Miljøprammens konstruktionsvandlinje, jf. pkt. 6.3, er 60 cm, men der er indbygget ekstra opdrift i bund- og stævn/hæk konstruktion, da al erfaring viser, at der opstår ønsker om ekstra dele, der vil tynde prammen.

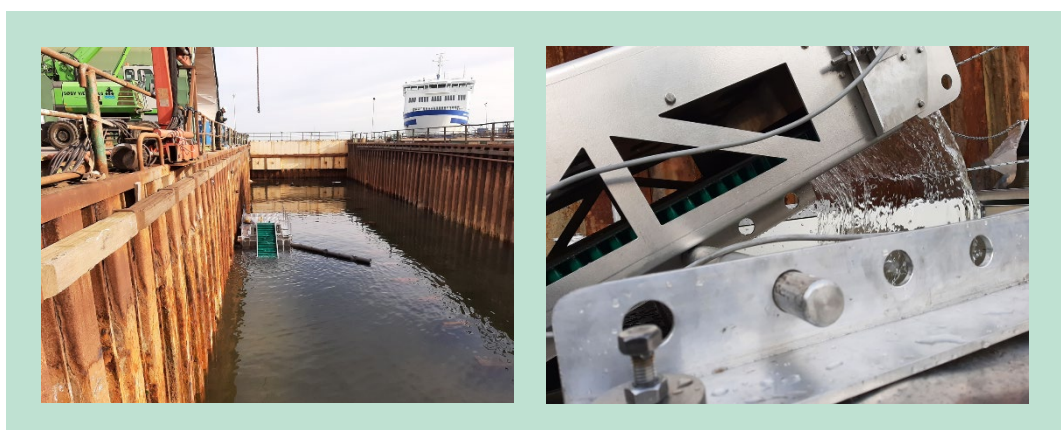
Miljøprammens dybgang var 55 cm, hvilket svarer til en reserveopdrift på 300 kg.

Den fleksible miljøpram lå meget stabilt i vandet. Der er som tidligere anført anvendt temmelig tynd aluminiumsplade, så det var interessant at se, hvor stærk og stabil konstruktionen virkede. Miljøprammen virkede trods den tynde plade meget stabil, og det skal formentlig tilskrives de mange lodrette rør, der er indbygget i pontonerne. Dækspladerne blev dog noget bulede, når man gik på dem, så der var behov for, at Søby Værft forstærkede dækspladerne.

Det kunne også konstateres, at bælteskimmeren lå fint i vandet. Opdriftselementer i den yderste del af skimmeren løftede den fint klar af miljøprammen, så den ikke lå an på kanten. Hvilken indflydelse de dynamiske effekter har blev afklaret på søprøverne, jf. nedenfor.



**FIGUR 10.** Test af skimmer – Februar 2022 (venstre). Dok1 – Februar 2022 (højre).



**FIGUR 11.** Værftsprøver – Marts 2022 (venstre). Skimmer arbejder – Marts 2022 (højre).

# 14. Elektroniksystemer

Som anført i pkt. 6 var det et designkriterie, at den fleksible miljøpram kan indsættes med en meget lille besætning og helst ubemandet. For at optimere mulighederne for automatisering blev det derfor besluttet, at opsamlings- og sensorsystemer skulle have elektrisk kraftforsyning, som skulle være batteridrevet.

## 14.1 Batterisystem

FLEX-FEB valgte virksomheden [ACTEC](#) fra Randers som leverandør af batterier. ACTEC er en af Skandinavien's ledende virksomheder, når det drejer sig om batteriteknologi, og en tidlig dialog med ACTEC gjorde det muligt at trække på virksomhedens store viden og erfaring, da batteripakken skulle sammensættes.

Det blev besluttet, at miljøprammens batterisystem skulle være et 24V DC anlæg bygget op af serieforbundne 12V batterier. Miljøprammen har to parallelle systemer, så der er to store 12V PaqPOWER LiFePO4 batterier fra ACTEC i hver af de to batterirum sammen med en batterilader.



