

Jakob Louis Karlsen

Dimensjonering av havbrukskonstruksjoner

Bacheloroppgave i Maskiningeniør

Veileder: Anna Olsen

Oktober 2023



Jakob Louis Karlsen

Dimensjonering av havbrukskonstruksjoner

Bacheloroppgave i Maskiningeniør
Veileder: Anna Olsen
Oktober 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for maskinteknikk og produksjon



Kunnskap for en bedre verden



27.10.2023

Design of Aquaculture Cages

Dimensjonering av havbrukskonstruksjoner



Jakob Louis Karlsen
NTNU

RAPPORT bacheloroppgaven

Tittel

Dimensjonering av havbrukskonstruksjoner

Design of Aquaculture Cages

Prosjektnr

MTP-K-2023-23

Forfatter(e)

Jakob Louis Karlsen

Oppdragsgiver(e) eksternt

NTNU

Veileder(e) internt

Anna Olsen

Rapporten er

ÅPEN

Dato levert

27.10.23

Kort sammendrag

Åpne merder har flere fordeler, som å utnytte havstrømmer og ikke trenge energi til vannpumping. De gir bedre forhold for fiskehelse og vekst og er mer kostnadseffektive sammenlignet med landbaserte systemer. Men det er også ulemper med åpne merder, som spredning av sykdommer og parasitter, algeoppblomstring og risiko for rømming av fisk. Havbruksnæringen kan bidra til marin forøpling, hovedsakelig på grunn av størrelsen på merdene som brukes og mangelfull sikkerhet og tilsyn. Mikroplast fra tau og rør havner også i havet.

Open cages have several advantages, such as utilizing ocean currents and not needing energy for water pumping. They provide better conditions for fish health and growth and are more cost-effective compared to land-based systems. But there are also disadvantages with open cages, such as the spread of diseases and parasites, algae blooms and the risk of fish escaping. The aquaculture industry can contribute to marine litter, mainly due to the size of the cages used and inadequate safety and supervision. Microplastics from ropes and pipes also end up in the sea.

Stikkord:

Dimensjonering, akvakultur
havbrukskonstruksjoner

Keywords:

Design, aquaculture, cages

Summary

Open cages offer several advantages, such as utilizing ocean currents and not requiring energy for water pumping. The seawater in these cages provides better conditions for the health and growth of fish and is also more cost-effective compared to land-based systems. In Norway, the coastline consists of straight temperate and fresh waters, which is beneficial for open cage aquaculture.

However, there are also disadvantages to using open cages. Disease and parasites can easily spread to both the facilities and wild fish. Algal blooms and an accumulation of jellyfish can also occur in the vicinity of the aquaculture facility. Furthermore, open cages have limited tolerance to adverse weather conditions, and there is a risk of fish escaping during risky work operations. Therefore, all open cages require constant supervision.

The term "Merd" is an old Norse word that refers to a net bag, typically 20-80 meters deep, which is stretched out by a floating framework to enclose farmed fish. This is a common method used in aquaculture.

The aquaculture industry has the potential to contribute to marine litter. This issue primarily stems from the size of the cages used and the environment in which they are located. The thesis focuses on a review of existing literature that explores solutions to address this problem and improve the overall conditions for marine life. In this context, marine litter refers to the waste that is generated during the process of repairing, replacing, mooring and installing aquaculture facilities. This occurs due to inadequate securing and supervision of packaging, as well as the transport of equipment. Additionally, microplastics from the wear and tear of ropes and pipes end up in the sea.

Sammendrag

Åpne merder gir flere fordeler, som å utnytte havstrømmer og ikke kreve energi til vannpumping. Sjøvannet i disse merdene gir bedre forhold for helse og vekst til fisk og er også mer kostnadseffektivt sammenlignet med landbaserte systemer.

I Norge består kystlinjen av rett temperert vann, noe som er gunstig for oppdrett i åpen merd. Det er imidlertid også ulemper ved å bruke åpne merder. Sykdommer og parasitter kan lett spre seg til både anleggene og villfisk. Algeoppblomstring og opphopning av maneter kan også forekomme i nærheten av akvakulturanlegget. Videre har åpne merder begrenset toleranse for ugunstige værforhold, og det er fare for rømming av fisk under risikofylte arbeidsoperasjoner. Derfor krever alle åpne merder konstant tilsyn.

Begrepet "merd" er et gammelt norrønt ord som refererer til en notpose, typisk 20-80 meter dyp, som strekkes ut av et flytende rammeverk for å omslutte oppdrettsfisk. Dette er en vanlig metode som brukes i akvakultur.

Havbruksnæringen har potensial til å bidra til marin forsøpling. Dette problemet stammer først og fremst fra størrelsen på merdene som brukes og miljøet de er plassert i. Oppgaven fokuserer på en gjennomgang av eksisterende litteratur som utforsker løsninger for å løse dette problemet og forbedre de generelle forholdene for livet i havet. I denne sammenheng refererer marin forsøpling til avfallet som genereres under prosessen med å reparere, erstatte, fortøye og installere akvakulturanlegg. Dette skjer på grunn av mangelfull sikring og tilsyn med emballasje, samt transport av utstyr. I tillegg havner mikroplast fra slitasje av tau og rør i havet.

Innhold

Summary	2
Sammendrag	3
1. Innledning.....	5
1.1 Orientering.....	5
1.2 Problemdefinering	8
1.3 Resultatmål.....	8
1.4 Metode.....	8
2. Merd	9
2.1 Utvikling av oppdrettsmerder, med et historisk tilbakeblikk	9
2.2 Tradisjonelle oppdrettsmerder.....	11
3. Nye produksjonssystemer.....	14
3.1 Lukket, semilukket merd.....	14
3.2 Eksponert merd.....	16
4. Spesifikasjon for arbeidet med merd.....	17
5. Valg av merd som konsept	19
6. Programvare	20
7. Miljøpåkjenninger og dimensjonering	22
7.1 Strøm	24
7.2 Bølger	24
7.3 Vind.....	27
7.4 Is og snø.....	27
8. Diskusjon.....	28
9. Konklusjon	30
9.1 Videre arbeid	30
Referanseliste	31

1. Innledning

1.1 Orientering

Fra august til oktober 2022, jobbet jeg ved Mausund feltstasjon [1] i Trøndelag. I disse tre månedene var mine arbeidsoppgaver oppsamling og registrering av søppel. Min tidligere arbeidserfaring som blant annet kystrenovatør og innen fagfeltet marin forsøpling [2] er bakgrunn for valg av tema i denne oppgaven. I tillegg har min bakgrunn fra kystvakten og bemanningsbyrå innen fiskeindustrien samt stor interesse for «livet i havet»//bærekraftsmål 14 [3] dannet grunnlaget for valg av emne i dette prosjektet.

Norsk havbruksnæring er en næring som fortsatt er og kommer til å være i vekst i årene fremover, [4] selv med grunnrenteskatten som ble innført nå i 2023. [5]

En av utfordringene innen havbruksnæringen er rømming av fisk. [6] Dette er et felt jeg vil komme noe inn på i oppgaven.

Hovedtyngden i oppgaven vil være å se på rammene rundt dimensjonering av merd. [7]

Det er fordeler og utfordringer med innhengning til notpose, semilukket, lukket og eksponert merd. Dette vil også belyses.

Hvilken programvare som brukes innenfor næringen er interessant. Hvordan en kan regne ut strøm, bølger og vind, er også viktig for arbeidet. Begge disse emnene vil jeg også komme inn på.

Som illustrasjoner har jeg lagt ved noen bilder fra ryddingen ved Mausund feltstasjon og bilder av merder (se figurer 1-3).



Figur 1: Rydding ved Mausund Feltstasjon.



Figur 2: Etter bilde av rydding.



Figur 3: Marin forsøpling.

1.2 Problemdefinering

Havbruksnæringen preges av innovasjon, etablering og kartlegging av havbrukskonstruksjoner for fiskeoppdrett. Det finnes landbaserte anlegg, flytende, lukket og semilukkede anlegg. [8]

NYTEK forskriften omhandler teknisk standard for flytende havbruksanlegg.

Denne oppgaven skal se på flytende havbruksanlegg, og oppdrettsnæringens utvikling fra 1970 tallet til i dag.

1.3 Resultatmål

Arbeidet med merdene [9] og valg av programvare [10] vil avdekke resultat. Sikkerhetsanalyse av sviktilfeller ute på merdekanten og å bruke rett programvare for å beregne lasttilfeller, kan si noe for resultatet.

For å oppnå hovedmålet i prosjektet, er det identifisert følgende delmål:

1. Skaffe oversikt over forskrifter som NS9415_2021.
2. Kartlegge eksisterende situasjon i oppdrettsnæringen.
3. Programvare for dimensjonering av havbrukskonstruksjoner.
4. Oversikt over grensetilstander for bølger, vind og strøm.

