



**Nr C 380**  
Februari 2018

## Produktion av ostronygel (*Ostrea edulis*) i havsbaseerade tankar

Biologisk och teknisk förstudie

Åsa Strand, Anna-Lisa Wrangle, Per Hogström, Johan Wedel Nielsen, Per Persson och Katrin Persson



Ett samarbete mellan: IVL Svenska Miljöinstitutet, Bohus Havsbruk, Chalmers och Aquamind

**Författare:** Åsa Strand och Anna-Lisa Wrangé (IVL Svenska Miljöinstitutet), Per Hogström (Chalmers), Johan Wedel Nielsen (Aquamind), Katrin Persson och Per Persson (Bohus Havsbruk),

**Medel från:** Jordbruksverket, Dnr.

**Fotograf:** Åsa Strand

**Rapportnummer** C 380

**ISBN** 978-91-7883-027-5

**Upplaga** Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© **IVL Svenska Miljöinstitutet 2018**

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm

Tel 010-788 65 00 // [www.ivl.se](http://www.ivl.se)

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem

# Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	5
Summary .....	6
1. Inledning .....	7
2. Bakgrund .....	9
3. Odlingsbiologi av platta ostron .....	11
3.2 Föda och tillväxt .....	13
3.3 Miljöfaktorer som påverkar tillväxt .....	14
3.4 Orsaker till dödlighet hos larver och yngel .....	16
4. Dammodlingssystem för produktion av ostronyngel .....	17
4.1 Extensiv dammodling.....	17
4.1.1 Studiebesök 1: Rossmore .....	17
4.1.2 Studiebesök 2: Tralee bay hatchery .....	19
4.1.3 Litteraturstudie: Havsbaserade ogödslade system .....	20
4.1.4 Litteraturstudie: Pollar .....	20
4.2 Semi-intensiv dammodling .....	24
4.2.1 Studiebesök 3: Venø.....	24
4.2.2 Litteraturstudie: Green water culture.....	25
4.3 Intensiva odlingssystem.....	28
4.3.1 Studiebesök 4: Danskt skaldjurscenter och kunskapsinhämtning från Ostrea Aquaculture .....	28
4.4 Semi-slutna odlingssystem.....	29
4.4.1 Studiebesök 5: Neptun 3.....	29
5. Biologiska och tekniska utmaningar och ställningstaganden .....	31
5.1 Moderostron och konditionering.....	31
5.2 Optimering av lek.....	32
5.3 Förberedelse av dammar och utrustning samt skötsel av larver.....	33
5.3.1 Filtrering av inloppsvatten och flöden .....	33
5.3.2 Skötsel av larver och yngel.....	35
5.4 Bottenfällning och yngelkollektorer .....	36
5.5 Stabilitet och belastning .....	37
6. Odlingsprotokoll.....	38
6.1 Förberedelser.....	38
6.2 Moderostron.....	38
6.3 Larvövervakning bottenfällning .....	39
6.4 Skörd av yngel .....	40
6.5 Kontinuerlig skötsel och övervakning .....	40
7. Tekniska lösningar – ett nytt havsbaserat system.....	42

7.1 Geometri .....	42
7.1.1 Sidoväggar .....	44
7.1.2 Flyttank .....	45
7.1.3 Bottensektion .....	45
7.1.4 Botten .....	46
7.1.5 Fästbeslag för förtöjning .....	46
7.1.6 Värmereglering av odlingen .....	47
7.1.7 Energiförsörjning .....	47
7.2 Stabilitet .....	47
7.3 Sjöegenskaper .....	50
7.4 Laster på strukturen .....	51
7.5 Hållfasthet .....	52
7.5.1 Skarvar och skruvförband .....	53
7.5.2 Finit element analys (FEA) .....	54
7.6 Förtöjningsarrangemang .....	55
7.7 Filtrering och pumpning .....	56
Tack till .....	58
Referenser .....	59
Appendix A: Vindlastberäkning enligt Eurocode .....	64
Calculation of peak velocity pressure .....	64
Reference area and height .....	64
Basic wind velocity .....	64
Terrain roughness .....	65
Orography factor .....	65
Mean wind velocity .....	65
Wind turbulence .....	65
Basic velocity pressure .....	66
Peak velocity pressure .....	66
Wind velocity corresponding to peak velocity pressure .....	66
Calculation of wind forces on the structure .....	67
Structural factor .....	67
Reynolds number .....	67
Effective slenderness .....	67
End effect factor .....	68
Equivalent surface roughness .....	68
Force coefficient without free-end flow .....	68
Force coefficient .....	68
Total wind force .....	68
Additional notes .....	69

# Sammanfattning

Ett av de mest värdefulla tvåskaliga blötdjuren i Sverige är det platta ostronet, *Ostrea edulis*, och intresset för odling av arten är stort. Kommersiell odling av *O. edulis* hindras dock i dagens läge av brist på yngel då varken havsbaserad insamling av yngel med kollektorer eller landbaserade kläckrier har kunnat producera en tillförlitlig tillgång till yngel. Yngel kan inte heller importeras på grund av skillnader i populationsgenetiska strukturer mellan svenska och europeiska platta ostron samt på grund av risk för sjukdomsspridning.

För att stärka utvecklingen av det svenska vattenbruket, och framförallt ostronsektorn, krävs därför utveckling av alternativa tekniker för produktion av yngel. En metod som får allt mer uppmärksamhet på en internationell arena är dammproduktion av ostronyngel. På grund av ett högt exploateringsstryck på den svenska västkusten är dock tillgången till mark för konstruktion av dammar begränsad, speciellt i områden med god vattenkvalitet.

Projektets övergripande syfte är därför att bidra till utvecklingen av den svenska ostronindustrin genom utveckling av alternativa metoder för produktion av ostronyngel. Vi kommer bidra till detta genom framtagandet av en odlingsmanual för dammproduktion av ostronyngel och skapandet av en virtuell prototyp av en havsbaserad tank för kläckning av yngel. Odlingsmanualen och prototypen skapas utifrån sammanställning av biologisk och teknisk kunskap som inhämtats under studiebesök på landbaserade dammodlingsanläggningar och litteraturstudier.

## Summary

One of the most valuable bivalve species in Sweden is the European flat oyster, *Ostrea edulis*, and the interest in aquaculture of the species is high. Commercial culture of the species is, however, hampered by access to spat as neither sea based collection nor hatchery production have been able to provide reliable sources of seed. In addition, import of spat is not an option due to variations in population genetics in oysters from Sweden and Europe and due to the risk of pathogen transfer to the disease free oyster populations in Sweden.

Consequently, there is a need to develop alternative methods to produce oyster spat to support the development of the local aquaculture sector in Sweden in general, and the oyster industry in particular. One method that is receiving increasing attention internationally is pond based production of oyster spat. However, due to a high exploitation pressure on the coastal areas along the Swedish west coast, access to land for pond construction is limited, especially in areas with suitable water quality.

The aim of this project is therefore to contribute to the expansion of the oyster sector by developing alternative methods for oyster spat production. We will do this by developing both a culture manual for pond production of oyster spat and a virtual prototype of a sea based pond system for spat production. The work is based on study visits to existing land based pond culture systems and literature reviews. The results from the project are presented in the present report.

# 1. Inledning

Detta projekt har finansierats av Jordbruksverket genom riktade satsningar inom livsmedelsstrategin. Projektets övergripande syfte är att skapa förutsättningar för en svensk produktion av det platta ostronet *Ostrea edulis* genom utveckling av alternativa tekniker för produktion av ostronyngel. Följande mål har definierats för projektet:

1. Producera en odlingsmanual för dammproduktion av ostronyngel
2. Skapa en virtuell prototyp av en havsbaserad tank för kläckning av yngel

De dammodlingssystem som används för produktion av ostronyngel kan delas in i extensiva, semi-intensiva och intensiva odlingsystem. Kort sammanfattat innebär extensiva odlingsystem att man förlitar sig på naturliga processer, att inget foder tillsätts, systemen baseras på lågteknologiska lösningar och kräver en relativt liten arbetsinsats. Semi-intensiva odlingsystem utgörs av system som är mer tekniskt krävande och som kräver mer övervakning och hantering jämfört med extensiva system. Intensiva odlingsystem omfattar de mest komplexa och arbetsintensiva systemen som ofta är dyra både i uppbyggnad och drift och som kräver personal med hög kompetensnivå. Odlingssystemens komplexitet kan variera mellan olika stadier i odlingscykeln, t.ex. så kan yngelproduktionen ske i intensiva landbaserade system medan tillväxtfasen sker i havsbaserade extensiva eller semi-intensiva system. I denna rapport fokuserar vi enbart på yngelproduktionsstadiet i odlingscykeln för ostron (kap 3), och prioriterar de extensiva (kap 4.1) och semi-intensiva (kap 4.2) dammodlingsalternativ som finns för produktion av ostronyngel. En extensiv teknik som vi inte kommer diskutera närmare är insamling av yngel med hjälp av havsbaserade kollektorer (se stycket "Bakgrund"), för mer information rörande denna teknik hänvisar vi till Dunér Holthuis et al. (2014). Vi har valt att också inkludera intensiva odlingsystem (kap 4.3) i begränsad omfattning i arbetet med detta projekt då delar av de tekniska lösningarna potentiellt skulle kunna tillämpas i anpassad form i semi-intensiva landbaserade eller havsbaserade system.

Informationen som presenteras i denna rapport baseras dels på erfarenheter från studiebesök genomförda inom ramen för detta projekt, och dels på beskrivningar av olika system i tidigare publicerad litteratur. Vi har valt att besöka en anläggning inom respektive systemkategori (extensiva, semi-intensiva och intensiva system) för att samla in biologisk och teknisk odlingsinformation om produktion av ostronyngel i dammar. Då urvalet av system är begränsat har vi valt att prioritera system som vi haft viss kännedom om och som enligt vår inledande bedömning haft stor potential att kunna tillföra viktig information för uppfyllandet av målen med detta projekt.

De anläggningar vi besökt är Rossmore (kap 4.1.1) som är ett exempel på extensiv dammproduktion av ostronyngel, Venø (kap 4.2.1) som är ett exempel på ett semi-intensiv dammproduktion av ostronyngel, och danskt skaldjurscenter (kap 4.3.1) som representerar ett exempel på intensiv produktion av ostronyngel. I samband med dessa besök har vi också fått möjlighet att besöka Tralee bay hatchery (kap 4.1.2) som också det kan uppvisa ett exempel på extensiv dammproduktion av ostronyngel. Vi har också valt att besöka en semisluten odlingsanläggning för fisk i detta projekt (kap 4.4). Detta har möjliggjort kunskapsinhämtning rörande anpassning av existerande tekniska lösningar (semislutna odlingsanläggningar) till den nya tillämpning som är ett av målen med detta projekt (en havsbaserad dammkonstruktion, kap 7).



Den information som samlats in genom studiebesök och litteratursök har ingått som en kunskapsbas för den analys som genomförs i kap 5. I detta kapitel problematiseras och analyseras den sammanställda informationen i kap 3 och 4, och vi resonerar kring olika ställningstaganden rörande tekniska lösningar och odlingsbiologiska förutsättningar relaterat till havsbaserad dammproduktion av ostronyngel. Detta skapar grundförutsättningarna för den odlingsmanual som tagits fram (kap 6) och för den tekniska utvecklingen av en ny typ av odlingsystem för havsbaserad dammproduktion av ostronyngel (kap 7).



## 2. Bakgrund

Ett av de mest värdefulla tvåskaliga blötdjuren i Sverige är det platta ostronet, *Ostrea edulis*. Idag skördas årligen ca 100 ton från det vilda beståndet, framför allt genom handplockning vid dykning. Marknadspotentialen är dock mycket större. I Europa skördas drygt 1 100 ton, och odlas 2 000 ton *O. edulis* årligen (FAO Global Capture Production, FAO Global Aquaculture production). I jämförelse är produktionen av odlade ostron i Sverige blygsamma 8 ton. Den inhemska produktionen av ostron täcker inte efterfrågan på den lokala marknaden, och årligen importerar ca 400 ton ostron (både *O. edulis* och Stillahavsostreon [*Magallana gigas*, tidigare *Crassostrea gigas*]) till Sverige.

I Europa har parasiter (*Bonamia ostreae* och *Martelia refringens*) och överfiske kraftigt minskat produktionen av det platta ostronet (Ospar 2008). Då dessa parasiter hittills inte påträffats i Sverige så finns goda förutsättningar för odling av *O. edulis*, vilket återspeglas i ett starkt intresse från både befintliga och nya vattenbruksaktörer.

Yngel för odling har traditionellt samlats in med hjälp av havsbaserade kollektorer. Sedan etablering av det främmande Stillahavsostreonet (*M. gigas*) 2006 så har möjligheten till insamling av yngel med denna teknik försämrats drastiskt. På kollektorerna bottenfaller numera inte bara det platta ostronet utan också yngel av Stillahavsostreonet, som ofta dominerar till antalet. Då odling av Stillahavsostreonet inte är tillåtet eftersom det klassas som en invasiv art, måste ostronynglen sorteras med avseende på art och alla Stillahavsostreonyngel måste destrueras. Detta är varken praktiskt eller ekonomiskt möjligt på grund av det stora antalet yngel som måste sorteras för att få fram en tillräcklig mängd yngel av platta ostron, samt att ynglen både är väldigt små och i vissa fall svåra att särskilja till art. Endast i något enstaka område längs svenska västkusten kan tillräckligt mycket yngel av platta ostron samlas in med denna teknik för att underhålla en småskalig ostronproduktion, vilket har stoppat utvecklingen av odling av det inhemska platta ostronet i Sverige.

Ett alternativ till havsbaserad insamling av ostronyngel är produktion i landbaserade kläckerier. Ett kläckeri för produktion av *O. edulis* yngel etablerades på Koster för ca 10 år, men då man haft problem med att få till en stabil produktion av ostronyngel har produktionen inte räckt för att tillgodose efterfrågan på yngel i Sverige. Att importera yngel från internationella kläckerier är inte heller ett alternativ då de importerade ynglen kan ha en annan genetisk populations struktur än de inhemska bestånden (Vera et al. 2016), och eftersom importerade yngel kan föra med sig patogener.

Ytterligare ett alternativ är landbaserad dammodling. Dammar har genom tiderna använts för odling av ostron i olika sammanhang. Det mest kända exemplet är kanske de franska konditioneringsdammar som odlade ostron placeras i för att få fram den önskvärda grönaktiga färgen på gälarna hos s.k. "Fines de Claires", dvs. ostron som betraktas som särskilt exklusiva på grund av denna behandling (Buestel et al. 2009), men det finns också exempel där ostron odlats i vatten från dammar med räkproduktion (Wang 1990) och där dammar använts som yngelkammare i vilka ostronyngel som producerats i kläckerier kan placeras för vidareväxt innan de placeras i havsbaserade system (Claus et al. 1981, Matthiessen 1983).

Sedan några årtionden tillbaka har dammtekniken också lyfts fram som en möjlig teknik för att producera ostronyngel genom kläckning direkt i dammarna. Grundprincipen för detta är att larver släpps i en landbaserad damm och sedan får klara sig på den föda som finns tillgänglig i dammen

tills de nått stadiet för bottenfällning, varpå skal eller kollektorer placeras i dammen som substrat för ynglen när de ska bottenfälla. Ynglen tas sedan om hand för vidare produktion.

Detta är en möjlig väg framåt för den svenska ostronindustrin, men på grund av ett högt exploateringsstryck på den svenska västkusten är dock tillgången till mark för konstruktion av dammar begränsad, speciellt i områden med god vattenkvalitet.

För att stärka utvecklingen av det svenska vattenbruket, och framförallt ostronsektorn, krävs därför utveckling av alternativa tekniker för produktion av yngel. Projektets övergripande syfte är därför att bidra till detta mål genom framtagandet av en odlingsmanual för dammproduktion av ostronyngel och skapandet av en virtuell prototyp av en havsbaserad tank för kläckning av yngel.

## 3. Odlingsbiologi av platta ostron

Det platta ostronet *Ostrea edulis* är ett tvåskaligt blötdjur och tillhör klassen *Bivalvia*, det vill säga musslor. Skalets halvor har olika form, den undre halvan som fäster mot underlaget är skålformad medan den övre halvan är mer platt och passar in i den undre halvan då skalet stängs.

Skalhalvorna är fästa vid varandra med ligament vid det s.k. umbo (Figur 1). När man öppnar ett ostron är det man ser tydligast gälarna, slutarmuskeln som håller ihop skalhalvorna samt magen. Beroende på vilken säsong det är kan också könskörtlarna synas tydligt, och under högsommaren kan mantelhålan hos honorna vara fylld med ostronlarver som inte släppts ut i vattnet än.

Ostronen växer på lätt sluttande sandbottnar i skyddade vikar på 3 - 8 meters djup och fiskas genom dykning. Det tar ca 3 år innan ostronet kan skördas. De svenska ostronen blir maximalt 15 cm men skördas i allmänhet när de är omkring 8–10 cm stora (Lindegarth 2012).