FIGUR 12. Batterier og lader – Juni 2022.

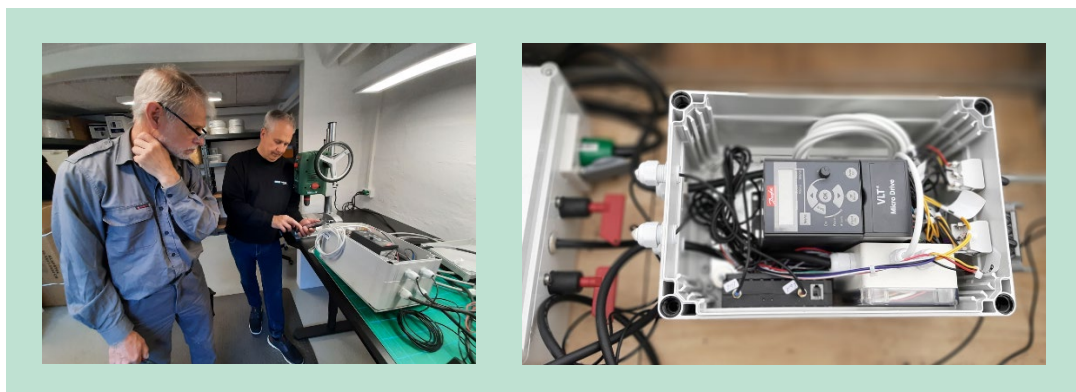
## 14.2 Skimmerkontrol

Skimmeren drives af en 240V tromlemotor, som strømforsynes fra batterierne via en omformer. Hastigheden på skimmerens bånd med faste frembringere kan reguleres med en frekvensregulator, der regulerer frekvensen på skimmerens vekselstrømsmotor. Hastigheden på skimmeren kan reguleres direkte på frekvensregulatoren, men også med et kabel med monteret nødstop og et potentiometer.

Af operative og arbejdsmiljømæssige hensyn er det ønskeligt at kunne starte og stoppe skimmeren og regulere båndhastigheden med en fjernkontrol, så det ikke er nødvendigt at være fysisk på miljøprammen, som kan være urolig i søen og måske omgærdet af oliedampe.

Den udfordring blev løst ved at installere et GSM-modul med tilhørende antenner, relæer mv. i regulatorboksen i elektronikrummet. Da regulatorboksen er placeret i et lukket aluminiumsrum, blev der installeret eksterne antenner for at sikre et stabilt signal til positionsbestemmelse og kommunikation.

Det installerede system har vist sig at fungere godt, både i et testmiljø og under de gennemførte søprøver.

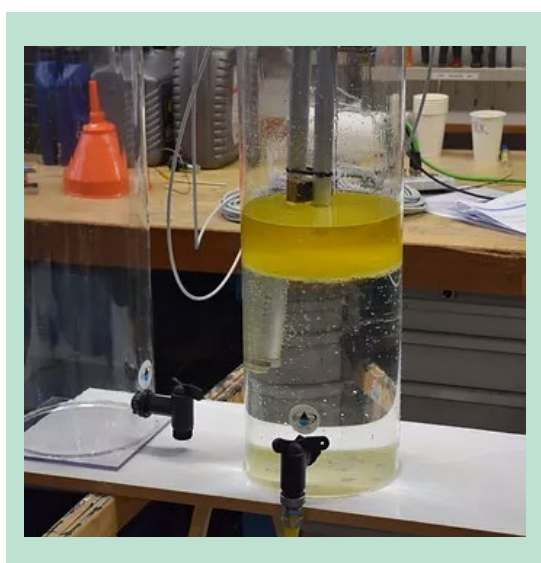


**FIGUR 13.** GSM Modul testes – Juni 2022 (venstre). GSM Modul monteret i miljøpram (højre).

Når den fleksible miljøpram er fyldt med olie, er det ønskeligt, at skimmeren stopper automatisk, så der ikke er risiko for, at prammen overfyldes, og det hydrofile filter stopper. Det kræver en sensor, der kan skelne mellem havvand og havvand med olie.