1.4 Metode

Metoder jeg har brukt i arbeidet er å søke opp relevante kilder og samtale med personer som har kunnskap innen området akvakultur. Denne måten å jobbe på er lærerik og gir mye kunnskap. Min tilnærming til området har først vært og få teoretisk forståelse, for så å se på den praktiske anvendelsen av ulike merder.

2. Merd

2.1 Utvikling av oppdrettsmerder, med et historisk tilbakeblikk

Dimensjoner på merdene på 1970 tallet var i forskjellig størrelse og konstruksjon.

Mange oppdrettere brukte selvbygde konstruksjoner med forskjellig størrelse og volum. Disse var gjerne bygd av treverk og fylt med isopor så de fløt. Disse konstruksjonene kunne både ha firkantet og åttekantet form. De tidligste merdene kan sammenlignes med illustrasjonen figur 4. På Vestlandet brukte de «poller». Det var smale sund som ble avstengt med gitter i endene. Disse kunne ha veldig stort volum. I 1974 kom Helgeland betongvarefabrikk med sin plastmerd «polarcirkel» på markedet. Dette var en merd av plastringer med en omkrets på 40 meter. Dagens plastmerder er etterkommere av denne. [11]



Figur 4: Bildet er fra Akvaforsk sitt forsøksanlegg på Ekkilsøy i Averøy, og tatt i 1976. [12]

De som startet opp med Grøntvedtmerden begynte ofte med et volum på 900-1.000 m³ og 1.000-2.000 fisk i hver merd, mot bare 200-500 fisk i mange av de mindre anleggene på Vestlandet. [13]

Økt volum, biomasse og flere individer.

Merdene øker i størrelse gjennom økt areal (lengde og bredde for firkantmerder og omkrets for sirkler) og dyp. Generelt ser vi at merdene i områder med dypt vann og tidvis varmt overflatevann (Vestlandet) også øker i dybde, mens merder i grunnere områder og med fravær av ekstremt høye temperaturer (Midt-Norge) kun øker i areal.

Historisk sett har merdene økt i størrelse fra 12 m * 12 m og 5-15 m dyp via normale 24 m * 24 m, bortimot 30 m dype og til dagens største firkantmerder på 40 m * 40 m og dybder på bortimot 50 m.

Sirkelmerkene har økt fra omkretser på under 50 m via den gang store sirkler med omkrets 100-120 m og til dagens store ringer med omkrets på 157 m (diameter på 50 m) og dyp bortimot 50 m.

Fremtidsvisjoner indikerer merdstørrelser på mer enn 100 m (300 m) i diameter. [14]

Akvakultur har i realiteten lange tradisjoner. I Kina ble det allerede for flere tusen år siden holdt karpefisk i jorddammer. I Europa ble det i middelalderen drevet en form for oppdrett av fisk i klostrene. Tyskeren Stephan Jacoby, som levde fra 1709 til 1794, regnes som opphavsmannen til kunnskap om befruktning av rogn og klekking av ørretyngel.

Inspirasjon og kunnskap til oppstart av akvakultur i Norge, ble hentet fra Danmark. I Danmark hadde de «dambrug» i jorddammer på land. En fiskeridirektør i Kolding i Danmark sendte en utredning om emnet i 1851.

Driftsoppstart av noen enkle anlegg i Norge kom rundt 1870.

Disse enkle anleggene lå ved Oslofjorden, i Østfold, Vestfold og Hordaland og benyttet både ferskvann og saltvann, derav navnet «saltvannsparker».

Driften ved disse anleggene ble etter hvert lagt ned, men rundt 1910 ble det bygd klekkerier og ferskvannsdammer for regnbueørret på Jæren. I Taftesundet på Sunnmøre ble det stengt av en poll til oppdrett.

Noen andre prøvde seg med oppdrett i innlandet. Det ble en fiasko. Brødrene Eilif og Einar Thom fra Brunlanes, gravde i 1950 ut en dam i hagen der de pumpet ut sjøvann og senere satte ut noen poser i sjøen som var festet til pæler i bunnen. De holdt det gående fram til 1971 da det kom en storflom som raserte helle anlegget. Brødrene Olav og Karsten Vik bygde et klekkeri på Sykkylven på Sunnmøre, en for ferskvann, en for ferskvann blandet med sjøvann og en for bare sjøvann. I 1960 kom de i gang med oppdrett av regnbueørret i flytekasser på 5 x 5 meter ute i fjorden.

Ingvar Austestad fra Fusa satte ut fisk i sjøen i flytende rammer av treverk helt i begynnelsen av 1960 tallet, der han hang steiner i hvert hjørne for å bedre stabiliteten. Brødrene Hans og Åmund Kaldheim kom i gang med utsett av fisk ved Illsvåg bruk i Rogaland i 1964 der de gikk veien om dammer på land, aluminiumskar på land til flytende innretninger ute i sjøen.

Et annet brødrepar Sivert og Ove Grøntvedt, kom i gang med oppdrett av regnbueørret i sementkummer på land i 1969. De dannet selskapet Havlaks i 1970 og lyktes med oppdrett av laks samme året på Hitra.

På Nordmøre var det Ingar Holberg fra Smøla, som brakte kunnskap om oppdrett av regnbueørret i ferskvann på midten av 1950-årene. De konstruerte en sjøvannsdam 70 x 30 m, og mellom pollen og Nordsvågen ble det anlagt en betongdemning for å holde tidevannet igjen. Holberg tegnet og konstruerte en sluse som skulle sørge for at tungt, ferskt sjøvann trengte inn i bunnen og at lett brakkvann fløt ut i toppen. Flere forsøk ble gjort, uten hell. Men Holberg la grunnlaget for andre pioner.

Det var mange viktige spørsmål som måtte stilles i begynnerfasen av oppdrettsutviklingen:

Kunne oppdrett av fisk bli en ny og viktig næring ute i distriktene i Norge?

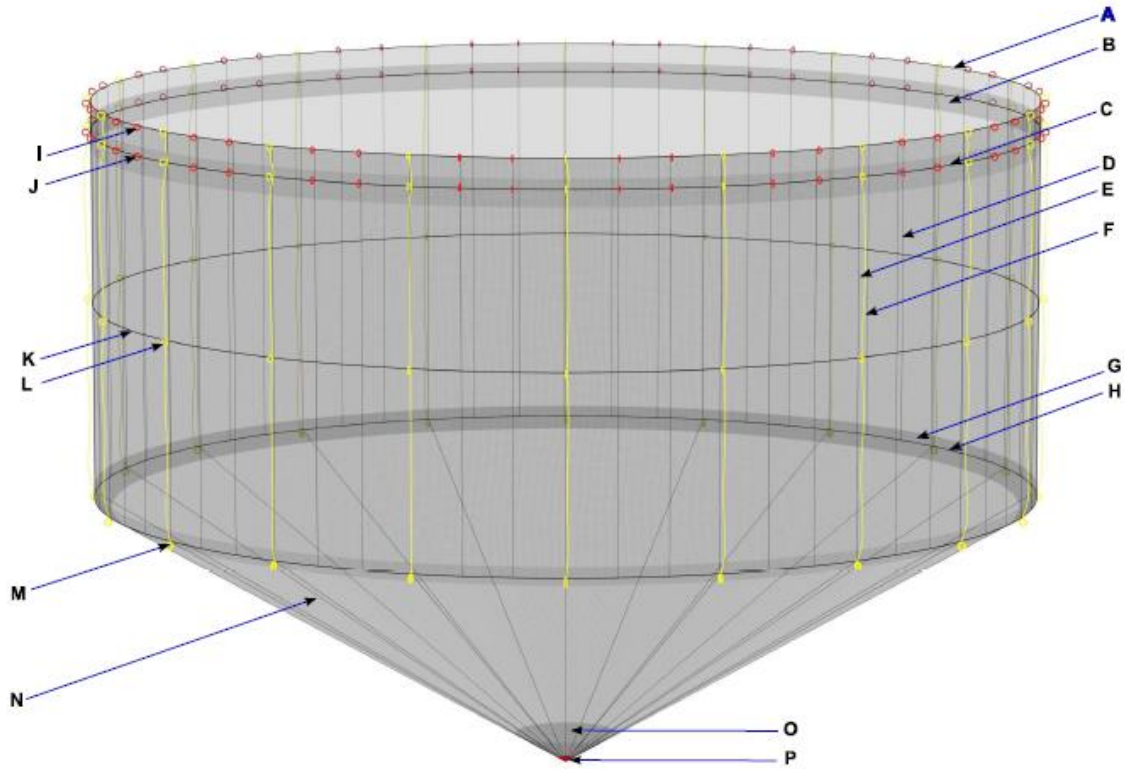
En skjønnte at en trengte kunnskap om emnet, men hvor skulle en få den kunnskapen?