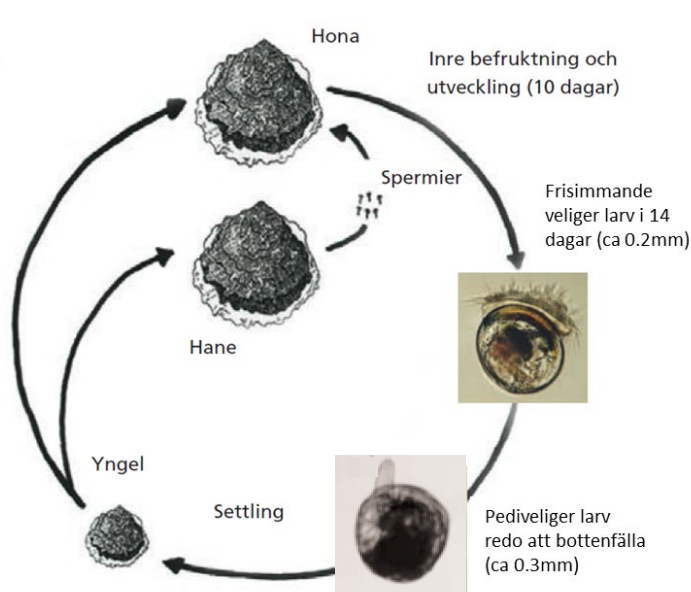


Figur 1. Anatomi för det platta ostronet *Ostrea edulis*. (Bilden t.v. från Lindegarth 2012).

### 3.1 Livscykel

Det platta ostronet har en komplex livscykel (Figur 2). De fortplantar sig första gången som hane vid 1–2 års ålder och nästa gång som hona (Cole 1941, Bayne 2017), och fortsätter att växla kön hela livet. Ostronets könsmognad startar på våren när vattentemperaturen når mellan 8 och 12°C (Gouletquer 2004, Lindegarth 2012). Könsorganen utvecklas sedan i takt med att temperaturen stiger i ca 28 - 56 dagar beroende på temperatur (Helm et al. 2004). Hur lång tid som krävs för att ostronen ska nå könsmognad kan räknas ut baserat på s.k. "dygnsgrader" vilket definieras som summan av differensen mellan rådande temperatur och temperaturen då könsmognaden inleds. För *O. edulis* tar det ca 150 - 250 dygnsgrader från det att gonadutvecklingen startar tills de är lekmogna (Mann 1979).

I Frankrike leken sker när vattentemperaturen når över 14 – 16 °C (Gouletquer 2004), men vid vilken temperatur som leken sker varierar mellan populationer i Europa (mellan 13 – 25 °C, Bromley et al. 2016). Under gynnsamma år kan både en vår- och en höstlek äga rum (Helm et al. 2004), men det är osäkert hur ofta detta sker i skandinaviska vatten. Vanligtvis sker leken mellan juni och september. Rekryteringsframgången för arten längs Skandinavien kuster är oregelbunden vilket kan bero på att arten lever längst norrut i sitt utbredningsområde och att relativt låga vattentemperaturer vissa somrar kan göra att fortplantningen försämras eller uteblir (Lindegarth 2012).



Figur 2. *Ostrea edulis* livscykel (modifierad från Lindegarth 2012)

Det platta ostronet har inre befruktning och yngelvård vilket skiljer dem från till exempel stillhavsostronet för vilken befruktning och larvutveckling sker i fria vattenmassan (Thompson et al. 1996). Hos *O. edulis* sker befruktningen genom att hanen släpper ut spermier i vattnet som honan sedan filtrerar in i sin mantelhåla där äggen befruktas (Figur 2). Larverna utvecklas sedan i honans mantelhåla under en till två veckor (7 - 12 dagar, beroende på temperatur). När larverna är cirka 170–200  $\mu\text{m}$  långa släpps de ut ur honan och går in i en frisimmande fas (Naas 1990, Helm et al. 2004). Antalet larver som släpps ut beror på åldern/storleken av moderostronet, med fler larver ju större moderostronet är. Även om ostron som är 1-2 år kan föröka sig är antalet larver som släpps ut relativt litet jämfört med äldre ostron (Tabell 1, Walne 1979, Gouletquer 2004).

Tabell 1. Förhållandet mellan ålder, skallängd och fekunditet för *Ostrea edulis* i Wales (från Walne 1974)

Ålder	Skallängd (mm)	Fekunditet (N. larver/ostron)
1	40	100 000
2	60	540 000
3	70	840 000
4	80	1 100 000
7	90	1 500 000

Ostronen kan släppa larver i omgångar, under en tidsperiod av några veckor (Bayne 2017). Den frisimmande larven utvecklas snabbt och när de är ca 260 - 360  $\mu\text{m}$  har de utvecklat ett simorgan kallat velum som används för att förflyttning och filtrering av födopartiklar ur vattnet (Bayne 2017). Som jämförelse är storleken på de tidiga larverna hos Stillahavsostronet 75  $\mu\text{m}$  och senare när velum utvecklats ca 100 - 320  $\mu\text{m}$ , oocyterna (ägg) är dock bara 30–40  $\mu\text{m}$  i mogna ostron (Lango-Reynoso et al. 2000). Den planktoniska fasen för *O. edulis* varar normalt i ca 8 - 30 dagar beroende på temperatur och födotillgång (Gouletquer 2004, Kamermans et al. 2018). I landbaserade kläckerier varar denna fas 8 - 12 dagar vid temperaturer över 25 °C och 14 - 16 dagar vid 20 °C (Davis och Calabrese 1969).

När *O. edulis* larverna har blivit drygt 0.3 mm är de redo att genomgå metamorfos, vilket innebär att de omvandlas till fastsittande/bottenlevande ostronyngel (Walne 1979). Under metamorfosen utvecklar de en ögonfläck och en fot som gör att de kan hitta ett lämpligt underlag att fästa sig vid. Från foten utsöndras ett lim som cementerar fast ynglet vid underlaget där det sedan blir kvar.

## 3.2 Föda och tillväxt

Ostronens föda består huvudsakligen av mikroalger och till viss del av dött organiskt material som finns i vattenmassan och som pumpas in och filtreras ut med hjälp av gälarna (Laing et al. 2005, Bayne 2017). Musslor och ostron kan äta partiklar upp till 400 µm som t.ex. zooplankton och fiskägg (Korringa 1952, Newell and Langdon 1996, Davenport et al 2000, Lehane och Davenport 2002, Bayne 2017), även om det föredragna storleksspannet är betydligt mindre (20–30 µm, Beecham 2008). Ett ostron kan filtrera mellan 5 och 25 l per timme, beroende på ostronets storlek och temperatur (Korringa 1952). Ostronlarverna kan fånga födopartiklar (mikroalger och organiska partiklar) i storleksintervall från 0,2 - 30 µm i diameter (Korringa 1952).

Arter av mikroalger som i ostronkläckerier har visat sig vara lämplig föda för ostronyngel inkluderar kiselalger (ex. *Chaetoceros calcitrans*, *Chaetoceros muelleri*, *Chaetoceros gracilis*, *Thalassiosira pseudonana*, *Skeletonema costatum* och *Phaeodactylum tricorutum*) samt flagellater (ex. *Isochrysis galbana*, *Dunaliella tertiolecta* och *Tetraselmis* sp. (Tabell 2, Jonsson et al. 1999, Millican and Helm 1994, Helm et al. 2004). Flera mikroalgarter innehåller viktiga omättade fettsyror (HUFA) som har visat sig vara viktiga för ostronlarvers överlevnad, och flera studier har visat att en blandning av algarter är viktigt för att tillgodose ostronens behov av näringsämnen och fettsyror (ex. Jonsson et al. 1999). Odling i ofiltrerat havsvatten med en naturlig blandning av föda (mikroalger och andra födokällor) har t.ex. visat sig ge fler larver och högre larvöverlevnad jämfört med odling i filtrerat (2 µm) havsvatten med tillförsel av ett fåtal odlade mikroalgsarter (Millican och Helm 1994).

Tabell 2. Sammanställning av mikroalgarter och -storlekar som är lämpliga som föda för ostron (storleksindelning baserat delvis på Dupuy et al. 2000). EPA och HUFA betecknar arter som innehåller viktiga fettsyror.

Typ av plankton	Exempel på arter	Storleksintervall
Picoväxtplankton och bakterier		<2 µm
Kiselalger	<i>Chaetoceros calcitrans</i> (EPA), <i>Chaetoceros muelleri</i> , <i>Chaetoceros gracilis</i> , <i>Thalassiosira pseudonana</i> , <i>Skeletonema costatum</i> , <i>Phaeodactylum tricorutum</i>	15–20 µm
Flagellater <5 µm	<i>Isochrysis galbana</i> (HUFA), <i>Pavlova lutheri</i> (HUFA)	3–5 µm
Flagellater >5µm	<i>Tetraselmis</i> sp.	10–30 µm
Dinoflagellater	<i>Dinophysis</i> sp.	30–50 µm
Ciliater		20–30 µm

Födottillgången (både mängd och typ av föda) har avgörande betydelse för tillväxthastigheten och överlevnad av ostronyngel. Mängden mikroalger som finns i vattnet styrs av bland annat näringstillgång, ljusförhållanden och temperatur och kan variera mycket såväl inom som mellan säsonger. Även kvaliteten på mikroalgerna kan variera. Typiskt för de skandinaviska vattnen är en kraftig topp i mikroalgsproduktionen under våren och en något mindre topp under hösten, så kallad vår- och höstblomning. Generellt sett finns en relativt god primärproduktion i kustområdena från mars till oktober.

Födomängder för larver uppskattas ofta som totalt antal algceller/ml. Mikroalger varierar mycket i storlek. För att kunna beräkna mängden celler av olika mikroalger används därför begreppet "Isochrysis ekvivalenter", där en *Isochrysis galbana* cell motsvarar ex. 0,1 celler *Tetraselmis* sp. eller 1,0 celler av *Thalassiosira pseudonana*/T-Iso/*Pavlova lutheri* eller 2,25 celler *Chaetoceros calcitrans* eller 0,75 celler av *Chaetoceros muelleri* (Helm et al. 2004). En generell total födokoncentration för ostronlarver är 100 celler av *Isochrysis* per µL. Om flera arter kombineras, får detta räknas om utifrån ekvivalenterna. Rekommenderade tätheter av *Ostrea* larver är 5 000 - 10 000 D-larver/l vatten (Helm et al. 2004). För juveniler och adulter används ofta de odlade individernas vikt för att bestämma födobehov. Generellt brukar den dagliga fodergivan (i torrsvikt alger) beräknas som 2 - 4 % av ostronens köttorrsvikt (något högre vid konditionering av ostron för lek, Helm et al. 2004). Från torrsvikt alger kan sedan volymen av odlade alger beräknas baserat på odlingarnas koncentrationer av alger och kända förhållanden mellan antal och vikt. Detta blir av naturliga skäl komplicerat i en situation med en blandning av alger, men kan ge en fingervisning om hur födöläget är i en damm.

Tillväxthastigheten hos ostronnyngel som bottenfäällt är snabb under det första 1 - 1,5 åren och ligger sedan generellt på ca 20 g (våtvtikt) per år fram till ca 5 års ålder då den avtar (Laing et al. 2005). Tillväxtsäsongen beror på temperatur och varar normalt från april till slutet av september (Korringa 1952). Ostron kan behöva 3 - 5 år för att nå konsumtionsstorlek (ca 7 cm och > 55 g per ostron) men detta varierar med lokala förhållanden (Laing et al. 2005, Lindegarth 2012). I naturliga ostronbankar kan ostronen leva upp till 20 år och uppnå en storlek på 20 cm (Gouletquer 2004).

### 3.3 Miljöfaktorer som påverkar tillväxt

Av alla miljöfaktorer som kan påverka tillväxten för *O. edulis* är temperatur och salthalt bland de viktigaste för både yngel och större ostron. Dessa parametrar påverkar inte bara gonadutveckling och tidpunkt för fortplantning, utan även rekryteringsframgång, födoupptag, tillväxt, respiration och överlevnad (Berntsson et al. 1997). Andra faktorer som också kan påverka tillväxt och utveckling av *O. edulis* bestånden inkluderar pH, vattenströmmar, födotillgång, genetisk variation, parasiter, konkurrens och predation (Laing et al. 2005, Bayne 2017, Kamermans et al. 2018).

Temperatur är en direkt avgörande faktor för tillväxt (Berntsson et al. 1997) och överlevnad (Rödström och Jonsson 2000) för ostron. Tillväxten börjar när vattentemperaturen når ca 8 till 12 °C under våren och pågår under sommar och höst fram till dess att temperaturen sjunker igen vid årets slut (Laing et al. 2005). Ostronnyngel slutar att växa vid 10 °C (Davis och Calabrese 1969). En ökning i medeltemperatur på en eller ett par grader kan öka tillväxten betydligt, vilket innebär att tillväxten kan variera avsevärt mellan olika lokaler, men också mellan år. *O. edulis* trivs i ett brett temperaturspektrum och klarar temperaturer upp till drygt 30 °C (Davis och Calabrese 1969). För larver har studier visat att temperaturen bör ligga mellan 12,5 och 27,5 °C för bra överlevnad och tillväxt (Davis och Calabrese 1969). Samma studie visade att optimal temperatur för frisimmande larver är 25 - 27 °C, medan vid bottenfällning var optimum något lägre (20 - 22,5 °C). Vuxna ostron klarar låga temperaturer ned mot 0 °C även om de är känsliga för hantering när det är kallt (Korringa 1952). Därför bör hantering av ostronen undvikas vid låg vatten- eller lufttemperatur (Laing et al. 2005). Sammanställningar av ett flertal studier tyder på att optimal temperatur för tillväxt kan variera mellan populationer runt om i Europa (Bromley et al. 2016).

*O. edulis* är relativt känslig för variationer i salthalt och trivs bäst vid en salthalt runt 30 - 35 ‰ (Davis et al. 1962, Hutchinson och Hawkins 1992, Lindegarth 2012). Om salthalten sjunker för mycket kan ostronet sluta filtrera (Korringa 1952). Arten kan överleva i vatten med en salthalt på

ned till 15 % under en kortare tid om inte vattentemperaturen är för hög, men för god överlevnad och tillväxt för larver krävs en salthalt över 20 % (Rödström och Jonsson 2000, Gouletquier 2004).

Naturliga variationer i pH i kustnära miljöer kan påverkas av bl.a. avrinning av sötvatten från land kopplat till skyfall samt kraftiga algblomningar. I Gullmarsfjorden visar en tidserie (1920–1990) att pH varierar mellan 7,9 till 8,4 under april–september på 0–40 m djup (Dorey et al. 2013). Dock finns extremvärden mellan 7,6 – 8,6 om man ser till hela året. Störst variation i pH får man i ytvattnet i samband med algblomningar. Dessutom tillkommer havsförurning, dvs. en sänkning av pH i vattnet p.g.a. en ökad koldioxidhalt i atmosfären som tas upp i vattnet. När koldioxid ( $\text{CO}_2$ ) löser sig i havet bildas kolsyra ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) från vilken det sedan bildas bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) och karbonatjoner ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), vilket ökar antalet vätejoner ( $\text{H}^+$ ) och därmed sänker vattnets pH. Ju mer koldioxid som löser sig i vattnet, desto mer förskjuts förhållandet mellan bikarbonat och karbonatjoner, med en ökning av bikarbonat och en minskning av karbonatjoner. Detta reducerar mättnadsgraden av aragonit och kalcit (två former av kalciumkarbonat,  $\text{CaCO}_3$ ) vilket får kalciumkarbonaten i biologiska strukturer att lösas upp (Kroeker et al. 2010). Det är med andra ord inte bara pH, utan också vattnets alkalinitet (förmåga att ta upp vätejoner) som påverkar förutsättningarna för kalkbildande organismer. Genom att tillsätta natriumbikarbonat  $\text{NaHCO}_3$  i en odling så är det möjligt att höja alkaliniteten (och därmed mättnadsgraden av aragonit) och på så sätt förbättra förhållandena för larverna om pH är lågt.

Blötdjur, där ostron och musslor ingår, har klassats att vara bland de känsligaste djurgrupperna för förurning (Ries et al. 2009, Kroeker et al. 2010, 2013, Gazeau et al. 2013, Parker et al. 2013). En reducering i mättnadsgrad av aragonit kan leda till försämrad utveckling och överlevnad hos bl.a. Stillahavsostronlarver (Parker et al. 2013, Barros et al. 2013). Detta har föreslagits vara orsaken till att ostronodlingar med Stillahavsostron kollapsat i västra USA (Ekström et al. 2015).

Tolerans mot förändrat pH kan dock variera mellan ostronarter (Miller et al. 2009). För *O. edulis* har en pH sänkning (från 7,83 - 7,93 till 7,2 - 7,6) visat sig ha en positiv, eller ingen, effekt på överlevnad av ostronlarver och ostronyngel och har inte lett till några skalmmissbildningar (Prado et al. 2016). Detta föreslås kunna bero på att lägre pH även kan motverka tillväxt av *Vibrio* bakterier i kläckerier som annars kan orsaka dödlighet bland ostronlarver (Prado et al. 2016). Liknande mönster har också observerats för en närbesläktad art, *Ostrea angasi*, som liksom *O. edulis* har inre befruktning och behåller larverna inuti moderostronet under den första tiden. Den inre befruktningen och tidig inkubation av ostronlarver inuti honan verkar kunna bidra till att göra larverna mer tåliga till lägre pH än för arter med extern befruktning (Cole et al. 2016). Ytterligare faktorer som kan påverka pH i ytnära havsvatten är intensiva algblomningar och kraftiga skyfall, då organiskt material kan ackumuleras varvid biologisk nedbrytning kan leda till kraftig respiration av dattritusätare och bakterier och därmed en sänkning av pH och syremättnad.