Der er forskellige typer af sensorer, der kan anvendes, herunder mekaniske eller elektroniske sensorer. Efter at have afvejet de forskellige løsninger, besluttede FLEX-FEB sammen med en virksomhed at teste en kapacitiv DNV godkendt sensor, som typisk anvendes til niveaumåling af væsker.

Den gennemførte laboratorietest var vellykket, da den viste, at den valgte sensortype meget klart kan skelne mellem de forskellige væsker og sende de nødvendige elektroniske regulerings signaler. Det udestår dog at få designet en løsning, der hensigtsmæssigt kan implementeres i den fleksible miljøpram.



**FIGUR 14.** Laboratorietest af kapacitiv sensor.

# 15. Søprøver

Der blev gennemført et ret omfattende søprøveprogram med den fleksible miljøpram. I april-maj måned 2022 blev gennemført indledende søprøver, mens de afsluttende søprøver blev gennemført i juni måned 2022. Begge gange blev søprøverne gennemført i det relativt beskyttede farvand mellem Marstal havn og Strynø og begge gange med Marstal havn som basehavn.

## 15.1 Indledende Søprøver

De indledende søprøver havde fokus på at teste miljøprammens søegenskaber og håndteringen af prammen både til søs med mindre fartøjer og håndteringen i land i f.m. transport af miljøprammen med lastvogn. Under testen skulle der også gøres forsøg med flydespærringer, og der skulle gennemføres funktionskontrol af skimmeren.

Under søprøverne var vejret optimalt, da det var grænsende til de estimerede marginale indsættelsesforhold med vind op til 10 m/s og ca. 0,5 m sø.

Konceptet med en miljøpram med et footprint som en 20' container fungerede fint. Der var ingen logistiske udfordringer med at håndtere den fleksible miljøpram, som uden problemer blev løftet op på en lastvogn med et slæng, fastgjort til corner castings og transporteret med lastvogn fra Søby Værft til Marstal havn, hvor miljøprammen lige så problemfrit blev læsset af på kajen.

På kajen i Marstal løftede lastvognskranen skimmeren, så den kunne placeres i monteringskinnerne. Prammen blev hurtigt tilrigget med montagestænger, filtre, skvalpeskotter, dæksbjælker, dæksplader mv. og sat i vandet med lastvognens kran. Det tog alt i alt ca. 30 minutter at klargøre miljøprammen og sætte den i vandet.



**FIGUR 15.** Miljøpram aflæsset på kajen (venstre). Miljøpram klar til søsætning (højre).

Søprøverne viste, at den fleksible miljøpram er meget stabil og ruller meget lidt. Der skyller noget vand ind over dækspladerne under bugsering af prammen ved højere fart, men det var forventeligt på baggrund af vejrforholdene og i fuld overensstemmelse med den gennemførte CFD-analyse. Funktionstest af boblefang og skimmer blev gennemført med godt resultat.

Det overskyllende vand bevirkede dog, at der trængte noget vand ind i de to batterirum. Indledningsvis var det vurderingen, at denne vandindtrængen skete ved lugerne, som måske ikke havde været tilstrækkeligt fastspændt. Det viste sig dog senere, at vandet trængte ind gennem

kabelrørene ved corner castings, hvor vandet kunne trænge ind gennem de anvendte tætningspropper.

Det viste sig også, at fastgørelsen af skimmeren til miljøprammen ikke var hensigtsmæssig. Systemet var for komplekst, og skimmeren kunne under søens påvirkning rive sig løs fra miljøprammen.

Efter afslutningen på de indledende søprøver, blev disse u hensigtsmæssigheder udbedret. Tætningspropperne blev erstattet af ROXTEC kabeltætninger, og systemet til fastgørelse af skimmeren blev erstattet af et enklere gaffelsystem.