Det reiste seg også spørsmål om konsesjoner i forbindelse ved bruk av sjøområder. I tillegg måtte det hindres at denne næringen ble et miljøproblem. [15]

2.2 Tradisjonelle oppdrettsmerder

Fra de første merder kom til i dag, har det vært en stor utvikling. I dag handler det mere om å se flere merder i sammenheng. En har fått bunnring som holder noten utstrakt for åpen merd. I dag tør bedriftene å gå mere offshore, og det er mere risikovilje for eksponert merd. Det er også åpnet opp for semi-lukket og lukket merd.

En typisk rundmerd har følgende komponenter (figur 5 og tabell 1); Topptau (lastbærende element), forsterkningsfelt i vannlinje, hovedtau (lastbærende element), løftetau-sidetau koblet med krysstau (lastbærende element), opphalertau (ikke-lastbærende element), forsterkningsfelt i overgang mellom side og bunn, bunntau (lastbærende element), løkke på topptau, løkke på hovedtau (innfestningspunkt), mageband, løkke på mageband, løkke på bunntau (innfestningspunkt), krysstau (lastbærende element), forsterkningsfelt i bunn og senter bunn.



Tegnforklaring

- A Topptau (lastbærende element)
- B Forsterkningsfelt i vannlinje
- C Hovedtau (lastbærende element)
- D Sidetau (lastbærende element)
- E Løftetau – sidetau koblet med krysstau (lastbærende element)
- F Opphalertau (ikke-lastbærende element)
- G Forsterkningsfelt i overgang mellom side og bunn
- H Bunntau (lastbærende element)
- I Løkke på topptau
- J Løkke på hovedtau (innfestningspunkt)
- K Mageband
- L Løkke på mageband
- M Løkke på bunntau (innfestningspunkt)
- N Krysstau (lastbærende element)
- O Forsterkningsfelt i bunn
- P Senter bunn

Figur 5: Typisk rundmerd [16]

Tabell 1: Tau for lastbærende element, og løkke for innfestningspunkt til notpose

Lastbærende element:	Innfestningspunkt:
Topptau	Løkke på hovedtau
Hovedtau	Løkke på bunntau
Sidetau	
Løftetau	
Bunntau	
Krysstau	

Belastningstilfeller for ulike lastbærende elementer til en oppdrettsmerd, kan du se under tabell 2.

Tabell 2: Minstekrav til notpose [16]

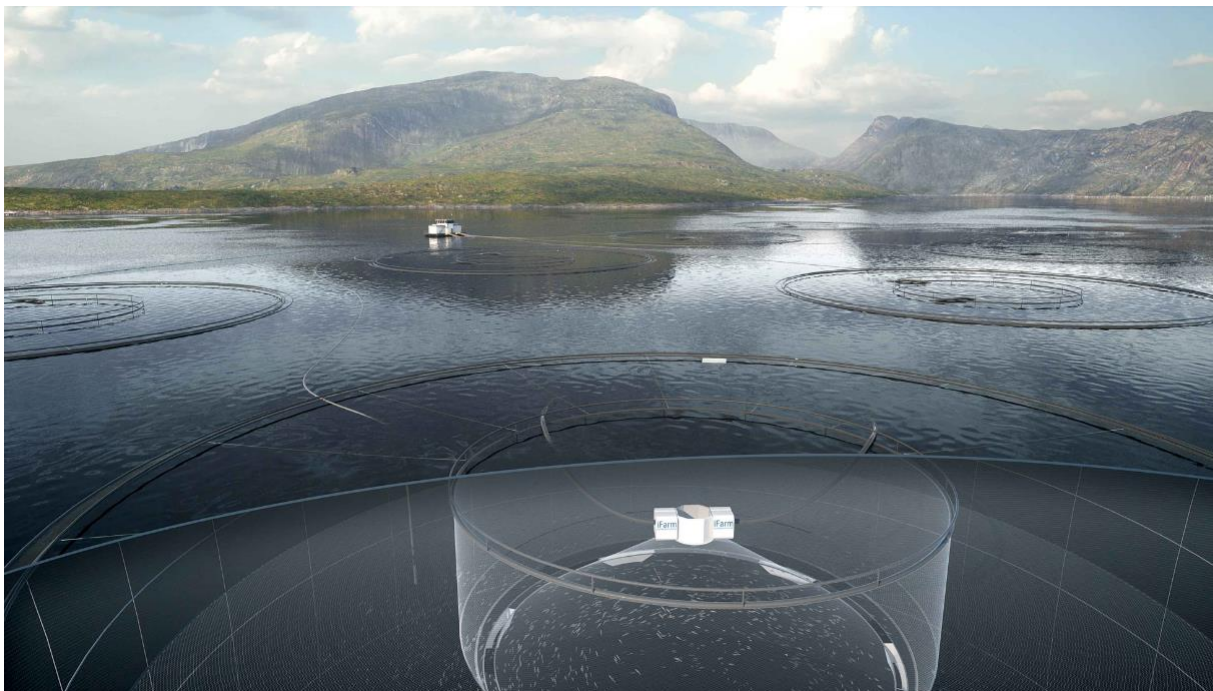
NS 9415:2021

Tabell 9 – Minstekrav til notpose

Del	Egenskap	Maskeside mm	Klasser			
			A	B	C	D
Notpose	Omkrets/bassengmål (m)	-	≤ 49	50-69	70-129	≥ 130
Notlin	Minste maskekapasitet (kg)	≤ 6,0	21	25	25	25
		6,0-8,0	25	31	39	39
		8,1-12,0	31	47	55	55
		12,1-16,5	39	55	71	79
		16,6-22,0	47	79	79	95
		22,1-29,0	63	95	117	136
		> 29,0	95	117	136	151
Lastbærende elementer	Minste kapasitet mot brudd (kg)	-	1900	2800	4100	5000
	Sidetau/innfestningspunkt, maks. avstand (m)	-	7,5	6,5	5,0	5,0
	Løftetau, maks. avstand (m)	-	15,0	15,0	15,0	10,0

Ved montering av lastbærende elementer til notlin, skal det sikres at notlinet har nok slakk og er jevnt strukket. Det skal sikres at laster blir overført til lastbærende elementer, og ikke til notlinet. Notparter skal være sammenmontert før fellingstau monteres. [16]

Utviklingen går mot forringssystemer som er automatiske for åpen merd. Det kan du se under figur 6.



Figur 6: Cermaq Norge AS, «iFarm» teknologi [17]

3. Nye produksjonssystemer

3.1 Lukket, semilukket merd

Semi-lukket defineres som et system hvor innløpsvannet ikke renses, eller hvor kun enkelte deler av volumet er dekket med tette skott. De kan for eksempel ha åpen bunn.

Semi- lukket systemer er mindre omfattende og teknologisk komplekse systemer kontra helt lukkede anlegg med rensing/filtrering av inntaksvann og hvor hele volumet er beskyttet mot det eksterne miljøet. Se figur 8.

Lukkede merdsystemer har et system for rensing av innløpsvann, og vannvolumet i merden er adskilt fra de ytre omgivelsene med tette skott. Det foreligger flere biologiske forutsetninger for produksjonen av laks i lukkede systemer som betinges av kontroll på vannkvaliteten i det lukkede systemet. Se figur 7.

Vannkvalitet innbefatter foring og vekst, oksygen, karbondioksid, ammoniakk, fisketetthet, vannskiftning, nitritt og nitrat. Vann pumpes inn i den lukkede produksjonsenheten i sjø, samtidig som avløpsvannet blir ført ut av enheten for rensing og filtrering av slam og forrester. Teknologiprinsippene i denne produksjonsformen har likhetstrekk med gjennomstrømmingsteknologi (FTS) som benyttes i landbaserte anlegg.

Fordelene med lukkede system er at produsentene får økt kontroll over merdmiljøet.

Lukkede systemer kan potensielt:

1. Redusere rømminger.
2. Forbedre biosikkerheten- mindre smitte mellom anlegg.
3. Gi økt kontroll på foring.
4. Gi økt biomassetetthet.
5. Gi bedre håndtering av avfall (slam, forrester, etc.).