Syrehalt (mg/l) och syremättnad (%) är också det viktiga faktorerna som påverkar överlevnaden för ostronlarver och yngel. Syremättnaden bör vara > 3,5 mg/l (Smaal et al. 2017, Kamermans et al. 2018) och syremättnaden bör vara > 70 % (Naas 1990) för god överlevnad. Att mäta syremättnad i vattnet bör göras på olika djup då syremättnaden kan variera i en vattenmassa om vattnet skiktat sig.

## 3.4 Orsaker till dödlighet hos larver och yngel

Dödligheten för frisimmande ostronlarver kan påverkas av filtrerande påväxtorganismer som sjöpfungar (ex. *Ciona intestinalis*), havstulpaner (ex. *Balanus crenatus*), blåmusslor (*Mytilus edulis*, Osman et al. 1989), ostron (*M. gigas*, Troost et al. 2008), och kammaneter (*Mnemiopsis leidyi*, Purcell et al. 1991, Fulford et al. 2010). Storleken för respektive påväxtorganismers oocyter (ägg) redovisas i tabell 3. Påväxtorganismer kan också orsaka dödlighet hos ostronyngel både genom kvävning av ynglen och genom konkurrens om föda och utrymme (t.ex. om påväxtorganismen utgörs av blåmusselyngel). Ostronpest (*Crepidula fornicata*) är ett blötdjur som kan fästa sig på ostronets skal och konkurrera om föda, men anses inte orsaka stora problem för ostronen i Sverige.

Tabell 3. Storlek av ägg och larver av olika påväxtorganismer och predatorer.

Art	Äggstorlek ( $\mu\text{m}$ )	Larvstorlek ( $\mu\text{m}$ )	Referens
Sjöpfung ( <i>C. intestinalis</i> )	160	-	<a href="http://www.marlin.ac.uk/biotic/">http://www.marlin.ac.uk/biotic/</a>
Havstulpan ( <i>Balanus crenatus</i> )	-	280 (Nauplie stadie 1)	Barnes och Barnes 1965
Blåmussla ( <i>M. edulis</i> )	75	-	<a href="http://www.marlin.ac.uk/biotic/">http://www.marlin.ac.uk/biotic/</a>
Stillahavsostrom ( <i>M. gigas</i> )	30–40	75	Lango-Reynoso et al. 2000, Bayne 2017.
Kammanet ( <i>M. leidyi</i> )	503		Jaspers et al. 2015
Vanlig sjöstjärna ( <i>Asterias rubens</i> )		>100 $\mu\text{m}$	

För ostronyngel i naturliga miljöer på botten är det framför allt krabbor och sjöstjärnor, t.ex. strandkrabban (*Carcinus maenas*) och den vanliga sjöstjärnan (*Asterias rubens*), som utgör ett hot. I en odlingssituation är dessa arters påverkan begränsad kan delvis undvikas genom att ostronynglen hängs i korgar istället för att de ligger på botten i tanken. Både krabbor och sjöstjärnor har dock frisimmande larvstadier (ca 100–1 000  $\mu\text{m}$ ) som kan komma in i tanken om inloppsvattnet inte filtreras och som då kan kolonisera även hängande strukturer.

Sjukdomar hos ostron kan orsakas av virus, svampinfektioner och parasiter. Parasiterna *Bonamia ostreae* och *Martelia refringens*, har orsakat stor dödlighet bland *O. edulis* i Europa, men finns ännu inte dokumenterade i svenska vatten. En nära besläktad *Martelia*-variant har påträffats i Sverige, men denna variant verkar hittills påverka enbart blåmusslor (Mortensen S. personlig kommentar). Släktskapet mellan de olika varianterna av *Martelia* samt deras utbredning är idag under utredning. Ostronherpesvirus är ett virus som orsakar hög dödlighet hos Stillahavsostrom både i Sverige (Mortensen et al. 2016) och i Europa (Pernet et al. 2010, 2014, EFSA AHAW Panel 2010, 2015, Petton et al. 2015), och det finns rapporter om att ostronherpesvirus också kan orsaka dödlighet hos *O. edulis* larver (Renault et al 2000, Da Silva et al. 2008). Även toxinproducerande bakterier som t.ex. *Vibrio* kan infektera ostronlarverna och leda till hög dödlighet (Jeffries 1982).



## 4. Dammodlingsystem för produktion av ostronyngel

### 4.1 Extensiv dammodling

#### 4.1.1 Studiebesök 1: Rossmore

Dammodlingsanläggningen i Rossmore (Carrigtwohill, Co. Cork, Ireland, Figur 3) drivs av Tristan Hugh-Jones och hans bror David Hugh-Jones. De har sedan ett antal år tillbaka tagit över familjeföretaget som grundades 1969 av deras far och producerar ännu idag *O. edulis* yngel i samma anläggning och på samma sätt som tidigare. Grundtanken bakom anläggningen var från början att producera yngel i dammar för senare utplantering i närliggande havsområden för vidareväxt och senare skörd. Med tiden uppstod dock flera problem, en växande befolkning i närområdet gjorde att tillväxtområdena stängdes för skörd på grund av problem med vattenrening av avlopp från den närliggande byn, och parasiten *Bonamia* etablerade sig i området och orsakade hög dödlighet bland ostronen.

Bröderna etablerade då istället sin verksamhet i Loch Ryan 1996, men har fortsatt med dammproduktion av *O. edulis* yngel i Rossmore. Tanken bakom detta är att utnyttja den naturliga selektion som sker vid utplacering av yngel i de vilda populationerna för att öka sjukdomsresistensen hos ostronen. Genom att använda moderostron härstammande från yngel som överlevt i de vilda bestånden kan den naturliga selektionen för sjukdomsresistens användas i något som liknar ett extensivt avelsprogram. Aktiviteterna bidrar också till att förstärka bestånden av *O. edulis*, något som är under starkt fokus i Europa idag. Odlingsanläggningen är ett exempel på ett extensivt system som i stor grad efterliknar de förhållanden som råder vid naturlig reproduktion i havet.



Figur 3. Översiktsbild över odlingsdammarna i Rossmore. Bild från Google Earth.

I Rossmore finns totalt 18 dammar som är ca 20 x 20 m stora och 2.5 m djupa (1 000 m<sup>3</sup>, Figur 3 och 4). Dammarna har konstruerats genom utgrävning och sedan bekläddning med Butylduk.

Dammarna är jämn djupa när de sluttande sidorna nått maxdjupet på 2.5 m. Varje damm har ett inlopp och ett utlopp och fylls med ofiltrerat ytvatten från havet.



Figur 4. Dammarnas konstruktion, 2,5 m djupa, sluttande sidor och Butylklädda, samt inlopp.

På våren (maj) fylls dammarna och moderostron hämtas in från närområdet. 500 - 1 000 ostron placeras i varje damm. Tidigare användes bottenbaserade träbord som ostronen lades på, men numera placeras ostronen jämnt utspridda över bottenytan i dammen eller i 3–5 nätpåsar nära kanten där temperaturen stiger snabbare och ostronen är lätta att få tag på för borttransport efter lek. När temperaturen stiger i dammarna på grund av solinstrålning leker ostronen naturligt. Dammarna ökar snabbt i värme på grund av den svarta bottenduken och en låg vattenomsättning.

Dammarna gödglas inte utan moderostronen och *O. edulis* larverna får klara sig på den naturliga föda som kommer in med intagsvattnet och den naturliga produktionen i dammarna. Eftersom dammarna är gamla och börjar bli slitna så läcker vatten ut kontinuerligt och ersätts med nytt havsvatten som pumpas in med jämna intervall under dygnet (4–6 gånger per dygn beroende på behov av påfyllnad). Detta innebär en ständig förnyelse av föda samt att inget vatten byts ut aktivt under larvstadiet för ostronen.

Efter lek tas föräldraostronen ut ur dammarna och tre lövkorgar med rena musselskal fördelas ut jämt runt dammarnas kanter. Larvtätheten, bottenfällning, samt pH övervakas veckovis i varje damm. Larvtätheten följs med hjälp av vattenprovtagning där 4 liter vatten tas från olika delar av dammen (mitten, kanten, botten och ytan) och filtreras genom ett 125 µm filter som sedan töms på en räknekammare och antalet larver i kammaren räknas (Figur 5).



Figur 5. Vattenprovtagning och räknekammare för ostronyngel.

Antalet bottenfällda yngel räknas på ett stickprov av musselskal insamlade från botten från respektive damm (Figur 6).



Figur 6. Ostronyngel på musselskal och räkning av ostronyngel på musselskal.

Under hösten skördas dammarna och musselskalen med de överlevande ostronynglen placeras ut i samma område som moderostronen plockats ifrån. Ca 400 yngel/m<sup>2</sup> läggs ut i områden som är 50 x 100 m.

## 4.1.2 Studiebesök 2: Tralee bay hatchery

Tralee bay hatchery (Castlegregory, Co. Kerry, Irland, Figur 7) etablerades 2012 och drivs av Denis O'shea. Kläckeriet producerar årligen ca 100 miljoner ostronyngel, framför allt diploida och triploida Stillahavsostren. *O. edulis* yngel har producerats genom yngelsamling med havsbaserade kollektorer, sk. coupelles (Figur 8), och man har försökt utveckla protokoll för framtagning av *O. edulis* yngel i kläckeriet. Då detta inte fungerat byggdes en damm (18 x 12 x 2.5 m, ca 500 m<sup>3</sup>) för genomförande av försök med dammproduktion av *O. edulis* yngel (Figur 7).

Dammen fylls tidig vår med inloppsvatten som filtrerats genom 5 µm trumfilter. Sedan får dammen stå i två månader för planktonproduktion och uppvärmning. Ingen extra näring tillsätts till dammen under denna period. När temperaturen når 19 °C placeras 1 600 moderostron insamlade i närliggande område i dammen. Den maximala temperaturen i dammen har uppmätts till 26 °C och inga problem med syrehalten har noterats.

Efter leken har larvtätheten varit hög, men bottenfällning på musselskal har uteblivit. Orsaken till detta är inte känd, men en trolig orsak är predation (O'Shea D. personlig kommentar). För att öka riskspridningen bör flera dammar byggas, något som lyfts som en svaghet i nuvarande anläggning då systemet baseras på endast en damm. Även denna damm representerarett extensivt dammodlingsystem, om än något mer komplext än anläggningen i Rossmore då inloppsvattnet filtreras.



Figur 7. Tralee bay hatchery. På bilden ses det landbaserade kläckeriet, de 6 landbaserade trägen som används för algproduktion samt dammen som byggdes för produktion av *O. edulis* yngel. Bild från Google earth.

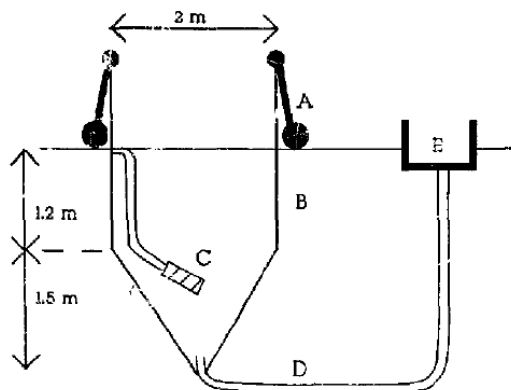


Figur 8. Coupelles, yngelsamlare för havsbaserad insamling av ostronyngel.

Till kläckeriet har också byggts en utomhusbaserad anläggning med stora tråg i vilka diatoméer (kiselalger) produceras som föda till ynglen i kläckeriet. Inloppsvattnet filtreras också här ner till 5  $\mu\text{m}$ . Dessa tråg gödslas och inokuleras med *Skeletonema*, och skördas var tredje dag. Detta är ett klassiskt exempel på så kallade "green water tanks". Proceduren för dessa går igenom i mer detalj i kap 4.2.2.

### 4.1.3 Litteraturstudie: Havsbaserade ogödslade system

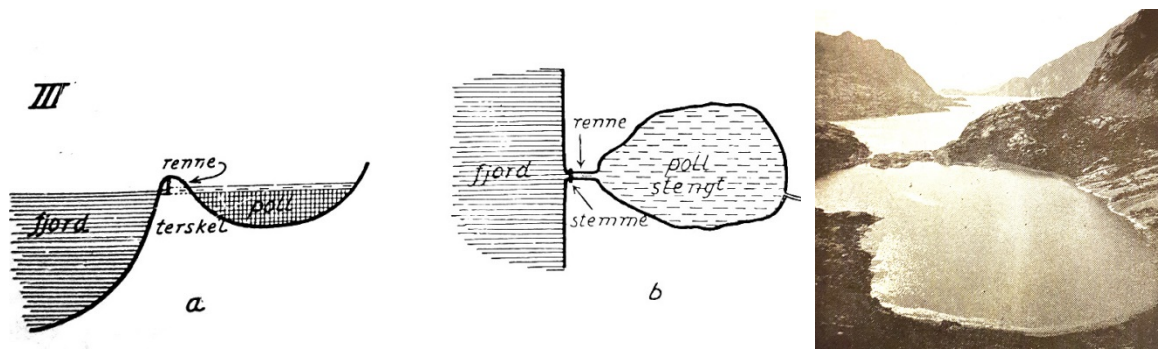
Extensiv odling av ostronyngel i havsbaserade försök har testats i försöksskala i Norge på -90 talet (Naas 1990). Försöket utfördes i en cylindrisk polyetylenpåse med konisk botten med en volym av 5  $\text{m}^3$  som placerades i havet (Figur 9). Inloppsvattnet filtrerades till 200  $\mu\text{m}$  och tre moderostron som var redo att släppa larver placerades i påsen i juni. Ingen gödning av vattnet genomfördes. Antalet larver i påsen övervakades genom vattenprovtagning och räkning enligt samma metod som i Rossmore (kap 4.1.1) och PVC plattor placerades i påsen som substrat för bottenfällning då larverna uppnådde 200  $\mu\text{m}$  storlek. Bottenfällning skedde efter 23 dagar. Inget regelbundet vattenutbyte skedde under försökets gång, men 50 l av bottenvattnet tömdes ut och ersattes med nytt vatten då syrehalterna i bottenvattnet sjönk efter dag 12 i den 2.7 m djupa påsen och var nere i <70% syremättnad då bottenfällningen inleddes. Försöket upprepades tre gånger och resulterade i mellan 88 000 och 130 000 bottenfälda yngel per gång. Efter bottenfällning öppnades systemet till ett genomflödessystem.



Figur 9. Havsbaserat system för extensiv produktion av *O. edulis* yngel använt av Naas (1990).

### 4.1.4 Litteraturstudie: Pollar

En poll är en grund, skyddad havsvik med ett sötvattensinflöde och ett inlopp som är tillräckligt trångt för att man ska kunna stänga till det (Gaardner och Bjerkan 1934, Lindegarth 2012, Sveen T. personlig kommentar, Figur 10). En viktig förutsättning för att ett område ska kunna användas som en poll är också att det finns ett sötvattenstillflöde i området som ger ett brackvattenslager i ytan, och det bör ligga odlad mark eller lövskog i närliggande område för att bidra med näring till pollen. De områden som används som pollar har i normalfallet en yta på två till fyra hektar (150 - 300 m långa, 100 - 200 m breda) och ett djup på cirka fem till åtta meter (Gaardner och Bjerkan 1934). Denna typ av system finns framför allt i Norge.



Figur 10. schematisk bild av pollar, samt bild av poll i Norge. Bilder modifierade från Gaardner och Bjerkan (1934).

Under våren fyller tidvatten och avrinning från landpollen med näringsrikt vatten som behövs för en god produktion av mikroalger. Under senvåren stängs sedan pollens inlopp till och sötvatten från avrinning från land skapar ett ytlager av bräckt vatten som lägger sig som ett lock över det saltare, tyngre vattnet. Tillflödet av färskvatten bör vara tillräckligt för att åstadkomma ett ytvattenlager på en halv till en meters tjocklek. Olika näringssubstrat kan tillföras till tillflödesområdena för att bidra med en kontinuerlig näringstillförsel till pollen genom tillrinningen (Sveen T. personlig kommentar). Brackvattenlagret fungerar med samma princip som ett växthus och skapar på så sätt en uppvärmning av det salta, underliggande vattnet. Temperaturen i pollen kan bli tio grader högre än temperaturen ute i havet (det vill säga runt 26 - 28 °C).

Då pollen stängts till och brackvattenslagret börjat värma upp det underliggande vattnet (ofta i maj) placeras ostron insamlade från vilda populationer i närliggande områden i pollen i hängande korgar eller påsar. Ostronen placeras under brackvattenslagret men ovanför botten. Ostronen leker naturligt när temperaturen är lämplig, vilket sker tidigare än i omgivande vattensystem (vanligtvis i juni eller juli) på grund av den uppvärmning som brackvattenslagret bidrar till. Temperaturen bör inte sjunka under 18 °C och salthalten bör inte sjunka under 25 ‰ för att larvutvecklingen ska ske normalt. Kollektorer (t.ex. coupelles, Figur 8) hängs ut i pollen 10 - 20 dagar innan larverna släpps och får sedan hänga kvar i pollen under hösten och vintern (Lindegarth 2012).