**FIGUR 16.** Roxtec kabelgennemføring monteres (venstre). Gaffelsystem til fastgørelse af skimmer (højre).

Her er link til en kort [video](#) fra de indledende søprøver.

## 15.2 Afsluttende Søprøver

De afsluttende søprøver blev også gennemført med udgangspunkt i Marstal havn. Formålet med søprøverne var:

- Validering af teknik til klargøring af miljøpram og bugsering af miljøprammen til indsatsområdet.
- Endelig validering af designet til søs.
- Afsluttende test af flydespærringer sammen med miljøprammen.
- Test af den implementerede løsning med fjernkontrol af bælteskimmeren med en APP.
- Test af kabelgennemføringers vandtæthed.
- Test af nyt fastgørelsessystem til skimmeren.

Flydespærringer klargøres på kajen og monteres på miljøprammen, inden den sættes i vandet. Når miljøprammen bugseres ud til indsatsområdet, bugseres den i en kort hanefod fastgjort til montagestængerne i samme ende som batterikasserne (agterenden).



**FIGUR 17.** Elastec flydespærring klargøres (venstre). Afgang fra havn med Desmi spærring (højre).

Den bedste teknik til at bugserer den fleksible miljøpram fra havnen til indsatsområdet var bugsering med ét fartøj i en kort hanefod på ca. 7 m. Slæbets samlede længde var ca. 25 m, og det var håndterbart. Et evt. ekstrarfartøj kan være klar til at puffe til miljøprammen, hvis plads og vindforhold gør det nødvendigt.

Søprøverne bekræftede indtrykket fra de indledende søprøver mht. miljøprammens stabilitet og søgenskaber. Vejret var skiftende med en del vind og bølger, men prammen var meget stabil under alle forhold og bjærgede sig fint.

Ved hastigheder over 3-4 knob påvirkes miljøprammens trim. Det skyldes muligvis designet af skvalpeskotterne, så under bugsering til indsatsområdet skal farten tilpasses de aktuelle vejrforhold.

Da flydespærringerne kan monteres på miljøprammen på kajen, inden den sættes i vandet, vil spærringerne fungere som drivanker og stabilisere prammen under bugsering til indsatsområdet. Det fungerede fint under de afsluttende søprøver.

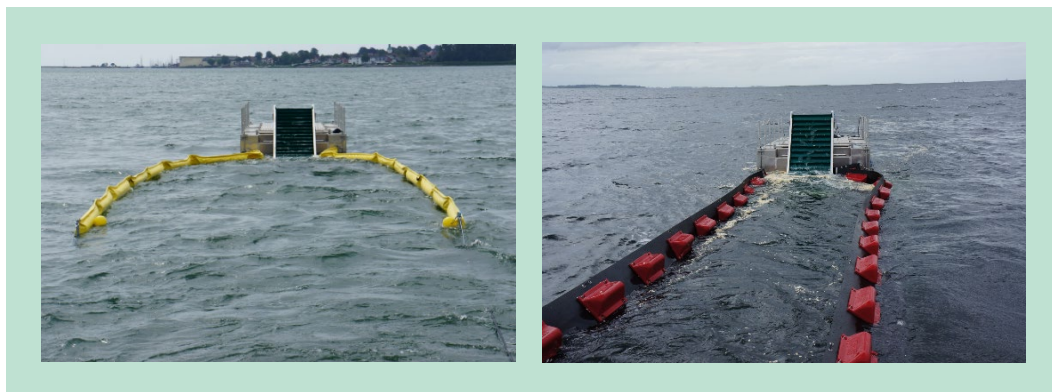


**FIGUR 18.** Bugsering til indsatsområde. Desmi flydespærring som drivanker.

Under indsættelse er farten  $\frac{1}{2}$ -1 knob, og her lå miljøprammen hele tiden stabilt på ret trim.