Lukkede anlegg i sjø består av ulike design og materialer som ofte kategoriseres slik:

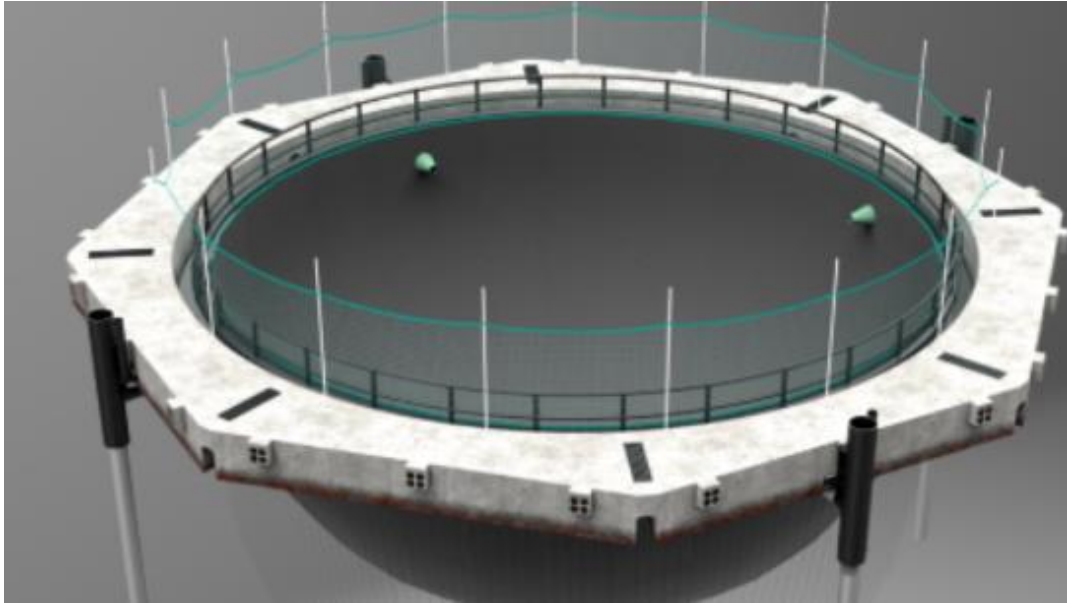
1. Lukkede anlegg som består av fleksibel not.
2. Lukkede anlegg i stive materialer som betong eller plast.
3. Lukkede anlegg basert på rørteknologi.

Lukkede produksjonsenheter i sjø skiller seg fra konvensjonelle åpne produksjonsenheter, ved at strukturene responderer annerledes på de ytre miljøbetingelsene i havet. De lukkede strukturene har utfordringer med dimensjonering og konstruksjonsteknikk på grunn av økt belastning og påkjenninger fra strøm og bølger. Bevegelser og eksitasjon kan for eksempel forårsake «sloshing» innad i strukturen. Plasseringen av lukkede anlegg avhenger derfor av lokaliteter med lav eksponeringsgrad fra strøm og bølger.

Pumping av kaldere sjøvann kan gi utfordringer med vintersår som oppstår ved sjøtemperaturer under 7 grader. Lukkede systemer forhindrer påslag av lakselus, men med økt risiko for sår dannelse og dårlig gjellehelse. [8]



Figur 7: Lukket anlegg, Mowi AS, Hauge Aqua, Ovum, Egget [17]



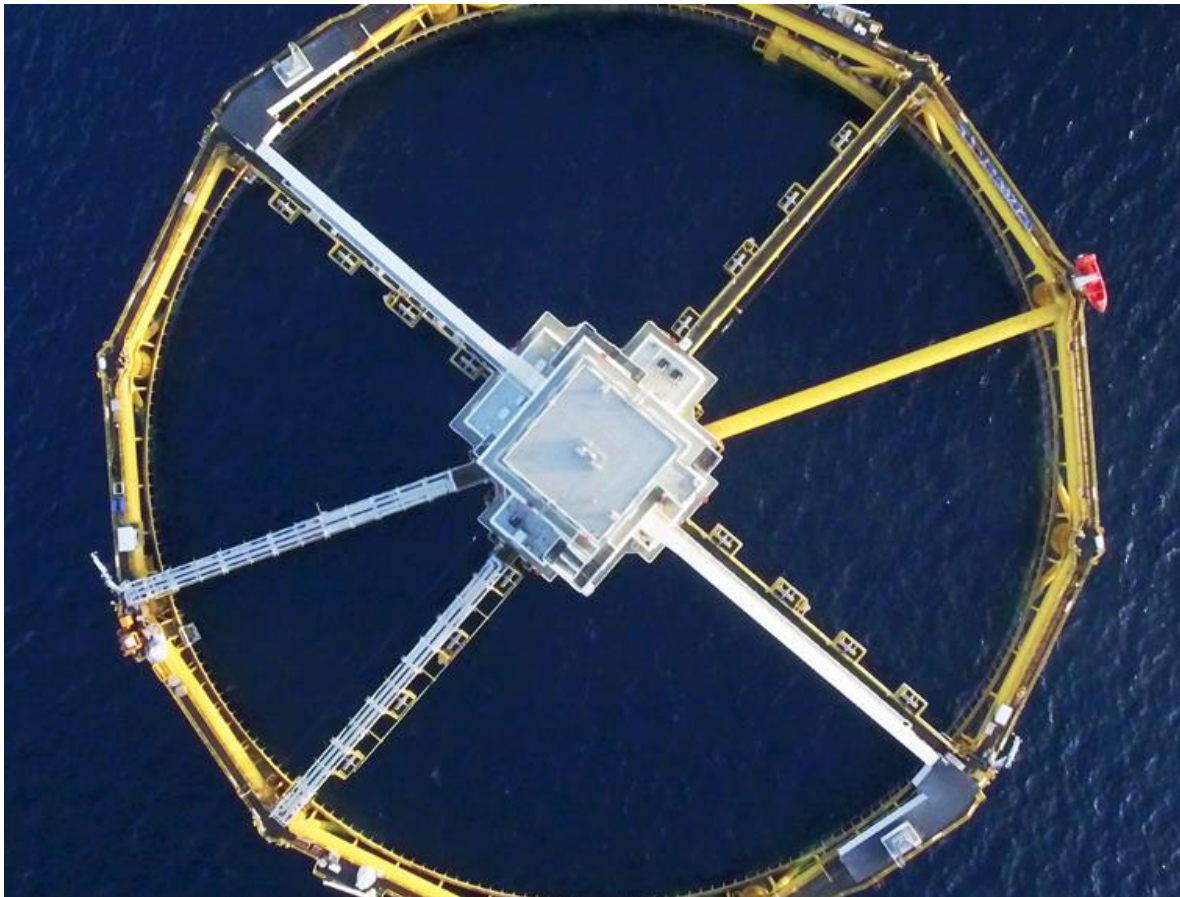
Figur 8: Semi-lukket anlegg, Akvafuture AS [17]

3.2 Eksponert merd

Miljøbetingelsene eksponert vurderes å være en stor fordel, så lenge man har en tilstrekkelig robust fisk og teknologi som er egnet. «Biologien og teknologien må fungere i lag.» Lenger fra kysten må man for eksempel lete etter områder som har forhøyede vintertemperaturer (opp til 7-8 grader) som senker produksjonstiden. Det kan ha en stor verdi, ifølge en oppdretter. [8]

Det er samme problematikk med lakselus, som i konvensjonelt havbruk.

Eksponert havbruk kan tåle å bli mer utsatt for bølger, vind og tidevannsstrømmer. Det plasseres langt ut til havs. Et slakkforankret halvt nedsenkbart anlegg med fast struktur som flyter stabilt i havnære områder med dyp på 100 til 300 meter, Ocean Farm 1. [17] Se figur 9.



Figur 9: Ocean Farm 1, Salmar Aker Ocean, havmerden [17]

4. Spesifikasjon for arbeidet med merd

En studentrapport [9] viser at i 2020 var 9000 personer ansatt i produksjon av laks, regnbueørret og ørret. Økning i produksjonsvolum korresponderer med antall folk ansatt. Utstyr, brønnbåter og merder har blitt mer omfattende som resultat. Dette behovet for sikkerhet og kompetanse har også økt betraktelig de siste tiårene.

Havbruksnæringen arbeider i aktive miljø, hvor situasjoner og vær gir uønskede hendelser. Skader på kropp kan være tilfelle. Personer kommer fra ulike bakgrunn og jobber sammen. Et intervju utført av andre studenter [9], med noen som tar utgangspunkt i handling og avgjørelse: #1 mente alt ansvaret lå hos brønnbåten, mens #3 og #5 mente at brønnbåten utførte en tjeneste og ansvaret tilfalt oppdretteren.

Ved å arbeide forebyggende kan regelmessig kartlegging og samtaling være nøkkelen. Det er mangelfullt slik det er i dag. I tillegg bør det stilles mer krav til sertifisering av mindre fartøyer som arbeidsbåt/servicebåt, og utstyr, samt opplæring og forståelse hvordan ulike parter jobber.

Mulige sviktilfeller for merd.

Rømming av fisk: Kriterier for sannsynlighet, konsekvens og risikoaksept for et konvensjonelt akvakulturanlegg. Systembeskrivelse er avgrensning og nedbrytning, samt identifisere forutsetninger.