Vilket djup kollektorerna ska hängas på kan avgöras genom temperatur eller klorofyllmätning där högst temperatur och förekomst av klorofyll väljs. Detta sammanfaller oftast med haloklinen (gränsen mellan det salta bottenvattnet och det bräckta ytvattnet). Då ynglen nått ca två till tre cm längd (från umbo till skalkant, Figur 1) skördas kollektorerna och ynglen flyttas över till odlingskorgar som antingen hängs tillbaka i samma poll, flyttas till speciella tillväxtpollar som är större, djupare och har ett större vattenutbyte, eller hängs ut på odlingslokaler i havet. Pollarna representerar ett exempel på ett övergångssystem mellan extensiva och semi-intensiva yngelproduktionssystem genom manipuleringen av näringshalt i pollen samt av temperatur genom brackvattenskiiktet.

På grund av den höga produktionen av mikroalger som sker inne i pollen under sommaren kommer mycket organiskt material att falla ned till botten där det bryts ned. Detta kan orsaka syrebrist i bottenvattnet, och i värsta fall bildandet av svavelväte, vilket kan få förödande konsekvenser för ostronen i pollen. För att undvika detta bör ett visst utbyte av bottenvattnet ske genom pollens inlopp under hösten. Detta görs genom att pollens avstängning öppnas upp under perioder för att möjliggöra inflöde av nytt vatten genom tidvattenvariationer. Isbildning och sen islossning kan skapa samma problem (Lindegarth 2012). Eftersom produktionen av ostron i en poll

påverkas av klimatfaktorer som t.ex. temperatur och avrinningsmängd mm., så blir produktionen i pollarna instabil och svår att förutsäga. Vissa år funderar systemen optimalt, medan andra år misslyckas produktionen totalt. Erfarenheter från produktion av ostronyngel i pollar längs norska västkusten visar att det maximala antalet yngel som kan skördas per år sällan överstiger 300 000 per poll (Lindegarh 2012).

Ett översiktligt protokoll och arbetsrutiner för yngelproduktion i pollar har sammanställts av Trond Sveen (Sunnhordland havbruk, figur 11 och 12).



Figur 11. Driftsprotokoll för Kvernepollen i Norge (Sveen T., Sunnhordland havbruk).

## Arbetsrutiner/prosedyrer

Yngel som leveres fra anlegget skal leveres med et sporingsdokument og et helsesertifikat på at de har sykdomsfrie og friske foreldre.

Det skal tas prøver årlig ved Veterinærinstituttet av mordyr.

Driftsplan skal følges og avvik registreres.

Det skal føres logg ved røkting og høsting hvor det noteres vekst, dødlighet og en del andre parameter.

Det skal være en årlig gjennomgang av driftsplan og røktelogg.

Tomme skall av østers tas med til land for knusing og levering til jordforbedring.

Utstyr som har vært i bruk ved annet østersanlegg desinfiseres før det kommer til Kvernepollen.

Røktebåt desinfiseres ved behov med godkjent middel.

Helsekontroll utføres av Fiskehelsebiolog før høstesesongen starter.

Daglig leder er ansvarlig for å holde seg oppdatert på Mattilsynets til enhver tid gjeldene lover og forskrifter.

Daglig leder er ansvarlig for at alle som deltar i drift ved anlegget, er innforstått med arbeidsrutiner og at prosedyrer følges.

Daglig leder bør så langt som det er mulig delta i de fora hvor østers er tema for å tilegne seg mest mulig kunnskap om næringen.

Oppstår det unormalt stor dødelighet eller fare for dette skal veterinær og Mattilsynet varsles.

Figur 12. Eksempel på arbeidsrutiner vid Kvernepollen i Norge (Sveen T., Sunnhordland havbruk).

## 4.2 Semi-intensiv dammodling

### 4.2.1 Studiebesök 3: Venø

På Venø i Danmark finns sex dammar som rymmer 1 000 m<sup>3</sup> var (25 x 15 x 3 m, figur 13). Dammarna är klädda med svart PVC duk. Dammarna drivs i samarbete mellan Johan Wedel Nielsen (Aquamind) och Kristian Borbjerggaard (Venø Seafood). I jämförelse med de tidigare beskrivna systemen är Venø ett mer intensivt odlingsystem, och kan klassas som semi-intensivt. Framgångsrika försök med produktion av *O. edulis* yngel har genomförts både i dammarna, samt i utomhusbaserade tankar som rymmer 300 m<sup>3</sup>.

Dammarna på Venø är torrlagda under vinterhalvåret och rensas på musslor och andra organismer på våren före fyllning. Dammarna fylls i början av juni med vatten som är minst 25 ‰ och som filtrerats genom ett 60 µm trumfilter (Figur 14). Försök har gjorts med gödsling av dammarna för att optimera algproduktionen. En gödselblandning innehållande kväve, fosfor och kisel (NPK) har utvärderats för att stimulera tillväxt av kiselalger. Försök har också gjorts med nätpåsar med krossade strandkrabbor som gödningsmedel. Numera gödslas dammarna med försiktighet, eftersom gödsling enligt Aquamind oftast inte bidrar till någon större förbättring av produktionen.

Moderostron (ca 1 · m<sup>-3</sup>, vilket ger ca 1 000 ostron/damm) placeras i hängande korgar i mitten av i dammarna i juni när temperaturen i dammarna nått 18 °C. Moderostronen ska vara i god kondition och ska komma direkt från havet. Ostronets kondition kan bedömmas genom att ostron öppnas och inspekteras. Om gonaden täcker magen på ostronet så man inte ser magen genom gonaden så är ostronet av god kondition, kan man se magen genom gonaden är ostronet av dålig kondition (se figur 1).

Ostronen hängs ut i korgar som hålls uppe av linor som spänts upp över dammarna och som hålls flytande med hjälp av bojar. Ostronen leker normalt efter ca 10 dagar. Från det att moderostronen placerats i dammarna provtas vattnet i dammarna var tredje dag (10 l/damm) för att identifiera om larver släppts. Larverna är känsliga för turbulens innan bottenfällning och extra syrebubbling undviks därför.

När larver observeras (gärna > 100 larver/l) placeras bottenfällningssubstrat i dammarna. Bottenfällningssubstratet bör förberedas i maj innan dammarna fylls för säsongen. Olika typer av kollektorer har testats i dammarna. Om musselskal ska användas måste de först ligga på land i minst sex månader för att rensas från allt organiskt material. Om skalen inte är tillräckligt rena kan det orsaka massdöd av ostronlarver i dammarna. Musselskal har fungerat bra för bottenfällning men anses vara svårt att hantera efter bottenfällningen. Coupelles (Figur 8, 15) har också fungerat



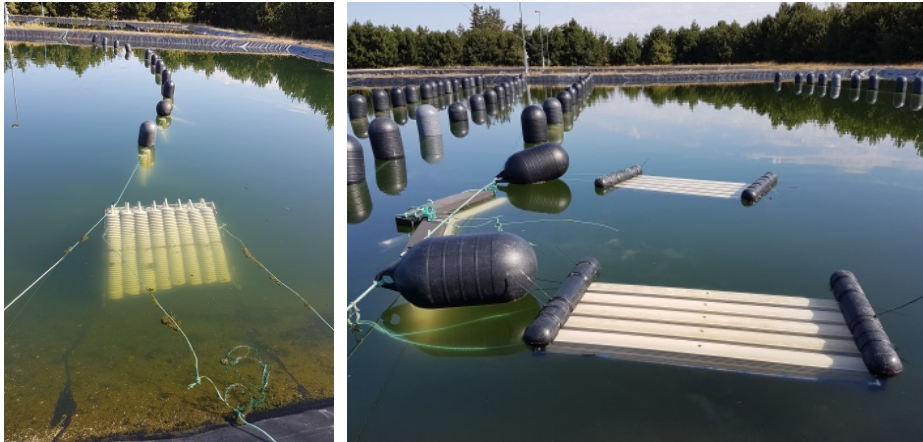
Figur 13. Venø Fiskodling (Danmark). Bild från Google Earth.



Figur 14. Trumfilter för filtrering av inloppsvatten till dammarna vid Venø, Danmark.



bra, men tappar lätt sitt kalk. Ytterligare ett alternativ som testats är lamellkollektorer (t.ex. zapco spat trap, Figur 15).



Figur 15. Olika kollektortyper (coupelles och lamellkollektorer) testade i dammarna på Venø.

Bottenfällningen övervakas löpande genom att ostronskal eller musselskal hängs ut i nätkorgar i dammarna vilka sedan inspekteras för nyligen bottenfällda yngel. Skalen måste bytas ut eller rengöras efter varje avläsning för att möjliggöra detektion av fortsatt bottenfällning. I augusti när inga fler larver observeras i dammarna tas moderostronen upp. I samband med detta inleds också regelbundna vattenbyten, och en fjärdedel av vattnet i dammarna byts varje vecka. Om det är mycket zooplankton som konsumerar växtplanktonen i dammarna efter larvernas bottenfällning töms dammarna helt och fylls upp med nytt filtrerat vatten. Vattnet brukar med denna metod hålla ca 90 % syremättnad. Eftersom inget vattenbyte sker under larvstadiet kan födobegränsning uppstå för larverna.

De bottenfällda ynglen växer bättre i havet än i dammarna men det är svårt att flytta coupelles från dammar till havet. Ev. kan ynglen skördas från coupelles och placeras i ett upwelling system. I dagsläget behålls kollektorerna i dammarna fram till oktober då de skördas och dammarna torrläggs för säongen.

## 4.2.2 Litteraturstudie: Green water culture

”Green water culture” är en metod som bygger på extensiv produktion av mikroalger genom gödsling av dammar eller stora tråg med vatten. Till skillnad från den monokultur av mikroalger som sker i kläckerier under kontrollerade förhållanden är målet med ”green water culture” att skapa naturliga blomningar av mikroalger som t.ex. dinoflagellater och diatoméer (kiselalger). De producerade mikroalgerna kan sedan användas för startutfodring av fiskyngel eller som föda till bivalvyngel eller föräldradjur.

Principen bygger på att ett tråg eller en damm fylls med vatten från naturliga system (antingen sötvatten eller i vårt fall havsvatten) som sedan gödslas. På detta sätt kan produktionen av mikroalger ökas med ca 5 gånger jämfört med naturliga system (Helm et al. 2004). Algproduktionssystemet observerat vid Tralee bay hatchery (se 4.1.2) är ett exempel på tillämpning av denna teknik. I denna rapport ges endast en översiktlig beskrivning av de viktigaste principerna för metoden. För mer information kring denna typ av algproduktion se Guillard (1975), Harrison et al. (1980), Claus (1981), De la Noue och de Pauw (1988), Gautier et al. (1993), Hussnot och Brossard (1995) och Helm et al. (2004).

I stort sett vilken typ av behållare som helst kan användas till denna typ av system, allt från 2.5 m<sup>3</sup> stora landbaserade plasttråg till dammar på 1 000 m<sup>3</sup>, men vanligt är en storlek på ca 60 - 450 m<sup>3</sup> (Helm et al. 2004). Intagsvattnet som används för mikroalgodling i extensiva system kommer oftast från närområdet och kan antingen användas utan vidare hantering eller kan filtreras för att minska förekomsten av zooplankton som kan minska förekomsten av växtplankton och som ofta inte utgör lämplig startföda för marina fisklarver och bivalver. Inloppsvattnet kan också filtreras med hög noggrannhet (<2 µm, Helm et al. 2004) för att sedan inokuleras med en önskade mikroalgsart. Det är dock ofta svårt att bibehålla denna typ av monokulturer i extensiva system på grund av den höga risken för kontaminering av andra mikroalgarter och zooplankton.

För optimal tillväxt krävs rätt förhållande mellan olika näringsämnen. En generell standard för mikroalger beskrivs av den s.k. "Redfield kvoten", enligt vilken det optimala molära förhållandet mellan C : N : P för växtplankton är 106 : 16 : 1 (Redfield 1985). Om kvoten mellan dessa näringsämnen skiljer sig från detta förhållande betraktas växtplankton som näringsbegränsade för det ämne som finns i underskott. Då olika mikroalgsarter har olika kapacitet att utnyttja tillgängliga näringsämnen bättre än andra så kommer näringstillgången också att påverka vilka arter som kommer att dominera produktionen vid ett specifikt tillfälle.

Kisel är endast av betydelse för diatoméer (kiselalger) vilka har en Redfield-Brzezinski kvot på 106:15 : 16 : 1 (C : N : P : Si, Brzeski and Newkirk, 1996). Kiselalger är kvävebegränsade om N : P < 16 och N : Si < 1, fosforbegränsade om N : P > 16 och Si : P > 16, och kiselbegränsade om N : Si > 1 och Si : P < 16 (Dubravko et al. 1995). Genom att reglera vilka näringsämnen som tillsätts kan med andra ord, sammansättningen av de producerade algerna styras något. Genom att t.ex. inte tillsätta kisel så kommer produktionen förskjutats mer mot dinoflagellater då naturligt förekommande kisel i vattnet inte kommer räcka till för att underhålla en blomning av diatoméer (kiselalger).

För att öka produktiviteten av önskade mikroalgsorter används därför ofta olika typer av näringstillsetser som gödsel eller andra näringssubstrat. Ofta gödslas vattnet några dagar (3–7 dagar) före planerad användning av den producerade algiomassan. Organiska gödningsmedel har visat sig ha bättre effekt än oorganiska gödningsmedel som ofta resulterar i för stora blomningar och efterföljande krasch av algproduktionen (Cole 1938, Hughes 1940, Walne 1940, Korrunga 1976). För gödning med naturlig gödsel (t.ex. hönsgödsel eller annan gödsel från boskap) beräknas ca 5 kg gödsel per 100 m<sup>2</sup> bottenyta med ett vattendjup på ca 1 m (Helm et al. 2004). Krossad krabba har också använts som gödning vid ostronodling (Hughes 1940, Wedel Nielsen J. personlig kommentar). Exempel på lämplig sammansättning av artificiell gödning illustreras i tabell 4.

Tabell 4. Näringstillförsel för mikroalgodling, enligt Hussenot och Brossard (1995) i A, enligt Helm et al. (2004) i B.

A:

Nutrients	Name	Daily supply (for 100 m <sup>3</sup> ) [g]	Concentration (mg/l)
N–NH <sub>4</sub> Cl	Ammonium chlorid	808	150
P–PO <sub>4</sub>	Triphosphate	240	15
Silicium	Sodium metasilicate	1591	60
Fe–FeCl <sub>3</sub>	Iron chlorid	41	3
Mn–MnSO <sub>4</sub>	Manganese sulfat	27	1.5

B:

<b>Substrat</b>	<b>Procentuell andel av näringsstillförsel</b>	<b>Mängd tillsatt (g/m<sup>3</sup>)</b>
Urea NH <sub>2</sub> CONH <sub>2</sub>	46% N	1.50
Triple superphosphate P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	20% P	1.56
Sodium metasilicate Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> ·5H <sub>2</sub> O	13% Si	10.60

Hur snabbt en algblomning utvecklas påverkas av artsammansättning och täthet av alger i intagsvattnet, dagslängd, ljusstillgänglighet, näringsnivåer och temperatur (Helm et al. 2004). Förhållandet mellan area och volym på odlingsbehållaren är viktigt och generellt är grundare odlingsbehållare bättre på grund av ökad ljusstillgänglighet. Luftning av odlingsbehållaren gynnar också produktionen. Vid behov kan temperaturen regleras med hjälp av värmeväxling och bör hållas mellan 17 och 23 °C, överhettning av vattnet bör undvikas.

Systemen kan skördas på olika sätt. Antingen sker ett mindre, men kontinuerligt, uttag av alger från odlingsbehållaren, vilket kräver regelbunden tillsats av mer näringsämnen (Helm et al. 2004) eller tillsats av näringsrikt vatten (Matthiessen 1983), eller så skördas systemet då blomningen är på topp. I denna situation används ofta flera produktionsenheter som startas i ett rullande schema för att uppnå en kontinuerlig produktion av alger. En blomning kan i denna typ av system ofta bibehållas i ca 7 – 10 dagar varefter systemet töms och sedan startas upp på nytt.

## 4.3 Intensiva odlingsystem

### 4.3.1 Studiebesök 4: Danskt skaldjurscenter och kunskapsinhämtning från *Ostrea Aquaculture*

Kommersiell ostronodling är generellt sett en extensiv produktionsform. Yngelproduktionsstadiet kan dock ske genom intensiv odling i landbaserade kläckrier i vilka hela yngelproduktionscykeln ingår, från konditionering av moderostron och lek och bottenfällning av larver, till yngelsystem för tillväxt av de bottenfälda ynglen tills de är starka nog att introduceras till havsbaserade system för vidare tillväxt. För detta projekt är framför allt konditioneringsprocesser och inducering av lek av intresse. Dessa steg representerar alternativa tillvägagångssätt till att låta ostron föröka sig naturligt i dammar och erbjuder en möjlighet till större kontroll över lektidpunkt och bottenfällningstid. Övriga steg i odlingsprocessen finns beskrivna i bl.a. Lindegarth (2012) och Helm et al. (2004).