Under de afsluttende søprøver blev der testet to forskellige sæt flydespærringer. Den ene type var fra den amerikanske producent Elastec, mens den anden var fra den danske producent Desmi. Elastec spærringerne havde en længde på 15 m, mens Desmi spærringerne havde en

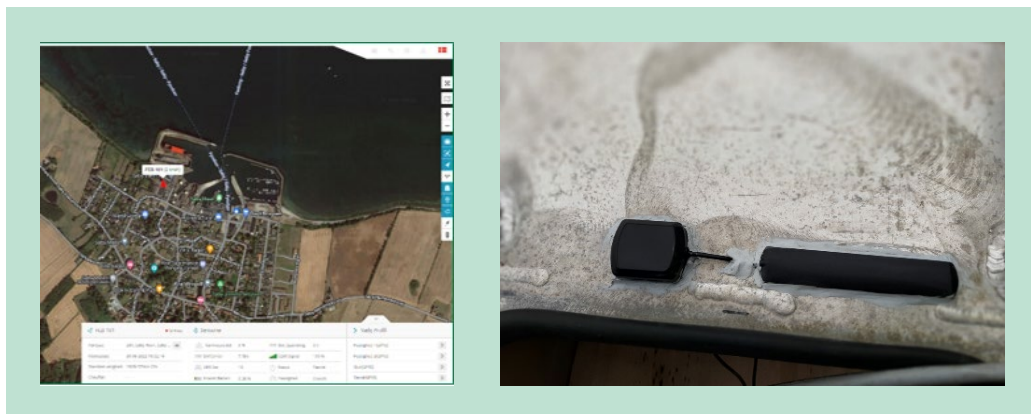
længde på 12,5 m. Det var erfaringen, at en spærringslængde på 10-15 m er passende sammen med den fleksible miljøpram, da spærringerne med en vægt på ca. 50 kg ikke er tungere, end at de kan håndteres manuelt.



**FIGUR 19.** Elastec flydespærring (venstre). Desmi flydespærring (højre).

Begge flydespærringer fungerede tilfredsstillende sammen med den fleksible miljøpram. Der blev anvendt popcorn til at simulere olie, og Desmi spærringen ledte fint popcorn frem til bælteskimmeren, hvor opsamlingen også fungerede tilfredsstillende i relativ urolig sø.

Inden de afsluttende søprøver blev der installeret et system med GSM-modul og GPS-tracker. GPS-trackeren gør det muligt at tracke miljøprammen og gemme historikken, mens GSM-modulet gør det muligt at starte og stoppe bælteskimmeren og ændre hastigheden på bæltet med en APP, der sender signal via GSM-nettet. For at sikre og optimere signalkvaliteten, blev der installeret eksterne antenner.



**FIGUR 20.** Kortudsnit fra APP. Miljøpram på Søby Værft (venstre). Eksterne antenner til GPS-tracker og GSM-modul (højre).

APP med GPS-tracker og GSM-modulet fungerede upåklageligt under de afsluttende søprøver.

Som nævnt, blev der efter de indledende søprøver monteret Roxtec kabelgennemføringer for at hindre vandindtrængen gennem de kabelførende rør, og disse kabelgennemføringer virkede efter hensigten. Der trængte ikke vand ind i batterirummene under de afsluttende søprøver.

Som nævnt, var fastgørelsen af skimmeren til miljøprammen ikke hensigtsmæssig, hvorfor der blev fremstillet et gaffelsystem i stedet. Dette gaffelsystem var meget enklere og fastholdt



skimmeren sikkert, men systemet var ikke optimalt, da afstanden fra gafferne til skimmeren stadig var relativ lang, så skimmerens bærearml bevægede sig en del ved de kraftpåvirkninger, der kom fra skimmerens bevægelser i søen. Der er derfor efter projektets afslutning blevet fremstillet et gaffelsystem, hvor den nævnte afstand er minimeret.