Lokalitetsanalyse: Ytre omgivelser som strøm og bunnforhold, konstruksjon og driften rundt fiskemerd.

Feil: Svikt i forankring, kontakt med båt/propell, påkjørsel, tauverk i ankerline mot bunn, slitasje mot andre deler.

Flyter: Svikt i flytekrage, overbelastning fra ankersystem, overbelastning fra notpose, samt brudd i del.

Innhengning: Feil dimensjonering, interaksjons effekter mellom flyter og notpose, interaksjons effekter mellom notpose og utspillingssystem, rift pga. håndtering før og under utsett i sjø, feil innfesting/montering av notpose, begroing, skade på notpose på grunn av drivgods i sjøen, for store krefter overføres til notlin, eller mangelfull inspeksjon og vedlikehold.

Flåte: Fortøyning sliter, svikt i dimensjonering, flåte synker og drar med seg resten av akvakulturanlegget. [16]

5. Valg av merd som konsept

Åpen merd, semi-lukket, lukket, og eksponert havbruk.

Innhengningen skal følge spesifikke funksjonskrav:

1. Sikre at fisk holdes på plass, være tilpasset flyter og andre relevante hovedkomponenter og nødvendig ekstrautstyr.
2. Ha en utforming og bestå av materialer som ikke er skadelig for fisken. Inneha robusthet med hensyn til identifiserte ulykkesituasjoner og hendelser.
3. Være mulig å inspisere slik at innhegnings tilstand kan kontrolleres, repareres og utbedres. Notposen skal være sammensatt av tekstilmaterialer og ha nødvendig kapasitet til å tåle de påvirkningene som notposen påføres av miljølast, bruk og håndtering.
4. Notposen skal prosjekteres i forhold til flyter og forankring for å sikre samvirke mellom disse hovedkomponentene. Ekstra utstyr som utspillingssystem, utstyr for oppsamling av dødfisk.

Lukkede og semilukket innhegninger uten naturlig gjennomstrømming av vann, vil tvinge fram endringer i det ytre strømningsbildet rundt det innvendige volumet av innhegningen og vil være påvirket av trykkforskjeller mellom indre og ytre vann og av vannets relative tetthet.

Følgende skal beregnes, dokumenteres og tas hensyn til ved dimensjonering: Største tillatte og minste relative forskjell mellom ytre vannlinje og indre vannlinje i statisk likevekt.

Innhengningens hydrostatiske stabilitet sammen med plassering av innhegningens oppdrifts og massesenter.

Innvendig vannmengde skal tas med i systemets totale masseregnskap og akvakulturanleggets effekt av fri væskeoverflate og forskyvning av masse og oppdriftssenter ved påførte krenagementer. Innhengningens største ytre og indre trykk med resulterende differensialtrykk som gir dimensjonerende last i innhengningen.

Fra kombinasjoner i ytre lastbidrag skal resulterende trykklast og trykkpåkjenning på innhegningens vegger og bunn dokumenteres: for lukkede fleksible innhegninger skal indre vannlinje alltid være høyere enn ytre vannlinje, for å sikre at formen på innhegningen opprettholdes under varierende tetthet og relative trykk. Samlet restoppdrift i akvakulturanleggets skal dokumenteres ved full vannfylling opp til øverste fribord og ved største relative tetthetsforskjell mellom ytre og indre vann. For innhegninger skal en øvre og nedre grenseverdi for kritisk tetthetsforskjell mellom ytre og indre vannmengde dokumenteres: I akvakulturanlegg med overtrykk eller hvis det oppstår undertrykk, skal det være automatisk varsling ved pumpestopp eller overvannssystem dersom en overstiger kritisk overhøyde trykk.

Systemets skal ha redundans og gå til sikker tilstand ved feil. Systemets pålitelighet skal utarbeides og framlegges som dokumentasjon av akvakulturanlegget. Det skal også være automatisk alarm ved tap av pumpetrykk/ lekkasjer og påfølgende tømming av anlegg. Innhegningens elastisitet. Ved lav elastisk stivhet i innhegningen vil økning av det indre trykket kunne føre til at innhengningen utvider seg og sprekker, eller til at akvakulturanlegget synker pga. manglende restoppdrift. [16]

Konseptet bak en eksponert havbruksmerd er at den kan utestå miljøpåkjenninger fra en værhard lokasjon, mens at den holder fiskevelferd og sikkerhetsoperasjoner intakt. Rømningssikkert og lussikkert, kan det også være. Full automatisering, operativ ved 2- 4 mann og halvt nedsynket i vann ved Ocean Farm 1. [10]

6. Programvare

SIMO

Den eksponerte merden Ocean Farm 1 (figur 9), er laget ved å koble SIMO-RIFLEX modell i SIMA, [SIMA \(sintef.no\)](http://SIMA.sintef.no). Pontongene er laget ved hjelp av Sesam-programmene GeniE og HydroD, før de importeres til SIMA som SIMO-kropper.

SIMA kjører en statisk-, dynamisk og egenverdianalyse. Den statiske analysen viser at komponentene i konstruksjonen opplever små krefter og momenter sammenlignet med kritisk knekkspenning og materialets flytspenning.

Utmatting kan da på sikt bli den viktigste årsaken til brudd. Definisjonen på utmatting er en syklisk varierende belastning. Den dynamiske analysen viser at systemet tillater store horisontale forskyvninger. Det resulterende maksimale ankerlinestrekket var innenfor designkravene for ekstreme værtilstander. Forskyvninger og akselerasjoner i y- og z-retning var generelt små.

Egenverdianalysen viser at svingeformene som preger den dynamiske responsen, med svært lange bølgeperioder. Konstruksjonen vil ha lite respons av bølgefrekvenser. [10]

Innenfor marine operasjoner, offshore og fortøyning er SIMO-RIFLEX modell i SIMA brukt.

Erfaringer fra offshore med SIMA – programvare:

1. Inkluderer et hvilket som helst antall separate organer i simuleringene. Slank strukturmodellering av fortøyningslinjer, stigerør, sener, hoppere, bøyer og fleksible skjøter. Velg mellom fulldynamisk og forenklet kontaktmodell for fortøyningslinjer og stigerør.
2. Modellering av thrustere og DP (dynamisk posisjonering) systemer.
3. Hydrodynamiske koeffisienter lest inn fra HydroD.
4. Regelmessige eller uregelmessige bølger med strøm, dønninger og vind.
5. Statisk analyse og beregning av linjekrefter/momenter, krumning og forskyvninger.
6. Tidsdomenedynamisk analyse med tidsserieutgang av resultater.
7. ULS-koden kontrollerer for metalliske stigerør i henhold til DNVGL-ST-F201 og ISO 13628-7.
8. Kombinerte lasteresultater, inkludert 3D-konturplott og 2D-grafer av kodeutnyttelsesfaktorer langs stigerøret. 3D-animasjon av fartøy og linjeforskyvninger.
9. Dataeksport til Sesam strukturanalysemoduler for detaljert elementanalyse av flyteren. [18]

AquaSim

AquaSim brukes når du vil betrakte bølger, strøm og vind, innenfor et tidsintervall. Den dekker alle områder for akvakultur; Da de har demoer av lukkede anlegg, semi-lukkede, komplekse systemer, fortøyning, flåte, not, marine operasjoner og for ekstra utstyr på hjemmesiden deres. Se figur 10.

AquaSim tar hensyn til interaksjon og kraftoverføring mellom stive og fleksible komponenter av ulike materialer, tverrsnitt og elastisitet. Det er et ideelt program for analyse av plastkonstruksjoner eller bevegelige stålkonstruksjoner.

Den er også velegnet for slanke strukturer utsatt for store deformasjoner og ikke-lineær oppførsel. Spesialiserte elementmodeller for gjengivelse av nylonnett og presenninger i kombinasjon med bjelker og takstoler.

En fortøyningsanalyse dokumenterer hvordan et fortøyd system reagerer på miljøbelastninger. Dette er en effektiv måte å avsløre kapasiteten til fortøyningskomponentene, ved hjelp av fagverk-, bjelke- og membranelementer for å gjengi tau, kjetting, flytekrager og nøter.

I klassiske oppdrettsanlegg er nota den eneste barrieren mellom fisken og åpent hav. Å sikre tilstrekkelig kapasitet er viktig med tanke på rømming av fisk. Mulighet til å forutsi spenninger og krefter i nota og tilhørende utstyr.