Inom detta projekt har studiebesök genomförts på Danskt skaldjurscenter i Danmark, och information har erhållits från det landbaserade ostronkläckeri som finns på Koster i Sverige (*Ostrea Aquaculture*). På både Danskt skaldjurscenter i Danmark och på *Ostrea Aquaculture* i Sverige har ett långsiktigt utvecklingsarbete drivits för att skapa odlingsprotokoll för produktion av yngel av *O. edulis*. Båda anläggningarna har haft viss framgång vad gäller produktion av yngel, men hittills har inte tillräckligt mycket yngel producerats för att täcka behovet av yngel i Danmark och Sverige. Båda anläggningarna drivs enligt liknande grundläggande principer med skillnaden att inloppsvattnet till *Ostrea Aquaculture* kommer från 87 m djup.

Båda anläggningarna baserar sin produktion på moderostron som är plockade från vilda bestånd i närområdet till anläggningarna. På *Ostrea Aquaculture* används numera också föräldradjur från tidigare års produktion i ett avelsprogram för ökad överlevnad av larver och yngel i kläckerimiljö. Konditioneringen av moderostronen inleds tidigt på året genom att ostronen plockas in i kläckeriet, rengörs och placeras i konditioneringstankar. Under några veckors tid matas ostronen med odlade mikroalger (4 – 6 % av ostronens köttorrvikt i daglig ranson) för att säkerställa att de har god energistatus när den reproduktiva processen inleds (Helm et al. 2004).

I februari/mars påbörjas en temperaturökning för moderostronen, i Danmark med 1 grad per dag upp till 22 °C, och i Sverige med 1 grad per vecka upp till 18 °C då lek sker. När larverna är färdigutvecklade släpper honan ut larverna i vattenmassan. I detta stadi samlas larverna in (Figur 16) och förs över till ett yngelsystem där de utfodras och utvecklas i 2–3 veckor tills de är redo att bottenfälla. Mikroalger produceras som föda till moderostron under konditionering, för larver efter lek och för yngel efter bottenfällning. Protokoll för mikroalgsodling i kläckeriverksamhet finns redovisat i Helm et al. 2004.



Figur 16. Moderostron och larvuppsamling efter lek i kläckrier i Danmark och Sverige.

## 4.4 Semi-slutna odlingsystem

### 4.4.1 Studiebesök 5: Neptun 3

Ett besök gjordes även vid Neptun 3 (Marine harvests/ Aquafarm, Molnes, Norge). Syftet med besöket var att studera konstruktionen bakom semislutna odlingsystem, vilka utgör utgångspunkten för den nya typ av tank som ska designas i projektet. Anläggningen är ett semislutet odlingsystem för produktion av lax och består av en cirkulär havsbaserad GRP (glassfiber reinforced plastics) tank med en diameter på 40 m och 23 m djup, varav 2 m ovanför vattenytan, och en sluttande botten (Figur 17).



Figur 17. Översikt över Neptun 3 i Molnes, Norge.

Tanken är monterad av segment som fogats samman med bultar genom flänsar på utsidan av tanken. På insidan av tanken är panelerna urfrästa vid skarvarna som förstärkts med ytterligare GRP skivor som monterats fast med bultar (Figur 18 a). På insidan är alla skarvar tätade med lim. Vissa delar i en ny modell av systemet som börjar tillverkas med start i februari 2019 är stålförstärkta med stålet ingjutet i flänsar och skarvar. Sidorna på den nuvarande tanken har höjts med ca 3 - 4 dm då våghöjden vid storm tidigare underskattats (Figur 18 b). Detta skapar extra styrka i strukturen. För mindre tankar än Neptun 3 behövs inte stålförstärkning av flänsar och skarvar, utan överlappsfogar kan användas istället för flänsar. Denna typ av fogar används ofta vid konstruktion av större landbaserade odlingsstråg.



Figur 18. a) GRP förstärkning av segmentskarvar på insidan av Neptun 3. b) Höjning av sidan av Neptun 3 samt skarv med fläns mellan två segment.

Luftfyllda flytelement är integrerade i sektionerna på utsidan av tanken och har mannluckor för inspektion och arbete. Ovanpå flytelementen är kablar och tampar dragna, och en arbetsspång är installerad ovanpå detta (Figur 19).

Ofiltrerat vatten till tanken tas in från ca. 25 m djup och pumpas in i tanken genom fyra pumpstationer som ligger placerade runt odlingen (Figur 17). Vattnet syresätts på vägen in i tanken, och skapar strömmar inne i tanken. Flödet anpassas utefter fiskens simkapacitet med en omsättningstid av tankens volym på ner till 2 h. I mitten på tanken finns ett utloppsrör med ett nät för att förhindra rymningar, och i botten finns en utloppsventil för uppsamling av partikulärt material. Slam från odlingen och död fisk pumpas ut med jämna intervall under dagen och släpps in i en slamkammare för uppsamling. Reningssteget tar bort ca 40–50 % av det partikulära materialet och arbete pågår med utveckling av nya metoder för att öka reningsgraden.

I mitten av tanken flyter en struktur som håller ett fågelnet uppe (Figur 20). Denna kan tas bort under vintersäsongen när höststormar gör det olämpligt att ha strukturen på plats. Ett nytt reningssystem för intagsvattnet är under utveckling. Detta baseras på trumfilter och UV-ljus och innebär en ökning av pumpstationerna från fyra till åtta för att förse tanken med tillräckligt mycket vatten. Odlingen ljussätts under januari/februari med nedsänkta ljuskällor för att undvika könsmognad av laxen. Det är små problem med påväxt på tanken. Påväxten utgörs oftast av fintrådiga alger på insidan och av sjöpungrar och kalkmaskar på utsidan. Insidan rengörs regelbundet med dykare, utsidan behöver inte rengöras. Vattenkemi som övervakas kontinuerligt är bland annat syrehalt, pH och temperatur. Det finns en nödgenerator som startar automatiskt vid strömvabrott.

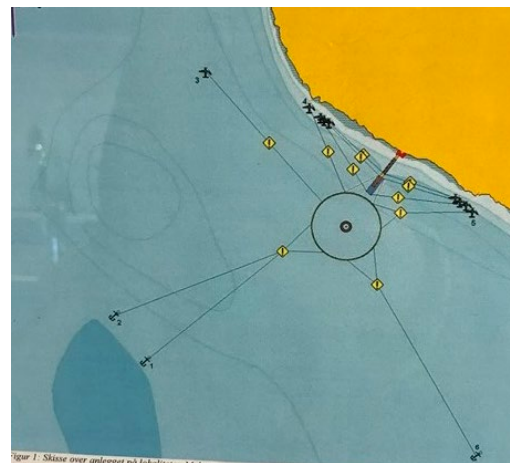
Tanken är förankrad med 8 fästpunkter, varav 3 går in till land. Förankringen utgörs av plogankare (2.5 ton styck) med kätting som tyngs ner av en 1 tons vikt ganska nära tanken (Figur 21). Tanken ligger stilla även i grov sjö, men pumpstationerna påverkats av vågverkan och arbete pågår för att åtgärda detta. För den nya tanken som ska byggas kommer en stålring att monteras på utsidan av tanken för att minska vågpåverkan då denna tank kommer placeras i ett mer exponerat område.



Figur 19. Flytelementen på Neptun 3 syns som en grå kant som går ner i vattnet under spången runt tanken.



Figur 20. Flytande struktur i mitten av tanken som håller upp ett fågelnet.



Figur 21. Schematisk skiss över Neptuns förankring.

## 5. Biologiska och tekniska utmaningar och ställningstaganden

Baserat på de genomförda studiebesöken och granskad litteratur har ett antal nyckelfaktorer identifierats vara av stor betydelse för skapandet av både en odlingsmanual och framtagandet av ett nytt system för havsbaserad dammodling av ostron. Dessa faktorer beskrivs i nedanstående text och inkluderar bland annat hantering av moderostron (kap 5.1), larvtillförsel till dammarna (kap 5.2), förberedelse av dammarna (kap 5.3.1) och drift av dammarna (kap 5.3.2) samt bottenfällning av yngel (kap 5.4). Inom respektive område finns olika tillvägagångssätt, som var för sig har sina respektive för- och nackdelar, varför vi valt att resonera kring dessa och slutligen rekommendera det tillvägagångssätt som vi baserat på den inhämtade informationen i projektet anser har störst potential. Det bör poängteras att de slutsatser vi drar bör utvärderas i praktiken innan storskaliga aktiviteter initieras.

### 5.1 Moderostron och konditionering

Det finns flera olika sätt att producera larver till dammarna. Ett alternativ som används i landbaserade kläckier är att konditionera moderostron, insamlade från vilda populationer eller från odlade ostron, under kontrollerade förhållanden för att få dem att leka och släppa larver. Denna metod används bl.a. av Danskt skaldjurscenter och *Ostrea Aquaculture*. Larverna kan sedan placeras i dammarna för vidare utveckling och bottenfällning. Fördelen med denna typ av larvproduktion är att larver kan produceras tidigare på säsongen och att tillväxtsäsongen under sommaren teoretiskt skulle kunna utnyttjas på ett mer optimalt sätt. Det finns dock också stora risker med detta tillvägagångssätt. Larver riskerar att produceras under en period när havsvattnet har för låg temperatur för optimal larvöverlevnad (se kap 3.3) och det finns risk för mismatch mellan rådande planktonsammansättning och larvernas behov. Även andra parametrar kan påverkas av säsong, t.ex. pH och salinitet, men dessa är lättare att åtgärda än temperatur och planktonsammansättning. Att tidigarelägga larvproduktionen ställer med andra ord höga krav på möjlighet till isolering och uppvärmning av ett dammodlingssystem och kräver också en kontrollerad planktonproduktion i enlighet med den tidigare beskrivna "green water" teknologin.

I mer extensiva system liknande de i Rossmore och Venø samlas moderostron in från vilda populationer i mitten av juni och placeras därefter direkt i dammarna där de leker naturligt. Detta är en enkel och billig metod som minskar behovet av extra komponenter inom odlingssystemet och som dessutom tillåter att ostronens reproduktion synkas med naturligt gynnsamma förhållanden gällande temperatur och födotillgång, vilket optimerar larvernas möjligheter för överlevnad. I motsats till mer kontrollerade situationer kan dock inte tillväxtsäsongen förlängas.

I några av de system vi besökt har moderostronen placerats direkt på botten av dammarna. Detta gör det svårt att plocka ur moderostronen efter reproduktion. Hängande system för förvaring av moderostron används i andra system, vilket förbättrar födotillgången för ostronen och ökar sannolikheten för att ostronen ska bibehålla god kondition fram till lek.

#### Rekommendationer:

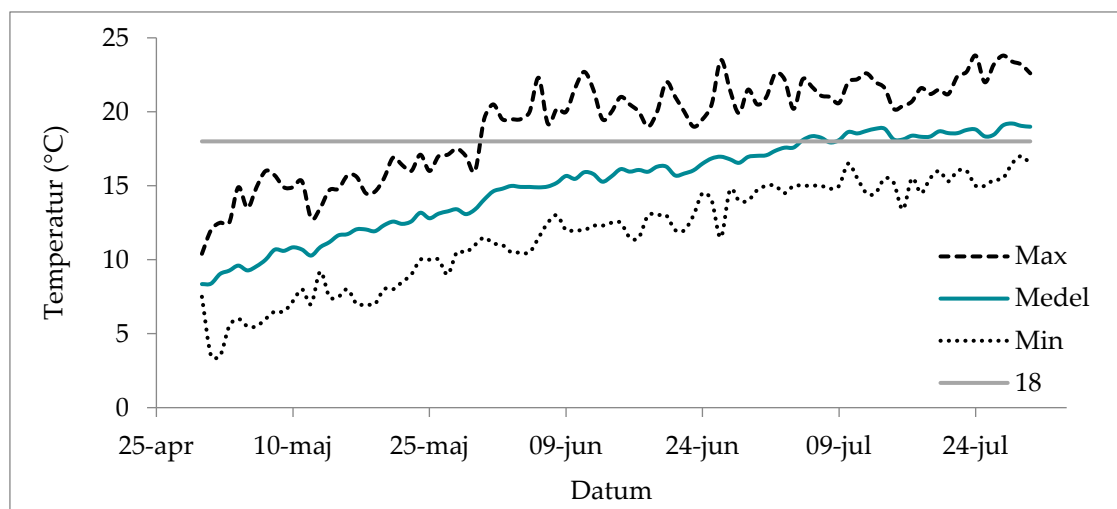
Att använda landbaserade system för konditionering och lek av ostron innebär ett extra steg med ökade investeringskostnader, ökad arbetsbelastning och ökad osäkerhet, varför vi bedömer

naturlig reproduktion direkt i dammarna att vara mest kostnadseffektivt och ha störst potential för att resultera i en tillförlitlig produktion av larver. I de system vi besökt eller läst om används ofta 1 moderostron  $\cdot$  m<sup>2</sup>, och antalet moderostron till ett dammodlingsssystem bör därför anpassas till dammarnas storlek. Vi föreslår att moderostronen placeras i hängande eller flytande korgar för att optimera konditioneringssteget för ostronen samt underlätta uttag av ostronen efter lek.

## 5.2 Optimering av lek

Optimala saltförhållanden för kläckning av larver har i olika källor (se kap 3.3 och 4.1.4) bedömts vara >20 ‰, gärna >25 ‰. En odlingsanläggning bör därför inte placeras på en plats där tillförseln av färskvatten från åar och älvar är så stor att det finns risk för att salthalten ligger utanför vad som är optimalt för ostronen under längre perioder. Ett enkelt alternativ för att säkerställa tillräckligt hög salthalt vid situationer med låga ytvattensalthalter eller mycket nederbörd är tillsats av salt till systemet. Andra alternativ kan vara att ha tillgång till både yt- och djupvatten och att salthalten i tanken övervakas med automatiska sensorer. Vid för låga salthalter kan en pump automatiskt slås på och pumpa in djupvatten i systemet. Detta ökar dock potentiellt vattenutbytet och påverkar därmed värmeretentionen i systemet samt ökar risken för misslyckad bottenfällning då ostronlarverna är känsliga för turbulens. Ett sådant system ökar också kostnaden för etablering av anläggningen och gör systemet känsligare för driftavbrott.

Det europeiska platta ostronet behöver 16 - 18 °C för att föröka sig, vilket i normala fall sker i början av juli i kustnära områden i norra Bohuslän (Figur 22). I extremfall kan dock denna temperaturgräns överskridas redan i slutet av maj/början av juni.



Figur 22. Medel-, max-, och min. temperaturer på 1 m djup vid Sven Loven Center för marina vetenskaper, Tjärnö, mellan år 1980 och 2015. Data från Bertils brygga och automatiska temperaturregistreringar på Sven Loven Center. 18 °C visar när lämplig temperatur för lek inträffar.

I de dammsystem som vi besökt under projektets gång har ingen temperaturmanipulering använts, framför allt då detta inte behövts på grund av dammarnas grunda konstruktion som gjort att vattentemperaturen snabbt ökar på våren och försommaren. Flera av varandra oberoende aktörer har dock lyft behovet av att få upp temperaturen till 20 °C för att en lyckad lek ska ske. Temperaturreglering är därför en faktor som bör beaktas i ett havsbaserat system. Den omgivande vattenmassan kan bidra till att uppväga den uppvärmningseffekt av vattnet i en havsbaserad



odlingsbehållare som sker på grund av den begränsade volymen och ett begränsat vattenutbyte. Ett havsbaserat system kommer också vara djupare än landbaserade dammar vilket påverkar uppvärmningshastigheten. I en havsbaserad anläggning bör därför design och materialval anpassas så att tanken isoleras mot omkringliggande vattenmassa för att minska värmeförluster. Viktigt att notera är dock att isolering av tanken ökar flytkraften, vilket måste kompenseras t.ex. genom att tankens konstruktion inkluderar någon typ av barlast.

Ett alternativ för att öka uppvärmningen av vattnet i tanken är att konstruera odlingsbehållaren med en mörk botten som bidrar till en ackumulering av värmeenergi. I detta fall är det dock viktigt att det endast är delar som befinner sig under vattenytan som görs mörka för att undvika överhettning av mörka material och associerad förlust av strukturell integritet. Ytterligare möjligheter är att konstruera ett system för övertäckning av dammen under lekperioden alternativt att använda tekniken med brackvattenslager som utnyttjas i norska pollar (se kap 4.1.4). En struktur liknande den som används i anläggningen i Molnes (Figur 20) skulle kunna användas som stöd för övertäckning av tanken. Detta skulle inte bara kunna bidra till en ökad uppvärmning av tanken genom skapandet av en växthuseffekt utan också minska risken för stora variationer i salthalt i ytvattnet under år med kraftig nederbörd under våren.

Både övertäckning och pollmetoden följs av utmaningar, i fallet med övertäckning att hitta lättviktsmaterial med hög hållfastighet som inte slits sönder av kraftiga vindar, och för pollmetoden att skillnaden i salinitet mellan brackvattenslagret och det underliggande saltvattnet kan komma att utjämnas genom turbulens orsakad av vind och vågrörelser i tanken. För pollmetoden finns också ett logistiskt problem med hur söt/brackvatten i tillräckliga mängder ska transporteras till dammarna. Dessa alternativ för uppvärmning bör därför utvärderas vidare innan de används i ett kommersiellt produktionssystem.