**FIGUR 21.** Nyt gaffelsystem til fastgørelse af skimmer.

Som en del af den endelige designvalidering under de afsluttende søprøver blev der optaget en kort video fra en drone. Link til den video er [her](#).

# 16. Konklusion

Formålet med projektet "Fleksibel Miljøpram", var at udvikle, designe og bygge en fuld funktionel testplatform, der kan opsamle olie, tang, plastik og andet overfladeaffald til søs.

Testplatformen er blevet udviklet, designet og bygget som beskrevet i projektoplægget med ganske få undtagelser, og den fleksible miljøpram er efterfølgende blevet testet til søs i et omfattende søprøveprogram med flere forskellige typer flydespærringer.

Det kan konkluderes, at designet er godt. Konstruktionen er stærk og stabil, selv om der er anvendt tynd plade. Dækspladerne giver sig dog under tung vægt, hvorfor de skal yderligere forstærkes.

Miljøprammen er let både at håndtere og tilrigge, selv for utrænede frivillige, som har en sømandskabsmæssig baggrund men intet forhåndskendskab til miljøprammen eller bekæmpelse af olieforurening til søs.

Miljøprammen har et footprint som en 20' container med corner castings, og det gør den let at håndtere på land. Den transporteres med en lastvogn, hvis kran også anvendes til at løfte skimmeren og sætte den på plads på miljøprammen, inden prammen sættes i vandet med påmonterede flydespærringer. Det fungerer uden problemer. Der er ikke behov for en manuel kran til at håndtere skimmeren, selv om en sådan på et tidspunkt indgik i overvejelserne.

Søprøverne viste, at miljøprammen er fint trimmet med skimmeren i den ene ende og batterierne i den anden ende. Miljøprammen ligger godt og stabilt i vandet. Når prammen bugseres med en hastighed på over 3-4 knob, kan den begynde at sætte sig, hvorfor forlægningsfarten altid skal afpasse efter vind, sø og vejrforhold i øvrigt.

Miljøprammen er testet med flere forskellige typer flydespærringer. To af de testede flydespærringer fungerer fint sammen med testplatformen. Begge typer er tilstrækkeligt stærke og stabile til at trække miljøprammen og modstå søen, og alligevel vejer de ikke mere, end at de er til at håndtere manuelt.

Der er anvendt popcorn til at teste opsamling af olie, og det fungerede tilfredsstillende. Det har ikke været muligt at teste opsamling af andet overfladeaffald – tang eller plastik – da der ikke var noget i prøveområdet under hverken de indledende eller afsluttende søprøver.

Testplatformen er et godt grundlag for fremstilling af en prototype, der kan kommercialiseres og markedsføres. Der er kun behov for enkelte opdateringer af designet, inden en prototype kan fremstilles.

Der er - parallelt med udviklingsprojektet - søgt patent på opfindelsen, og Patent- og Varemærkestyrelsen har meddelt, at der vil blive udstedt patent på alle de ti fremsendte patentkrav.

Det konkluderes, at formålet med projektet er opnået.



### **Fleksibel Miljøpram – for et renere hav**

Projektet "Fleksibel Miljøpram" har omfattet udvikling, design og bygning af en fleksibel miljøpram i form af en fuld funktionel testplatform, der kan opsamle olie, tang, plastik og andet overfladeaffald til søs. En fuldt funktionel testplatform er blevet udviklet, designet, bygget og testet til søs. Den fleksible miljøpram kan opsamle olie (simuleret ved popcorn) til søs. Det vurderes, at den fleksible miljøpram også kan opsamle tang, plastik og andet overfladeaffald, men det har ikke været muligt at teste det under søprøverne. Testplatformen er et godt grundlag for fremstilling af en prototype, der kan kommercialiseres og markedsføres.



Miljøstyrelsen  
Tolderlundsvej 5  
5000 Odense C

[www.mst.dk](http://www.mst.dk)