Semi-lukkede systemer består av en ugjennomtrengelig barriere i kombinasjon med åpent nett. Målet med slike systemer er å bedre miljøet og beskytte fisken mot parasitter som lakselus. Luseskjørt er et effektivt virkemiddel for å redusere utfordringer med lakselus. Men samtidig bidrar det til forstørrede krefter i både merden og fortøyningssystemet. Dette skyldes at vann hindres i å strømme gjennom skjørtet og må finne en vei rundt hindringen. Modellering og analyse er tilgjengelig med et spesialutviklet verktøy for denne typen konstruksjon.

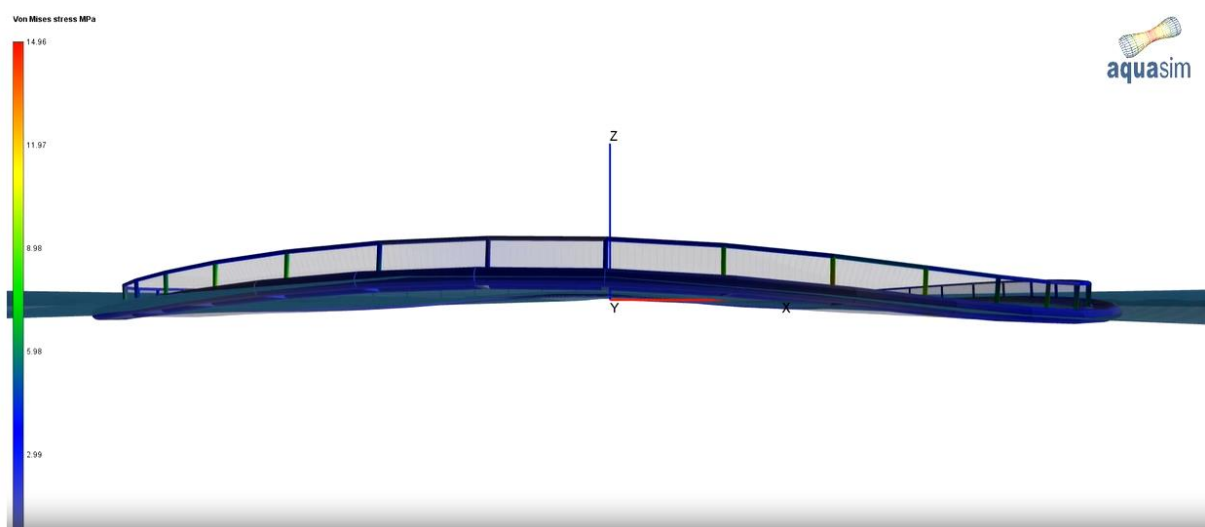
Lukkede anlegg som anvendes i oppdrettsnæringen består av en helt ugjennomtrengelig barriere mellom fisken og åpent hav. Denne typen konstruksjoner vil introdusere andre lastscenarier sammenlignet med klassiske åpne merder.

Flyteflåter og flåter er utstyrt med avanserte verktøy for daglig drift av et oppdrettsanlegg. På grunn av vekt og størrelse kan en flåte oppføre seg omtrent som en flåte i vann, kan gjøre fortøyningen utsatt for laststopper fra lekterresponsen. AquaSim kan anvendes for deteksjon av sannsynlige lasttopper og verifisering av fortøynings bidrag til globalt moment i skroget.

AquaSim forutsier krefter og spenninger i tidsdomenet, noe som gjør det egnet for analyse av operasjoner. Det kan brukes til brønnbåtoperasjoner, laste- og lossing, løfteoperasjoner og mange flere. Analyse av drift bidrar til økt sikkerhetsnivå på oppdrettsanlegget.

Tilleggs- og ekstrautstyr er tekniske hjelpemidler som monteres på oppdrettsmerder for å lette driften eller forbedre miljøet for fisk. Dette kan være vinsjutstyr, fjerning av dødfisk, dypvannsføringssystemer, lys og så videre. Slikt utstyr vil i varierende grad påføre merdene statiske og dynamiske belastninger.

Gjennom fiskeridirektoratets ordning for utviklingstillatelser, utvikles nye og ambisiøse produksjonssystemer for akvakulturformål. AquaSim håndterer ikke-lineær oppførsel og stor respons på grunn av eksterne og interne krefter. [19]



Figur 10: AquaSim, modell av havbruksanlegg og hydroelastisitet [20]

7. Miljøpåkjenninger og dimensjonering

Når en skal konstruere et oppdrettskonsept, er det nødvendig med lokalitetsundersøkelser. Den mest egnede lokaliteten finnes ved å sammenligne flere lokaliteter. En undersøker da bunnforhold, vindforhold, strømningsforhold og bølger. En aktuell lokalitet skal beskrives med kart-nummer og kart-koordinater etter UTM-systemet (topografi). Dokumentasjon av eksponeringsgrad gir grunnlag for miljølastberegninger. Undervannstopografi gir plassering av bunnfester og undervannsskjær.

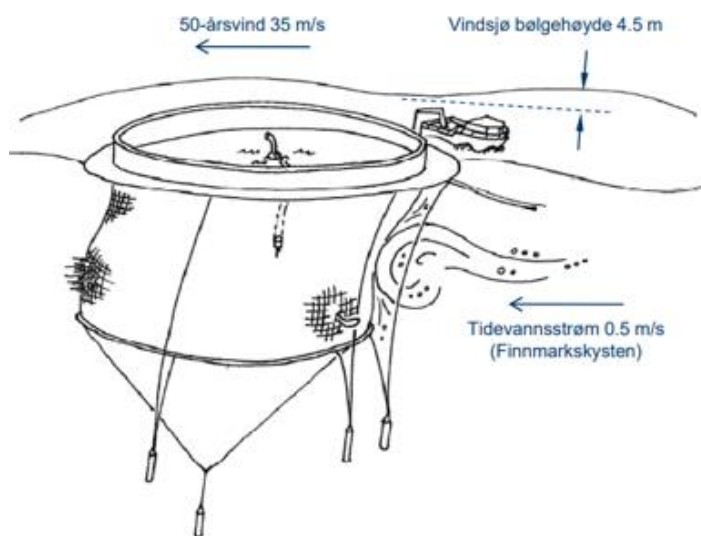
Notpose, flytekrage og fortøyning er utsatt for miljøpåkjenninger. Se figur 11.

Notlin, lastbærende elementer og koblingselementer skal ha nødvendig kapasitet til å tåle laster og slitasje under bruk og håndtering ved det akvakulturanlegget de skal benyttes på.

Notlinet som er festet til lastbærende elementer, har en høyere bruddtøyning enn de lastbærende elementene. Maskeåpning i notlin skal velges ut fra den minste størrelsen på fisken, slik at den ikke kan rømme.

Flyter (Flytekrage) skal forebygge rømming av fisk, ved å ha en innhengning som kan ta opp laster og ha en rett form. Den vil ha en tilstrekkelig oppdrift og stabilitet av akvakulturanlegget, inneha robusthet for ulykker og være mulig å inspisere for vedlikehold.

Fortøyning (Flåte) skal inneha global og lokal kapasitet og være tilpasset materialet det er laget av. Inkludere de lastbidragene som inntreffer; Strøm, bølger, vind og is. [16]



Figur 11: Flytende oppdrettsanlegg, og miljøpåkjenninger [21]

Dimensjoner til notlin; Maskesiden finnes, for firkantmasker som er rektangulær eller kvadratisk, strukket 100g, ved å måle lengden over minst 10 masker, og dele denne verdien på antall masker. Maskesiden skal måles tre forskjellige steder på notlinet, oppgis som gjennomsnittlig verdi, og avrundes til nærmeste halve millimeter.

Maskeåpning er indre avstand mellom to motstående knuter, som er strukket med 10 N, eller 200g over to stolper. Dette får en gjennomsnittet av knutelengden ved 10 målinger. Alternativt indre omkrets av masken delt på 2.

Trådtykkelse; Tråden er strukket med 100g, diameteren måles minst 10 steder på de 5 tykkeste og 5 tynneste delene, diameteren settes som gjennomsnitt av målingene.