### Rekommendationer:

Salthalten i dammarna bör övervakas regelbundet, och saliniteten kan justeras genom tillsats av havssalt vid behov. För att minimera värmeförluster och optimera uppvärmning av vattnet i dammarna föreslår vi att vattenutbytet i tanken minimeras under tiden som moderströmen befinner sig i tanken. Larverna är också känsliga för turbulens fram till bottenfällning vilket ytterligare lyfter behovet av att minimera vattenutbytet fram till bottenfällning av larverna. För att möjliggöra en ökad cirkulation i tanken efter dessa stadier utan att öka vattenutbytet kan en isätarpump monteras i botten av tanken. Vi föreslår också att bottensektionen av tanken görs mörk då detta är en enkel och billig lösning med stor potential att delvis eller helt tillgodose behovet av uppvärmning, medan de delar av tanken som befinner sig ovanför vattenlinjen hålls ljusare för att undvika överhettning.

## 5.3 Förberedelse av dammar och utrustning samt skötsel av larver

### 5.3.1 Filtrering av inloppsvatten och flöden

Bland de system vi besökt eller läst om inom ramen för detta projekt finns en ökande komplexitet vad gäller behandling av vatten till dammarna. I dammarna i Rossmore och i pollar används helt ofiltrerat vatten (kap 4.1.1 och 4.1.4), medan anläggningen på Venø filtrerar sitt intagsvatten med

ett trumfilter på 60  $\mu\text{m}$  (kap 4.2.1) och Tralee bay hatchery filtrerar sitt intagsvatten till 5  $\mu\text{m}$  (kap 4.1.2). Det finns fördelar med båda varianterna.

I den första typen av system efterliknas ett naturligt ekosystem i största möjliga grad vilket skapar en större stabilitet i systemet jämfört med manipulerade system. Fördelen med att filtrera inloppsvattnet är att man minskar risken för att predatorer och påväxtorganismer som kan öka dödligheten för ostronlarverna kommer in i systemet, och att förekomsten av zooplankton som kan konsumera växtplankton minimeras så att existerande växtplankton kan utnyttjas som föda av ostronlarverna utan konkurrens. Om larver av sjöstjärnor och krabbor eller andra predatorer kommer in i systemet så kan ostronlarver och yngel bottenfälda på bottenbaserade substrat (såsom blåmusselskal) också komma att utsättas för omfattande predation.

En ytterligare faktor som gör att filtrering av inloppsvattnet är en nyckelfaktor i svenska vatten är att Stillahavsostron i svenska vatten förökar sig vid liknande tidpunkt som de europeiska platta ostronen, varför det finns en överhängande risk att ostronlarver av fel art kommer in i dammen. Larver av Stillahavsostron är som minst ca 75  $\mu\text{m}$ , medan mogna ägg är 30–40  $\mu\text{m}$  varför ett filter på minst 40  $\mu\text{m}$  bör användas för att utestänga dessa larver från dammen. Detta kommer också utesluta övriga påväxtorganismer som diskuterats i denna rapport (se Tabell 3).

Filterdimensioneringen påverkar också vilken typ av alger som kommer in i dammen. Om ett finmaskigt filter används (2 - 5  $\mu\text{m}$ ) kan dammarna inokuleras med önskade algarter som sedan utgör föda för ostronlarverna (se kap 4.2.2). Detta innebär dock begränsningar i filterkapacitet, samt ytterligare ett tekniskt steg i skötsel av dammarna då algkulturer måste underhållas som förrådslösningar ("stock cultures") för dammarna. Det kan också vara mycket svårt att upprätthålla utomhusbaserade monokulturer av alger då dessa lätt kontamineras av omgivningen. I tillägg har en naturlig blandning av födopartiklar visat sig vara fördelaktigt för produktion av ostronlarver (se kap 3.2).

Flödet i dammen kommer att variera under odlingscykelns gång. Inledningsvis bör vattenutbytet begränsas för att gynna en snabb uppvärmning av vattnet i dammen (se kap 5.2) och för att minska störningen av ostronlarverna som är känsliga i de tidiga utvecklingsstadierna. Efter bottenfällning kan dammen antingen bibehållas med partiellt vattenutbyte eller öppnas för genomflöde. En fjärdedel av dammarnas volym byts t.ex. ut per vecka på Venø med goda resultat. Både vid partiella vattenutbyten och genomflöde krävs filtrering av inkommande vatten för att undvika kontaminering med yngel av Stillahavsostron samt påväxtorganismer och predatorer. Val av strategi (partiellt utbyte eller genomflöde) bör bestämmas baserat på födotillgång och temperatur i dammen jämfört med i det omgivande havet, samt bör regleras så att syrebrist inte uppstår i dammen. Vid låga temperaturer och/eller låg födotillgång i havet bör vattenutbytet begränsas, och vid höga temperaturer och hög födotillgång kan genomflöde användas genom öppning av bottenventilen. Optimering av flödet genom tanken kan beräknas genom kvantifiering av antalet yngel, storlek på ynglen samt tillgången till föda i havet (se kap 3.2).

Som alternativ till filtrering av inloppsvattnet kan vatten till dammen pumpas in från större djup. Detta minskar också risken för införsel av patogener i systemet och ökar stabiliteten av vattenkemiparametrar som t.ex. salthalt. Nyttjande av djupvatten innebär dock också att intagsvattnet kommer att ha lägre temperatur och lägre födoinnehåll jämfört med ytvatten, varför ytvatten kan vara att föredra.

## Rekommendationer:

För att minska problem med påväxt, predation och kontaminering med larver av Stillahavsstron föreslår vi att inloppsvattnet till dammodlingstråget filteras med 60 eller 40  $\mu\text{m}$  filter. Detta tillåter mikroalger att komma in i dammen vilket innebär en enklare, gynnsammare och billigare lösning på födotillgång för larver och yngel än inokulering med enskilda algar. För filtrering av inloppsvattnet kan olika filterlösningar användas, t.ex. trumfilter, vilka har kapacitet att filtrera tillräckliga mängder vatten. Detta är också de filterlösningar som använts på de anläggningar vi besökt under projektets gång. Med fördel kan ett filter med automatisk eller timerinställd backspolning användas för att undvika problem med igentäppta filter. Vilken kapacitet som de filter som väljs till anläggningen bör ha kommer att påverkas av dammens storlek och de flöden som behövs. Dammstorleken på de anläggningar vi besökt har ofta legat runt ca 1 000  $\text{m}^3$ . Inom "green water" teknologin används ofta mindre behållare (<450  $\text{m}^3$ ), och goda resultat för yngelproduktion har erhållits av Aquamind (kap 4.2.1) i behållare med 300  $\text{m}^3$ . Vi föreslår därför att en havsbaserad anläggning bör rymma minst 500  $\text{m}^3$ , vilket möjliggör en stabil odlingsmiljö och samtidigt tillåter replikering då en av faktorerna som framkommit under studiebesöken är att man alltid bör satsa på mer än en damm. För mer information rörande filter och pumpar se kap 7.7.

### 5.3.2 Skötsel av larver och yngel

För att uppnå en optimal situation för larver och yngel bör vattenmiljön i dammen övervakas, antingen manuellt med regelbundna intervall eller automatiskt genom sensorer som registrerar olika parametrar i dammen. Flera av de abiotiska faktorerna (t.ex. salthalt, temperatur, pH och syremättnad) kan relativt enkelt övervakas i odlingen för att förebygga problem.

För syremättnad kan t.ex. en sensor användas som kan kopplas till ett larm för att minska risken för syrebrist. Om syrehalterna sjunker <70 % bör bottenvattnet i dammen samt sedimenterade organiska partiklar tömmas ut och nytt vatten tillföras omgående. Som en extra säkerhetsanordning kan en nödgenerator för syretillförsel kopplas till systemet. Genom ett regelbundet utbyte av bottenvattnet i dammen kommer sedimenterat organiskt material att avlägsnas vilket minskar risken för syrebrist. Regelbundet vattenutbyte med medföljande omblandning av vattenmassan kan också bidra till att minska skiktning av vattenmassor vilket också minskar risken för syrebrist. Utbytet av vattnet bör vara som lägst under sen konditionering och tidiga larvstadier, men under denna period sker inte heller någon omfattande produktion av fekalier eller annat organiskt material, vilket innebär att behovet av att tömma tanken borde vara relativt litet. Ev. kan rengöring skötas manuellt under detta stadie för att undvika störning av vattenmassan.

Övriga parametrar som bör övervakas under larv- och yngelstadiet är födotillgång (mängden partiklar i vattnet), larvtäthet, pH, temperatur och salthalt. Behovet av stabila salthalter och alternativ för att upprätthålla goda salthalts förhållanden diskuterades i kap 5.2. I förhållande till pH så är det framför allt låg mättnad av aragonit och för låga halter av kalcium och magnesiumjoner (vattnets hårdhet) som kan orsaka problem för ostronlarverna (se kap. 3.3). Koncentrationen av  $\text{CO}_3^{2-}$  kan mätas genom enkla alkalinitetstest som används för kontroll av vattenkvalitet i saltvattensakvarier. Genom att tillsätta natriumbikarbonat kan koncentrationen av  $\text{CO}_3^{2-}$  ökas vilket ökar vattnets buffrande förmåga och mättnadsgraden av aragonit.

Om födobrist uppstår kan dammarna, i enlighet med "green water" tekniken, gödglas för att stimulera algbloomningar. Trots att principen med gödsling för att stimulera produktion av växtplankton kan verka enkel så måste många olika parametrar hållas under kontroll för

framgångsrik produktion, och att inte förändra vattenkemin kan därför i många fall ge bättre resultat än gödsling (Claus 1981, Wedel Nielsen J. personlig kommentar). I flera fall (Rossmore, Venø) har dammar drivits framgångsrikt utan gödsling, varför detta bör utvärderas i ett första steg. Genom regelbundet vattenutbyte tillförs nya näringsämnen så att planktonproduktionen kan fortgå. Det är möjligt att gödsling kan användas som ett komplement i situationer där ynglen riskerar att annars bli födobegränsade, vilket t.ex. inträffade sommaren 2018 där extremt stabilt och varmt väder orsakade en så stabil stratifiering och liten avrinning från land att näringen och därmed planktonproduktionen i ytvattnet reducerades till mycket låga nivåer. I denna situation rekommenderas att organiska gödningsmedel (t.ex. krossad krabba, höns eller boskaps gödsel) placeras i påsar som enkelt kan avlägsnas ur dammen vid behov, och att måttliga mängder används till att börja med. I "green water" teknologin rekommenderas ca 5 kg gödsel per 100 m<sup>2</sup> bottenyta med ett vattendjup på ca 1 m, men vi vill rekommendera försiktighet i doseringen för att undvika massiva blomningar som leder till en kollaps i systemet. Ett annat alternativ är att separata dammar gödglas och används för algproduktion som sedan kan pumpas in i dammarna med larver och senare yngel. Detta blir dock kostnadskrävande och vi rekommenderar därför att andra alternativ utvärderas först.

### Rekommendationer:

För att upprätthålla goda förhållanden för larver och yngel föreslår vi att vattenkemiparametrar och födotillgång övervakas regelbundet, gärna dagligen. Parametrar som bör följas är temperatur, salthalt, pH, syremättnad och födotillgång. Dessa parametrar bör hållas inom optimala gränser och åtgärder bör vidtas om parametrarna vid kontroll uppvisar suboptimala värden. För mer detaljerad information rörande åtgärder i de fall parametrarna uppvisar suboptimala nivåer vid kontroll hänvisar vi till kap 6. Vi föreslår också att vattenutbyte minimeras under detta stadiet av odlingscykeln i största möjliga utsträckning för att minimera störning av larverna.

## 5.4 Bottenfällning och yngelkolektorer

Den peagiska fasen för *O. edulis* larver varar normalt i ca 8 - 30 dagar beroende av temperatur och födotillgång. I landbaserade kläckierier varar denna fas 8 - 12 dagar vid temperatur över 25°C och 14 - 16 dagar vid 20°C (Davis och Calabrese 1969, Kamermans et al. 2018). I dammodling är det dock möjligt att larvperioden blir längre än i kläckierier pga. lägre temperaturer och potentiellt suboptimala födomängder. Olika typer av kolektorer kan användas för bottenfällning av larverna. Musselskal används ofta som substrat, men måste då rengöras noga så att inga köttrester förorenar dammen vid utplacering av skalen. Det finns också risk för att skalen ansamlas vid utloppet i en havsbaserad anläggning på grund av den sluttande botten. Insamlingen av musselskal kan också bli komplicerad i ett havsbaserat system.

Havsbaserade hängande kolektorer, s.k. Coupelles (Figur 8 och 15) som används bland annat i Frankrike kan hängas i den fria vattenmassan i dammen. Denna typ av kolektor erbjuder en stor yta för larverna att bottenfälla på och erbjuder ett beprövat alternativ till musselskal, men kräver också en del förarbete i form av kalkning, varsam hantering så att kalken inte ramlar av, samt kräver en maskin för skörd samt en båt med kran för hantering. De nya varianterna av Coupelles med perforerade diskar gör att kalken sitter fast lite bättre fast, vilket minskar problematiken med kalkavlossning, men gör också skördearbetet mer komplicerat. Ytterligare ett alternativ är flytande lamellkolektorer (Figur 15), vilka kräver mindre förarbete och är lättare att hantera. Dessa kolektorer erbjuder också stora ytor med substrat för bottenfällning. I havet koloniserar ofta dessa system av sjöpungrar som trivs i de mörka utrymmena mellan lamellerna. Det är möjligt att detta

kan undvikas i en havsbaserad anläggning då inloppsvattnet filtreras. Det kan vara svårt att skörda kollektorer utan kalk, men utrustning för automatisk skörd finns utvecklat, varför det vore intressant att utvärdera denna teknik i en dammanläggning.

### Rekommendationer:

Baserat på den kunskapsbas och de tekniska lösningar som finns utvecklade för Coupelles föreslår vi att denna typ av kollektor används vid bottenfällning av yngel. Vi ser dock starka skäl till att utvärdera ytterligare alternativ till kollektorer då Coupelles är tunga och svårbearbetade och riskerar att förlora sin kalk (och därmed bottenfälda yngel) vid kraftig sjögång.

## 5.5 Stabilitet och belastning

Vid konstruktion av en grund, havsbaserad damm bör anläggningens stabilitet utredas då det är svårt att få god stabilitet för grunda objekt även om ytarean är stor. Både stabiliteten och belastning påverkas också av vilket förankringssystem som väljs för anläggningen. Skruvankare är konstruerade primärt för lodräta krafter vilket innebär en positionering rakt under dammkonstruktionerna. Detta innebär en risk för förskjutningskrafter som kan få dammarna att luta vid kraftig drift eller vågor. Ett alternativ är plogankare med kätting som är bättre anpassade till sidokrafter.

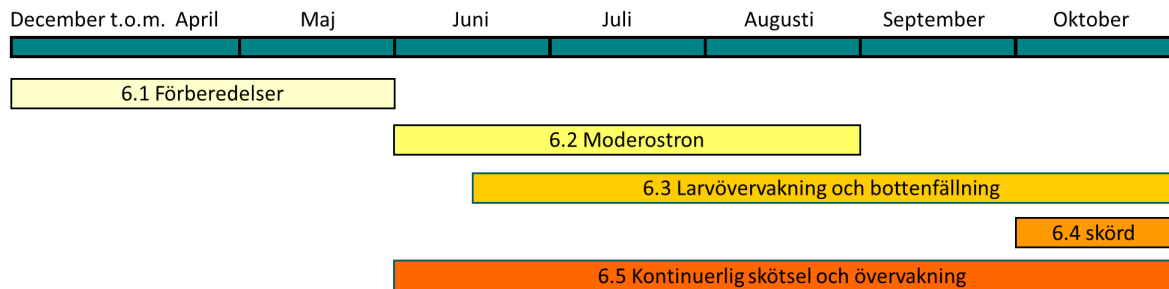
Genom datorsimulering av stabilitet kan vågkrafterns påverkan på dammkonstruktionen och dess stabilitet utvärderas på ett teoretiskt plan. Ett steg vidare i denna process kan också vara utvärdering av en skalenlig kopia i en vågtank. För att öka stabiliteten kan flera dammar sammonteras. Då vi på grund av biologiska skäl behöver mer än en tank, är sammontering en gångbar väg framåt, men dammarnas individuella stabilitet bör också utvärderas genom simuleringar. Test i vågtank ligger utanför ramarna för detta projekt, men bör ingå i en vidare utvärdering innan konstruktion av systemet. Beroende på de belastningar som dammkonstruktionen kan utsättas för så bör stålförstärkning i dammsektionernas skarvar beaktas. Detta kan också påverkas av vilken typ av skarv som väljs för anläggningen, omlottskarvar eller flänsar. På Neptun 3 används primärt flänsar. Detta skapar ett behov av förstärkning av fogarna (Figur 18) för att undvika att skarvarna bänds isär då konstruktionen utsätts för belastning. Omlottskarvar är vanligt för landbaserade odlingstråg av olika storlekar, och är ett bra alternativ för en havsbaserad anläggning av den storlek som diskuteras i kap 5.3.1.