Ekvivalent maskeside for sekskantmasker M_s :

$$M_s = \frac{l_k - t \cdot \sec(\theta)}{2} + \sqrt{\left(\frac{M_h}{2}\right)^2 + \left(\frac{M_b}{2} - L_k + t \cdot \sec(\theta)\right)^2}$$

Der

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{2 \cdot t}{\sqrt{(M_b - 2 \cdot L_k)^2 + M_h^2}}\right) + \sin^{-1}\left(\frac{M_b - 2 \cdot L_k}{\sqrt{(M_b - 2 \cdot L_k)^2 + M_h^2}}\right)$$

L_k = knutelengde

M_h = maskehøyde

M_b = maskebredde

t = tråddiameter

Soliditet S, forholdet mellom projisert notlineareal og totalt areal på et notpanel:

$$S = \frac{2 \cdot t \cdot M_s + t^2 + D^2 - 2\sqrt{2} \cdot D \cdot t}{M_s^2}$$

D = knutediameter

For sekskantmasker kan soliditet beregnes med følgende formel:

$$S = \frac{8 \cdot t}{M_h \cdot M_b} \cdot \left[\frac{3}{8} \cdot L_k + \left(\frac{M_h}{4} - \frac{3}{4} t \right) \cdot \sec(\theta) + \frac{9}{32} \cdot t \cdot \tan(\theta) \right]$$

Der

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{2 \cdot t}{\sqrt{(M_b - 2 \cdot L_k)^2 + M_h^2}}\right) + \sin^{-1}\left(\frac{M_b - 2 \cdot L_k}{\sqrt{(M_b - 2 \cdot L_k)^2 + M_h^2}}\right) [16]$$

7.1 Strøm

Strømkreftene er den største statiske miljøkraften som virker på oppdrettsanlegg. Ser bort i fra variasjoner i strøm avhengig av dybde, er strømkreftene konstante og kan beregnes ved Morrisons likning:

$$F_{CU} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_D \cdot U_{cu} \cdot |U_{cu}| \cdot A$$

ρ = Tettheten til sjøvann

$C_D = 0,7$ = Dragkoeffisient [22]

U_{cu} = Strømhastighet

7.2 Bølger

En regulær bølge kan beskrives med følgende bølgekarakteristikker:

$$H_{max} = 1,9 \cdot H_s$$

$$c = \frac{\lambda}{T} = \frac{\omega}{k}$$

$$f = \frac{1}{T}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

H_s = Signifikant bølgehøyde

λ = Bølgelengde

c = Fase hastighet, forplantningshastigheten til bølgen

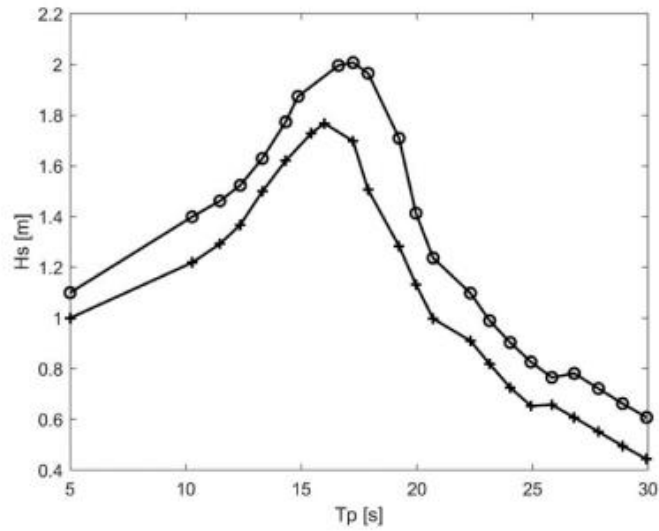
f = Bølgefrequens

k = Bølgenummer

ω = Vinkelhastighet

T = Bølgeperiode

Se figur 12.



Tegnforklaring

- o-- kombinasjoner av H_s - T_p med en returperiode på 50 år
- x-- kombinasjoner av H_s - T_p med en returperiode på 10 år

Figur A.1 – Eksempel på kombinasjoner av H_s - T_p for en returperiode på 50 år og 10 år

Figur 12: Benevning på kombinasjoner av H_s - T_p , for en returperiode på 50 år og 10 år [16]

For dypt vann er $h > \lambda \frac{1}{4}$

$$\omega^2 = g \cdot k \rightarrow c = \sqrt{\frac{g}{k}} = \frac{g}{\omega}$$

$$\eta = \frac{H}{2} \cdot \sin(\omega t - kx)$$

η = Bølgeprofil

Lineær bølgeteori forutsetter at bølgekrappheten er liten ($\frac{H}{L} \ll 1$) og at vandypet er større enn bølgehøyden ($\frac{d}{H} > 1$).

Når en regner med hydrodynamiske bølgekrefter er Morrisons formel brukt i tilfeller hvor:

Sinusbølgen bryter ikke ($H/\lambda \leq 0,2$)

Diameteren D på konstruksjonselementer nedsenket i vann er mindre enn 0,2 ganger bølgelengden.

Bevegelsen av konstruksjon A/D er mindre eller lik 0,2.

$$F = (C_m + 1)\rho \cdot a \cdot V \cdot \frac{1}{2}\rho \cdot C_D \cdot u \cdot |u| \cdot A$$

F = Kraft på legemet

V = Volumet av legemet

a = Væskens akselerasjon

u = Væskens partikkelhastighet

A = Eksponert areal

$C_a = C_m = 1$ = Tilleggsmassekoeffisient for forstyrret trykk.

$C_M = (C_a + 1) = (C_m + 1) = 2$ = Massekoeffisient [23]

Koeffisientene C_M og C_D er avhengig av mange parametere. Reynolds tall og ruhet eller tverrsnittsform fra tabeller brukes i overslagsberegninger. Morrisons formel er ikke tilstrekkelig i seg selv.

$$C_D = \frac{2F}{\rho \cdot D \cdot u_a \cdot |u_a|}$$

$$C_M = \frac{4F}{\pi \rho D^2 \cdot \omega u_a}$$

$$R_e = \frac{u_a \cdot D}{\nu}$$

D = Diameter

u_a = Væskens partikkelhastighetsamplitude

$\dot{u}_a = \omega u_a$ = Væskens akselerasjonsamplitude

$\nu = \frac{\mu}{\rho}$ = Kinematisk viskositet

$\nu = 1cSt = \frac{10^{-6}m^2}{s} = 1 \frac{mm^2}{s}$ Ved en vanntemperatur på $20^\circ C$ [24]

μ = Dynamisk viskositet

ρ = Tettheten til sjøvann

R_e = Reynolds tall

$$KC = \frac{u_a \cdot T}{D}$$

KC = Keulegan Carpenter tall

$$\frac{\varepsilon}{D} = \text{Ruhet [25]}$$

$$\varepsilon = k = \text{Ruhet høyde [22]}$$

Moment om konstruksjons bunn:

$$M(t) \approx \frac{2}{3} \cdot h \cdot F(t)$$

7.3 Vind

Overdel av anlegget

Vindlast beregnes slik:

$$U_{max} = U \cdot (0,76 + 0,14 \cdot \log(N))$$

Der U kan hentes fra metrologisk stasjon [26]

$U_{10} = 41 \text{ m/s}$ som brukes for norsk sokkel, ved overdimensjonering.

N = returperiode antall år.

$$F_{W1} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_D \cdot U_{W1} \cdot |U_{W1}| \cdot A$$

$$U_{W1} = U_{max}$$

$$C_D = 1 = \text{Dragkoeffisienten [22]}$$

A = Eksponert areal normal på vindretning

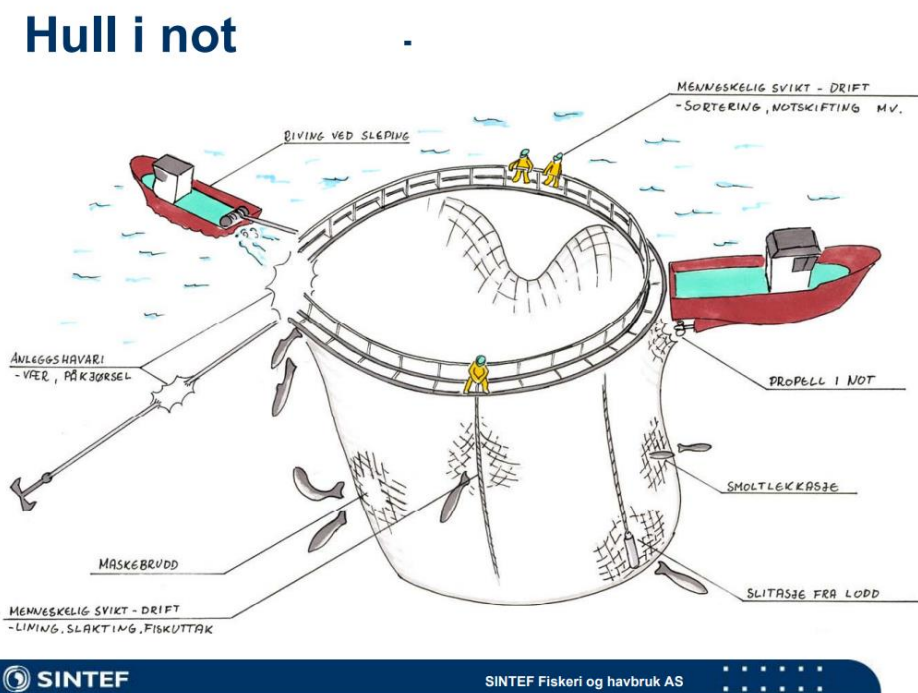
$$\rho = \text{Tetthet til luft } 1,25 \text{ kg/m}^3$$

7.4 Is og snø

For is og snølast er tyngdetettheten oppgitt til 850 kg/m^3 , og det kan dimensjoneres for is opp til 10 meter over havoverflaten. Minst 3 døgn benyttes.

8. Diskusjon

Hver type merd har sine fordeler og utfordringer. Fiskerømming er et betydelig problem, og sikkerheten til oppdretterne må opprettholdes. Se figur 13. Det er avgjørende å ta tak i dimensjoneringsfeil tidlig, som for eksempel styrke til not. I tillegg bør miljøhensyn tas for å sikre bærekraftige konstruksjonsvalg som fremmer fiskevelferd og hindrer marin forsøpling langs kysten. Se figur 14. For å forhindre rømming av fisk, arbeides det med å forbedre sikkerheten og styrke noten for å motstå sprøbrudd og utmatting. Notene er konstruert slik at kreftene er fordelt over en innhegning for en åpen merd. Eksponerte merder er designet for å tåle tøft klima. Lukkede eller semi-lukkede merder kan delvis hindre fisken i å rømme. Konseptet med merd bidrar til å forenkle dimensjonering, forhindre begroing, hindre at fisk rømmer ved å ivareta sikkerheten, bruke analyseverktøy og velge riktig merd. Eksponerte merder kan plasseres lenger ut, krever færre operatører og er motstandsdyktige mot bølger, vind og strøm. Semi-lukkede og lukkede merder kan gi bedre fiskevelferd. Vanlige åpne merder har ofte luseproblemer. Kostnadsaspektet ved ulike merdtyper har blitt oversett. I dette tilfellet er det tilrådelig å velge en eksponert merd som dekker flere områder. Det er flere problemer med dimensjonering, som de varierende maskestørrelsene på nøter og vanskeligheten med å beregne formler. Det er essensielt å ha håndberegninger tilgjengelig, men det blir stadig viktigere å ha programvare som kan håndtere komplekse grenseforhold og belastningstilfeller for miljøpåkjenninger. Vedlikeholdsutfordringer inkluderer rensing av begroing og gjennomføring av krevende dykkeoperasjoner.



Figur 13: Rømming av fisk [21]



Figur 14: Finnvær fyr, ved Froan naturreservat

9. Konklusjon

Ved å undersøke spesifikasjoner og krav til akvakulturkonstruksjoner, har jeg fått forståelse for flytende akvakulturanlegg. Disse konstruksjonene omfatter alle aspekter av havbruksnæringen, inkludert notpose, flytekraige og fortøyningsspesifikasjoner. I tillegg er det en økende etterspørsel etter bærekraftige servicefartøy og prosedyrer som kommer både selskapet og personell til gode. Videre har jeg utforsket programvarealternativene som er tilgjengelige for utforming av oppdrettsanlegg og etterlevelse av lokalitetsforskrifter, spesielt i forhold til miljøpåkjenninger. Jeg har implementert formler for bølger, vind og strøm for å etablere grenseforhold, som bestemmer hvordan værphenomener vil påvirke anlegget over en 10-års og 50-års tidsramme. Til slutt har jeg fått kunnskap om organisasjonsstrukturen i oppdrettsnæringen, som består av både små og store bedrifter som bidrar med kompetanse innen utsetting av fisk i havet. Jeg har også studert opprinnelsen og utviklingen til oppdrettsnæringen, fra 1970-tallet og frem til i dag, samt dens økonomiske vekst og driftspraksis. For tiden er oppdrettsnæringen fokusert på å avansere mot semi-lukkede, lukkede og eksponerte merder, med bekymringer angående en ny grunnrenteskatt.

9.1 Videre arbeid

Jeg har muligheten til å bruke AquaSim eller SIMA for å se ulike akvakulturanleggsmodeller. Graden av forskjell mellom ulike beregningsprogrammer varierer, med SIMA som vanligvis brukes til offshore konstruksjon og AquaSim spesialisierer seg på ulike merder. Det kan være avgjørende å etterspørre mer standardiserte metoder for å beregne krefter i havbruksnæringen. I tillegg er det potensiale for videre arbeid med å bestemme dimensjoneringskriteriene for flytekragen og fortøyningen.

Referanseliste

- [1] Arnesen, Odd Arne (2022) *Towards a cleaner ocean* [Hjem | Mausund Feltstasjon, Eider AS | Bærekraftig utvikling i havet](#)
- [2] Ernstsén, Ann - Helen (2022) *Årsakene til marin forsøpling fra havbruk* [Årsakene til marin forsøpling fra havbruk | Senter mot marin forsøpling \(marfo.no\)](#)
- [3] FN (2022) *Livet i havet* [Livet i havet \(fn.no\)](#)
- [4] Havbruksavdelingen (2021) *Norsk havbruksnæring* [Norsk havbruksnæring - regjeringen.no](#)
- [5] Rørtveit, Hanna (2022) *Sjømat Norge foreslår midlertidig overgangsordning til ny lakseskatt* [Sjomatnorge.no Sjømat Norge foreslår midlertidig overgangsordning til ny lakseskatt - Sjomatnorge.no](#)
- [6] Korsnes, Malin Kjellstadli (2022) *87000 torsk rømte frå oppdrettsanlegg* [87.000 torsk har rømt frå oppdrettsanlegg hos Gadus Group i Volda – NRK Møre og Romsdal – Lokale nyheter, TV og radio](#)
- [7] Wikipedia (2018) *Merd* [Merd – Wikipedia](#)
- [8] Misund, Andreas Ugelvik; Thorvaldsen, Trine (2022) *Nye produksjonssystemer i havbruk* [SINTEF Open: Nye produksjonssystemer i havbruk - utfordringer og muligheter \(unit.no\)](#)
- [9] Bakken, Idun; Torset, Nora (2021) *Krevende operasjoner langs merdekanten* [NTNU Open: Krevende operasjoner langs merdekanten](#)
- [10] Anda, Ina (2019) *Statisk og dynamisk responsanalyse av salmar offshore havbruksanlegg* [NTNU Open: Statisk og Dynamisk Responsanalyse av Salmar Offshore Havbruksanlegg](#)
- [11] Fjeldvær, Bernt, *Formidler havbruk, Kystmuseet i Sør-Trøndelag*
- [12] Diverse merder, *Digitalt museum* [www.digitaltmuseum.no/search/?q=merde&aq=owner%3F%3A"KST"&o=0&n=108](#)
- [13] Solheim, Christian (2015), *EN KYSTNÆRING I EMNING EN STUDIE AV OPPDRETTSNÆRINGENS AKTØRER I GJENNOMBURDDÅRENE PÅ 1970-TALLET* [133478884.pdf \(uib.no\)](#)
- [14] Store merder, *Mattilsynet* [www.hi.no/resources/Store-merder-Mattilsynet-v2.pdf](#)
- [15] Hammer, U. Hans (2012) *Kystmuseet i Sør-Trøndelag, Havbruksnæringas historie på Nordmøre, s11-21: Historisk tilbakeblikk på oppdrett, bok*
- [16] Standard Norge NS9415 (2021) *Flytende akvakulturanlegg Lokalitetsundersøkelse, prosjektering, utførelse og bruk*
- [17] Fiskeridirektoratet (2022) *Kunnskap fra utviklingsprosjektene* [Kunnskap fra utviklingsprosjektene \(fiskeridir.no\)](#)
- [18] DNV (2023) *Marine operations and mooring analysis software* [Marine operations and mooring analysis software | Sima \(dnv.com\)](#)
- [19] AquaSim (2023) *Aquaculture* [Aquaculture | AquaSim](#)
- [20] AquaSim (2023) *The AquaSim Package* [The AquaSim Package | AquaSim](#)

- [21] Lien M., Andreas; Bjelland V., Hans *Fremtidens oppdrettsnot* (2010) [Fremtidens oppdrettsnot – rømmingssikker og begroingsfri: Arbeidsmøte \(fhf.no\)](#)
- [22] Høgskolen på Vestlandet Forelesningsnotater (2020) *Drag_masse_koeffisient* [13 drag masse koeffisient.pdf \(hvl.no\)](#)
- [23] Høgskolen på Vestlandet Forelesningsnotater (2021) *Bølgekrefter* [10 Bølgekrefter Morison.pdf \(hvl.no\)](#)
- [24] Wikipedia (2023) *Viskositet* [Viskositet – Wikipedia](#)
- [25] TU Delft (2005) *OFFSHORE HYDRODYNAMICS* [Module4b \(tudelft.nl\)](#)
- [26] Norsk Klimacenterservice (2023) *Seklima* [Observasjoner og værstatistikk - Seklima \(met.no\)](#)