### Rekommendationer:

Belastning och stabilitet för den dammkonstruktion som utvecklas i detta projekt bör utvärderas med datorsimuleringar och behovet av stålförstärkta skarvar bör granskas. Vi rekommenderar att plogankare används för förankring istället för skruvankare då belastningen fördelas bättre med denna typ av förankring. Omlottskarvar är lämpliga för den storlek av tank som planeras.

## 6. Odlingsprotokoll

I följande kapitel beskrivs ett protokoll för hur dammodling av *O. edulis* yngel i havsbaserad anläggning kan gå till. Observerat att detta protokoll baseras på information insamlad under studiebesök och litteraturstudier, varför protokollet behöver utvärderas och eventuellt justeras genom praktiska erfarenheter erhållna från kommande odlingsförsök. Protokollet är indelat i olika aktivitetsområden vars tidsmässiga genomförande illustreras i figur 23.



Figur 23. Tidsmässig fördelning av olika aktiviteter i odlingsprotokollet.

### 6.1 Förberedelser

November-Maj:

- Dammarna torrlagda.
- Musselskal utlagda för rening (10 skal per damm och per vecka, provtagning varje vecka från mitten av juni-augusti --> ca 500 skal för 4 dammar)

April:

- Förbered kollektorer. Kalka Coupellerna genom att doppa dem i en blandning av kalciumhydroxid, vatten och cement och sätt dem på tork under tak tills att de ska användas. Viktigt att Coupellerna får torka och härda långsamt.

Maj:

- Rensa dammarna på musslor och andra organismer samt skräp.
- Fyll dammarna med filtrerat inloppsvatten i slutet av maj med vatten som har en salthalt på minst 25 ‰ och som filtrerats genom ett 60 µm trumfilter.
- Om salthalten är för låg kan havssalt tillsättas tills salthalten <35 men > 5 ‰
- Gödsla inte dammen.

### 6.2 Moderostron

Juni:

- Plocka ostron från vilda bestånd i närliggande områden i början av juni när temperaturen är ca 16 °C.

- Kontrollera ostronens kondition genom att öppna några och se om magen syns genom gonaden. Ostronen ska vara i god kondition och ska komma direkt från havet.
- Placera ostronen i sötvatten i 24 timmar för att döda eventuell påväxt.
- Skrubba av ostronen med en grov borste för att avlägsna eventuell påväxt.
- Placera moderostron (ca  $1 \cdot \text{m}^{-3}$  --> ca 500 ostron/damm för en damm med  $500 \text{ m}^3$  volym) i dammarna i hängande korgar eller i flytande påsar i mitten av juni när dammarna nått  $18 \text{ }^\circ\text{C}$ . Anpassa antalet ostron per korg/påse till påsens storlek. Ostronen kan ligga tätt men ska inte överlappa.

Augusti:

- Ta upp moderostronen i juli/augusti när inga fler larver observeras (se kap 6.3) i dammarna.

## 6.3 Larvövervakning bottenfällning

Juni:

- Provta vattnet var tredje dag (4 - 10 l/damm) från det att ostronen placerats i dammarna för att identifiera om larver släppts.
  - Ta vatten från både ytan, botten, kanterna och mitten av dammen (se kap 4.1.1).
  - Filtrera vattnet genom ett  $125 \mu\text{m}$  filter. Skölj ihop eventuella larver i botten på filtret och sug upp vätskan med en plastpipett.
  - Placera vätskan med larver i en räknekammare och räkna antalet ostronyngel m.h.a. mikroskop.
- Placera kollektorer i dammarna när larver observeras (gärna  $>100$  larver/l). Ostronen brukar leka efter ca 10 dagar när temperaturen är  $18\text{-}20 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Larverna är känsliga för turbulens innan bottenfällning så använd inte luftning och undvik vattenutbyte tills larverna bottenfällt. Tidiga larvstadier är känsligare än senare larvstadier, men larver kan släppas under en tidsperiod av flera veckor varför vattenutbytet bör begränsas i största möjliga mån under denna period. Se kap 6.5 för mer information om vattenutbyte.
- Övervaka bottenfällningen helst 2 gånger per vecka, men minst veckovis, genom att hänga ut någon typ av kollektor, t.ex. enskilda diskar från Coupelles, musselskal eller ostronskal i dammarna.
  - Inspektera bottenfällningssubstratet för nyligen bottenfällda yngel.
  - Skalen måste bytas ut eller rengöras efter varje avläsning (dvs. varje vecka) för att möjliggöra detektion av fortsatt bottenfällning.
- Behåll kollektorer i dammarna fram till oktober då de skördas. Behåll kollektorer i dammen till och med oktober för att undvika kontaminering med påväxtorganismer och yngel av Stillahavsostren som kan förekomma i låga tätheter under hela oktober.

## 6.4 Skörd av yngel

Oktober:

- Lyft ur kollektorerna ur dammarna.
  - OBS. Yngel är känsliga för kyla så undvik att göra detta steg vid minusgrader.
- Skörda av kollektorerna m.h.a. skördemaskin.
- Tvätta och storlekssortera ynglen.
- Placera i yngelkorgar för vidareväxt.
- Töm dammarna efter skörd av yngel.

## 6.5 Kontinuerlig skötsel och övervakning

Juni – Oktober:

- Övervaka vattenkemiparametrar och födotillgång, helst dagligen men minst var tredje dag.
  - Salinitet: mäts med en salthaltssensor. Ska minst vara > 20 ‰, men gärna > 25 ‰.
    - Mät både i ytan och vid botten på dammen.
    - Vid salthalter < 20 ‰, tillsätt havssalt till önskad salthalt (<35 men >25 ‰).
  - Temperatur: mäts med en termometer. Ska minst vara 18 °C i juni och juli, men bör inte överstiga 25 °C.
    - Mät både i ytan och vid botten på dammen.
    - Om temperaturen är <18 °C, försök undvik/minska vattenutbyte om möjligt eller överväg övertäckning av dammarna med en plastpressning.
    - Om temperaturen är >25 °C, byt ca en fjärdedel av vattnet i dammen. Övervaka syremättnad och födotillgång dagligen tills temperaturen gått ner.
  - pH och alkalinitet: Optimalt pH är ca 8-8,2 och så länge pH är högre än 8 så behöver pH inte justeras. pH är dock av mindre betydelse så länge alkaliniteten och vattnets hårdhet är inom bra nivåer. Alkaliniteten (vattnets buffertförmåga) bör ligga inom 50 – 150 mg/l (samma som ppm) kalciumkarbonat (CaCO<sub>3</sub>) och får inte understiga 20 mg/l. Alkalinitet kan också anges i dKH, där 142–215 ppm motsvarar ca 8–12 dKH. Vattnets hårdhet påverkas av tillgången till kalcium (Ca<sup>2+</sup>) och magnesium (Mg<sup>2+</sup>), två viktiga ämnen vid skalbildning. Hårdheten bör ligga mellan 75 och 200 mg/l (samma som ppm och uttrycks som CaCO<sub>3</sub> ekvivalenter, Wurts och Durborow 1992, Sallenave 2016). Att hantera variationer i alkalinitet och hårdhet är inte enkelt då ett överskott av kalcium kan sänka alkaliniteten och för hög alkalinitet kan minska förekomsten av kalcium, båda genom utfällning av kalciumkarbonat. Olika guider för hantering av detta i saltvattensakvarier finns utvecklade på nätet<sup>1</sup>. Dessa guider har också gett goda indikationer för dammproduktion av ostronyngel (Personlig kommentar Johan Wedel Nielsen).

---

<sup>1</sup> <http://reef.diesyst.com/chemcalc/chemcalc.html> 2019-02-25



Det finns enkla och billiga akvarietester för saltvattensakvarier som kan användas vid behov, men dessa kan också ge felaktiga värden och bör därför användas med försiktighet.

- Mät både i ytan och vid botten på dammen.
- Vid låg alkalinitet kan Natriumbikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ) tillsättas för att höja mättnadsgrad av aragonit och öka havsvattnets alkalinitet.
- $\text{O}_2$  (syremättnad): mäts med syresensor. Ska ligga över 70 % mättnadsgrad och/eller  $> 3,5$  mg/l.
  - Mät både i ytan och vid botten på dammen.
  - Vid låg syremättnad ( $< 70$  % och/eller  $< 3,5$  mg/l) i bottenvattnet bör vattenbyte ske. Töm i så fall ut bottenvatten upp till en fjärdedel av dammens volym. Ytvattnet bör inte nå så låga nivåer om bottenvattnet byts vid behov. Om ytvattnet når 70 % syremättnad och/eller 3,5 mg/l bör en fjärdedel av vattnet bytas omgående. Undvik i detta fall omrörning av vattnet i dammen och töm bottenvattnet först då det finns en stor risk för att syremättnaden är ännu lägre i bottenvattnet.
- Födötillgång: mäts med siktdjup (secci-skiva) och klorofyllmätning. Ska ligga  $< 1$  m siktdjup.  $0.1 - 1$   $\mu\text{g}$  klorofyll a/l är normala nivåer och  $1$   $\mu\text{g}$  klorofyll a/l kan betraktas som högt. Om möjlighet finns, övervaka planktonkoncentrationer och artsammansättning.
  - Mät klorofyll både i ytan och vid botten på dammen. Siktdjup mäts från ytan.
  - Vid låga nivåer ( $> 1$  m siktdjup,  $> 0.1$   $\mu\text{g/l}$ ): byt en fjärdedel av dammens vatten om temperaturförhållandena medger det. Alternativt så kan organiskt gödsel eller näringssubstrat (t.ex. krossad krabba, höns eller boskaps gödsel) tillsättas till dammarna. Undvik vattenbyte under larvfasen då larverna är känsliga för turbulens. Om näringssubstrat används:
    - Placera näringssubstrat i påsar som enkelt kan avlägsnas ur dammarna vid behov och häng ut påsarna i dammarna.
    - Använd ca 5 kg gödsel/100  $\text{m}^2$  bottenyta med ett vattendjup på ca 1 m som riktmärke. I den dammkonstruktion som utvecklats i detta projekt (262  $\text{m}^2$  bottenarea) kan därför 10-12 kg gödsel tillsättas. Mängden bör dock utvärderas då djupet på dammen (4 m) skiljer sig från det optimala (1 m). 0,5-1 kg krossad krabba per dag rekommenderas (Wedel Nielsen J., personlig kommentar) tills seccidjupet minskar.

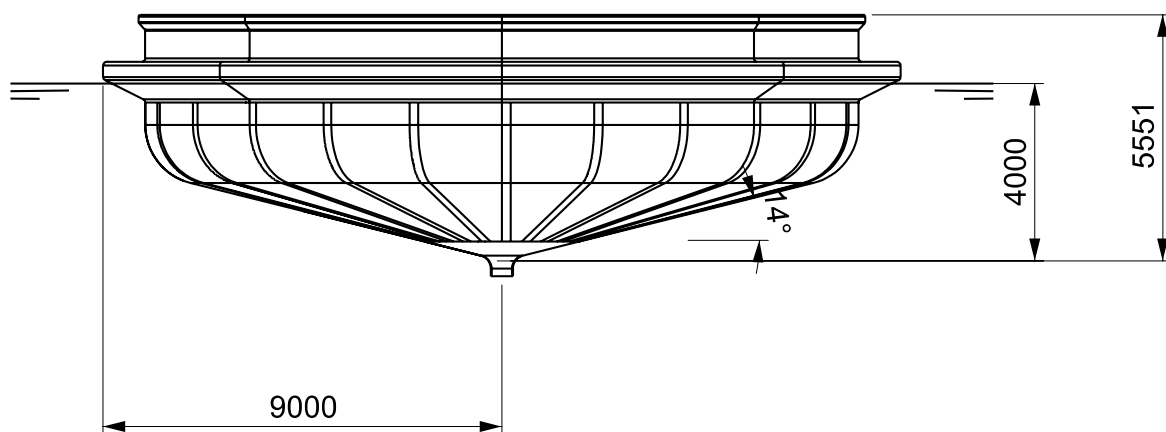
## 7. Tekniska lösningar – ett nytt havsbaserat system

Baserat på erfarenheter från de system som beskrivs i kapitel 3–5 presenteras här den tekniska lösningen för ett havsbaserat odlingssystem för svenska förhållanden. Baserat på detta underlag sätts krav på tankens dimensioner och konstruktion enligt följande:

- Totala volymen av tanken ska dimensioneras så att fler än en tank kan byggas för att minska osäkerheten i produktionssteget. En lämplig volym bedöms vara ca 500 m<sup>3</sup>.
- För att undvika ansamling av sediment ska tankens insida vara slät och botten ha en lutning mot ett dräneringshål som möjliggör vattenbyten under odlingstiden.
- Tanken ska vara djupare än 1 m för att möjliggöra uthängning av kollektorer men ändå så grund som möjligt för att maximera arean och minimera djupet för optimal uppvärmning.
- Isolering av tanken och alternativ för uppvärmning av vattnet i tanken ska beaktas.
- Placeringen av tanken är skyddad men konstruktionen skall kunna tåla sjötillstånd med en signifikant våghöjd på 1,5 m, vilket ger god marginal till det faktiska sjötillståndet inomskärs. Detta styr tankens fribord till 1,5 m eftersom läckage av omkringliggande vatten in i tanken kan medföra att predatorer och främmande arter tränger in i tanken.
- Tanken skall ha goda sjöegenskaper i de sjötillstånd som kan förväntas.
- Konstruktionen skall beakta tillverkning, transport i 40' containrar samt montering av tanken.

### 7.1 Geometri

Odlingstankens geometri är till stor del baserad på Neptun 3 (kap 4.4.1). Baserat på kraven på volym och djupgående, se ovan, sätts innerdiametern av tanken till 16 m. Övergripande mått är 4 m djupgående, 5,5 m total höjd och en total diameter på 18 m (Figur 24).



Figur 24. Ostreatankens sidovy med dimensioner.

För hållfasthet undviks tvära övergångar i geometrin, vilket innebär att radier sätts så stora som möjligt. Dessutom konstrueras skarvar mellan sektioner att vara raka i största möjliga mån.

Tjockleken på väggarna i tanken sätts till 50 mm i sidorna och 30 mm i botten, se kapitel 7.5.2. Skarvarna utgörs av matchande flänsar på halva tjockleken – 25 mm respektive 15 mm– och en bredd på 200 mm på respektive sektion som skall sammanfogas. Sammanfogningen sker med marint polyuretanlim samt bultar, se 7.5.1.

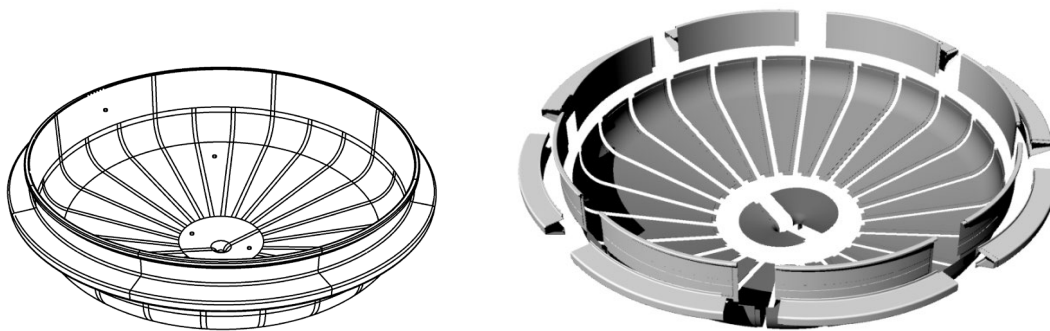
Runt tankens kanter sätts en flyttank med 1 meters bredd för att ge stabilitet samt en yta för personal att arbeta på. Detta ger en total diameter på 18 m. Detta ger även indelningen av tankens sektioner i vilken höjden på varje sektion i omkretsen blir styrande. Sidosektionerna inklusive flyttankar utgör en del där våghöjden sätter friborden till 1.6m (se Sjöegenskaper nedan)6 m. Toppen av tanken är 5,5 m ovanför mitten av botten, vilket ger ett djupgående på 3,9 m plus dräneringsrör. Därmed blir botten av flyttanken ovanför skarven mellan sidosektionen och bottensektionerna.

Tankens delar skall kunna transporteras i en 40' container. Det cirkulära tvärsnittet gör att antalet sektioner i tankens respektive delar måste vara jämnt delbart med 360 grader. Inre dimensioner för en 40' container presenteras i tabell 5. Tankens respektive delars maximala mått måste matcha dessa.

Tabell 5. Inermått på en 40' container.

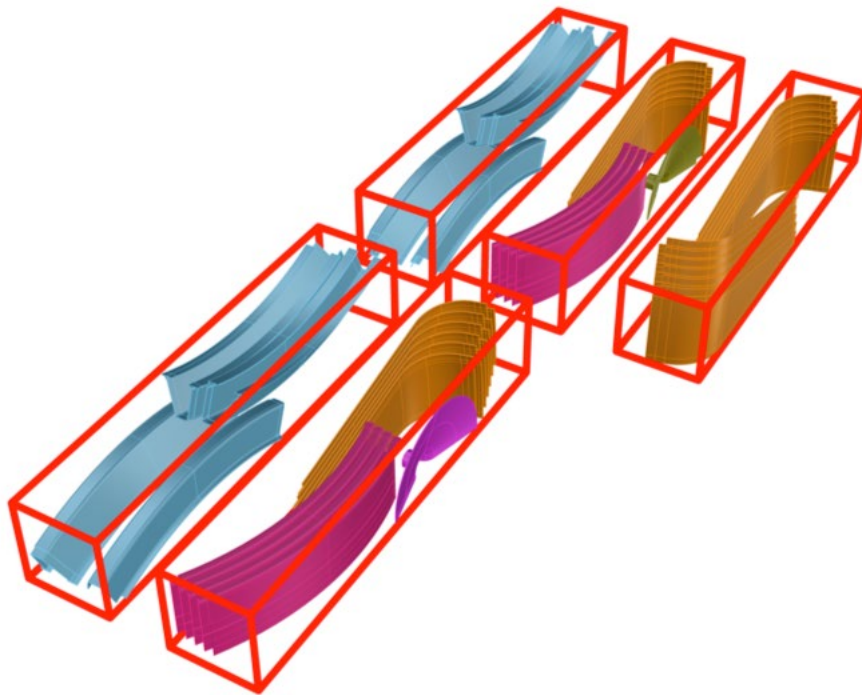
Längd	12.03 m
Bredd	2.35 m
Höjd	2.39 m

Givet containerns dimensioner ger detta följande geometri för tankens respektive delar (Figur 26).



Figur 26. A: Ostreatanken med dess ingående delar. B: Exploderad vy.

Tanken består därmed av 8 st sidoväggar med tillhörande flyttankar, 24 st bottensektioner samt två olika bottendelar med integrerat dräneringshål. Delarnas dimensioner, se ritningar i appendix för fler detaljer, gör att tankens alla delar tillsammans kan packas i 5 st 40' containrar (Figur 27).



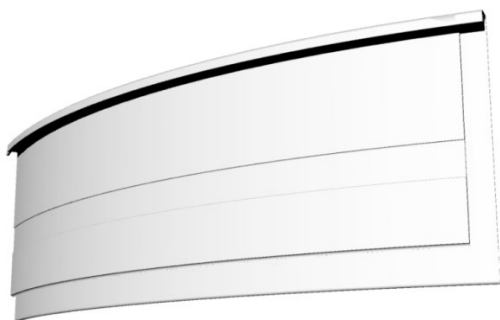
Figur 27: Illustration av packning av tankens ingående delar i 5 st 40' containrar.

För att tanken ska vara enkel att tillverka har slutna sektioner helt undvikits och samtliga ingående delar är öppna i sitt tvärsnitt.

Tankens ingående delar beskrivs i mer detalj nedan.

### 7.1.1 Sidoväggar

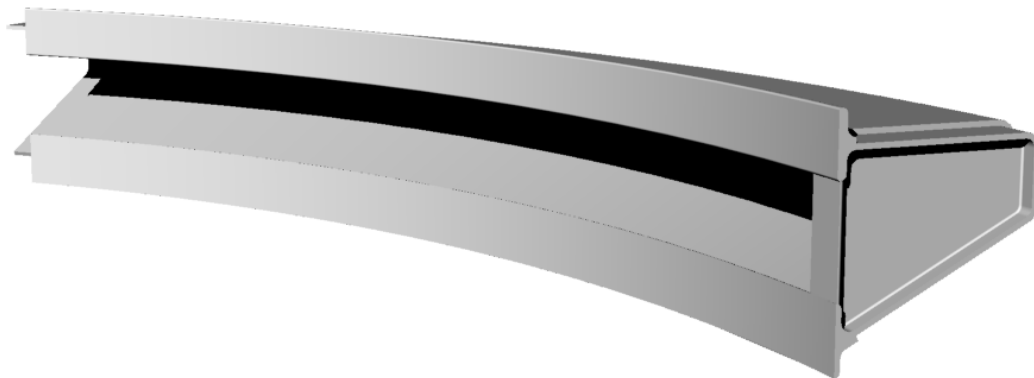
Sidoväggarna ger fribord och har en integrerad fläns i dess övre del för att ge strukturell stabilitet åt den fria kanten. Dess höjd bestäms av höjden hos 40' containern, vilket även innefattar den nedre skarven mellan sidovägg och flyttank. I denna skarv sammanfogas flyttankarna, sidoväggarna och bottensektionerna, vilket ger en stark skarv. För sammanfogning med flyttanken finns urtag längs väggens tvärsnitt som matchar flänsar på flyttanken, se nedan. Detta resulterar i en geometri enligt figur 28.



Figur 28: Sidosektionen 3D vy.

## 7.1.2 Flyttank

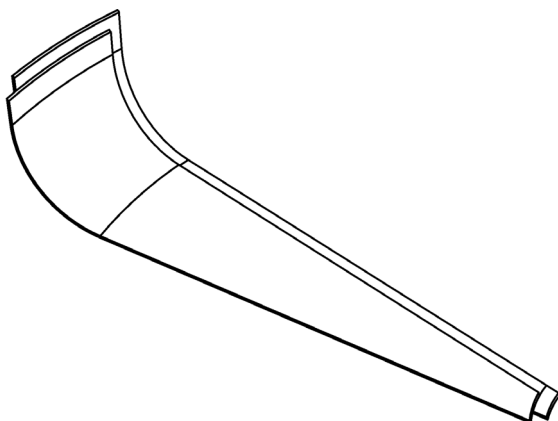
Flyttanken har en förslutning i ena änden och flänsar för att sammanfoga sektionerna som matchar varandra i respektive ände (Figur 29, se appendix A för mer detaljer). För tillgänglighet i montering och inspektion finns en manlucka integrerad på mitten av tankes övre del. Denna kommer behövas i sista steget av monteringsprocessen. Den vattentäta segregeringen mellan tankar säkerställs med flänsarna och lim mellan dem.



Figur 29. 3D vy av flyttankens geometri med flänsar för sammanfogning med sidoväggen samt vägg för segregering mellan tanksektioner.

## 7.1.3 Bottensektion

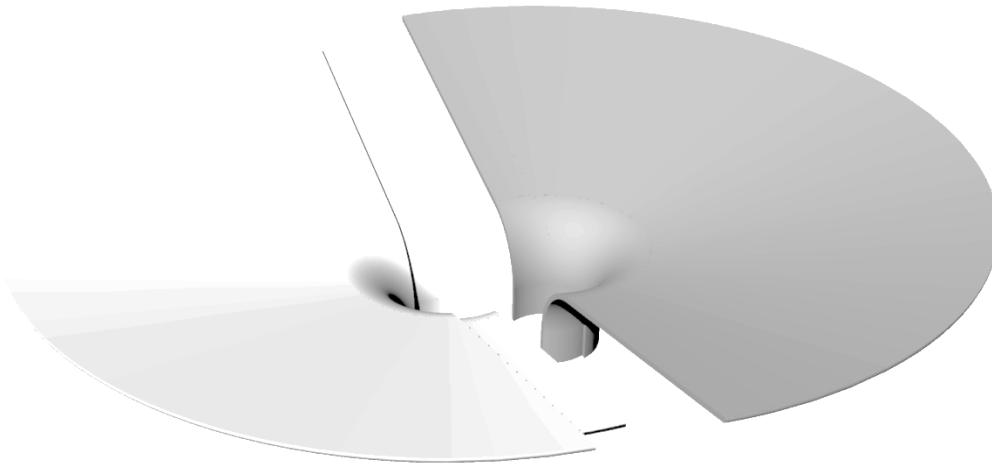
Bottensektionerna är cirkelsektioner med en vinkel på 15 grader som gör att botten lutar nedåt mot dräneringshålet. De kopplar samman sidosektionerna med botten. De ger en stabilitet till hela konstruktionen med sin stora radie i övergången mellan sida och botten. Sektionerna har flänsar för att bultas ihop med varandra och omkringliggande strukturer (Figur 30). Tjockleken för bottensektionen är 30 mm, se kapitel 7.5.2 om finit elementberäkningar.



Figur 30. 3D vy av bottensektionen

## 7.1.4 Botten

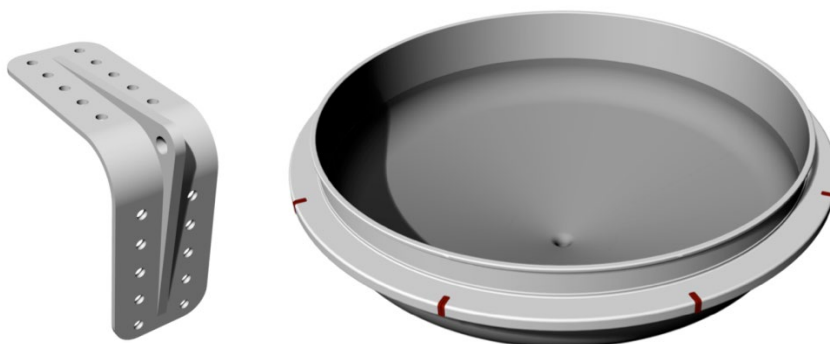
Anledningen till att ha en botten är att stabilisera konstruktionen. Det hade varit geometriskt möjligt att låta bottensektionerna gå ända ned till dräneringshålet men detta hade gett väldigt många skarvar och bultar i det området. Att addera bottensektionerna och maximera deras dimensioner sparar vikt i bultförband långt ned i konstruktionen och ger en stabilare konstruktion p.g.a. deras geometri med en radie ned mot dräneringshålet (Figur 31). Bottensektionen stabiliserar upp hela bottenstrukturen, därmed sätts tjockleken till 50 mm.



Figur 31. Bottenkonstruktionen med två delar som låser i varandra.

## 7.1.5 Fästbeslag för förtöjning

För att fästa förtöjningslinor i tanken behövs beslag i något material starkare än den GRP tanken är gjord av. För detta görs beslag av stål som bultas fast i som en del av skarvarna mellan flyttankarna, se figur 32. Detta gör att väggen som avdelar flyttankarna blir en förstärkning och fördelar lasterna från förtöjningarna. Det gör även att tanken får åtta fästpunkter för förankring, se 7.6 för detaljer rörande förtöjningen.



Figur 32: Förtöjningsbeslaget a) 3d-vy av beslaget. b) beslagets placering på tanken.

Beslagen hålls fast med 20 bultar med 10 på ovansidan av tanken och 10 på sidan av den. För hållfasthetsberäkningar av beslaget, se 7.5.1.

## 7.1.6 Värmereglering av odlingen

Temperaturen i tanken är central för tillväxten av ostronen, som beskrivs i sektion 3.3, och måste kunna regleras. Det material, GRP, som tanken är byggd av ger naturlig termisk isolering mot omkringliggande vatten. Arean av undervattenskroppen som utgörs av de 24 bottensektionerna är 262 m<sup>2</sup> och vägg tjockleken här är 30 mm. Bottendelarna som länkas samman runt dräneringshålet, se 7.1.4, har en area på 10m<sup>2</sup> och en vägg tjocklek på 50mm. Värmeöverföringen genom en vägg, som här blir värmeförlusten från tanken till omkringliggande vatten beräknas genom:

$$P = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{d} \quad (\text{Ekvation 1})$$

Där P är värmeförlusten, k är materialets värmeledningsförmåga; För GRP, k=0.5, A är arean över vilken förlusten sker, ΔT är temperaturdifferensen mellan de olika sidorna på väggen och d är väggens tjocklek. *Ostrea* har en optimal tillväxttemperatur på ligger på 20°C, se kapitel 5.2. Enligt figur 24 ökar medeltemperaturen i omkringliggande vatten från 10°C i april till 18 °C i juni,  $T_{amb}$  i ekvation 2 nedan. Tjockleken i bottensegmenten (7.1.3) är 30 mm och 50 mm för botten (7.1.4). Deras respektive areor är 9,84m<sup>2</sup> \* 24 och 10,00 m<sup>2</sup>. Givet dessa värden blir ekvationen:

$$P = 0,5 \cdot (20^\circ\text{C} - T_{amb}) \left( \frac{9,84 \cdot 24}{0,03} + \frac{10}{0,05} \right) = 80720 - 4036 \cdot T_{amb} \quad (\text{Ekvation 2})$$

Vilket ger extremvärden på värmebehov som 40,36 kW för en omgivande temperatur på 10°C och 8,07 kW för 18°C.

Genom att använda en mörk bottenplatta i tanken kan solinstrålning utnyttjas maximalt. Vid ev. överhettning kan tanken kylas genom vattenutbyte, dock är detta scenario relativt osannolikt. Utöver de delar som beskrivits ovan kan tanken täckas av en transparent struktur som spänns upp på mitten av ett flytande stöd liknande konstruktion som tanken i Mollnes anläggningen, se kapitel 4.4. Täckningen har flera funktioner, först och främst att förhindra intrång av predatorer, t.ex. fåglar, och i viss mån vatten samt även temperaturreglering inne i tanken genom en växthusliknande funktion.

## 7.1.7 Energiförsörjning

För att bedriva odling i tanken måste livsbetingelserna för ostronynglen vara så goda som möjligt, vilket beskrivs i kapitel 3–5. Därmed skall de i anslutning till odlingen finnas pumpar för vattenutbyte, filter och en energikälla. I den första provanläggningen kommer denna utrustning vara på ett fartyg som övervakar anläggningen regelbundet. Vid vidareutveckling av odlingen kan dessa system placeras permanent i anslutning till anläggningen.

## 7.2 Stabilitet

För att odlingen ska ge goda tillväxtförhållanden och vara säker att arbeta på måste stabiliteten vara god. Utformningen av den cirkulära tanken är gjord så för att ge en hög stabilitet, t.ex. ligger vattenlinjen på sidosektionens flyttankars nedre, lutande del för att ge god krängningsstabilitet. Med vattenlinjen under flyttankarnas nedre lutande del och vattenlinjen inne i tanken på samma höjd får en inre volym på 532m<sup>2</sup> och ett displacement på 557m<sup>2</sup>. Densiteten på GRP som tanken är byggd av är approximativt samma som omgivande vatten. För att få ett mått på stabiliteten hos en

flytande kropp används det rätande momentets hävarm, GM, som beräknas enligt (van Dokkum et al. 2018):

$$GM = KB + BM - KG \quad (\text{Ekvation 3})$$

Där KB är avståndet mellan kölen, K, och flytcentrum, B. Eftersom tanken och vattnet som fyller den är neutralt i flytkraft relativt omkringvarande vatten bidrar endast luften i flyttankarna till flytkraften. Dessa är triangulära under vattenlinjen, därmed ligger flytcentrum i triangelns tyngdpunkt,  $2/3$  av höjden, vilket ger:

$$KB = 3.66 + 0.37 \cdot \frac{2}{3} = 3.91m \quad (\text{Ekvation 4})$$

KG är avståndet mellan kölen och tyngdpunkten. För tanken utan vatten, där tyngdpunkten betecknas  $G_0$ , är detta 2,98 m. Med vatten i tanken där tyngdpunkten betecknas G blir det 2,63 m.

BM är avståndet mellan metacentrum och flytcentrum och beräknas genom:

$$BM = \frac{I}{V} \quad (\text{Ekvation 5})$$

Där I är vattenlinjens tröghetsmoment och V displacementet i m<sup>2</sup>.

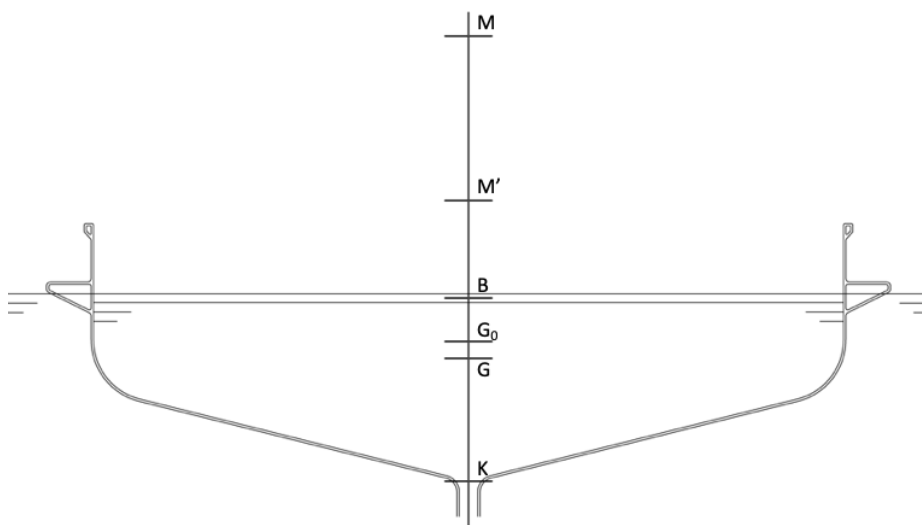
$$I = \frac{\pi}{4} r^4 = \frac{\pi}{4} 9^4 = 5\,153\,m^4 \quad (\text{Ekvation 6})$$

Med tankens totala displacement på 557,48 m<sup>2</sup> ger detta ett GM på 9,24 m

Sedan kompenseras för den fria vätskeytan genom att räkna ner G till G' med tröghetsmomentet för den fria vätskeytan:

$$G_0G' = \frac{I}{\Delta} = \frac{\frac{\pi r^4}{4}}{\wedge \rho_{\text{havsvatten}}} = \frac{\frac{\pi 8^4}{4}}{518 \cdot 1,025} = 6,06\,m \quad (\text{Ekvation 7})$$

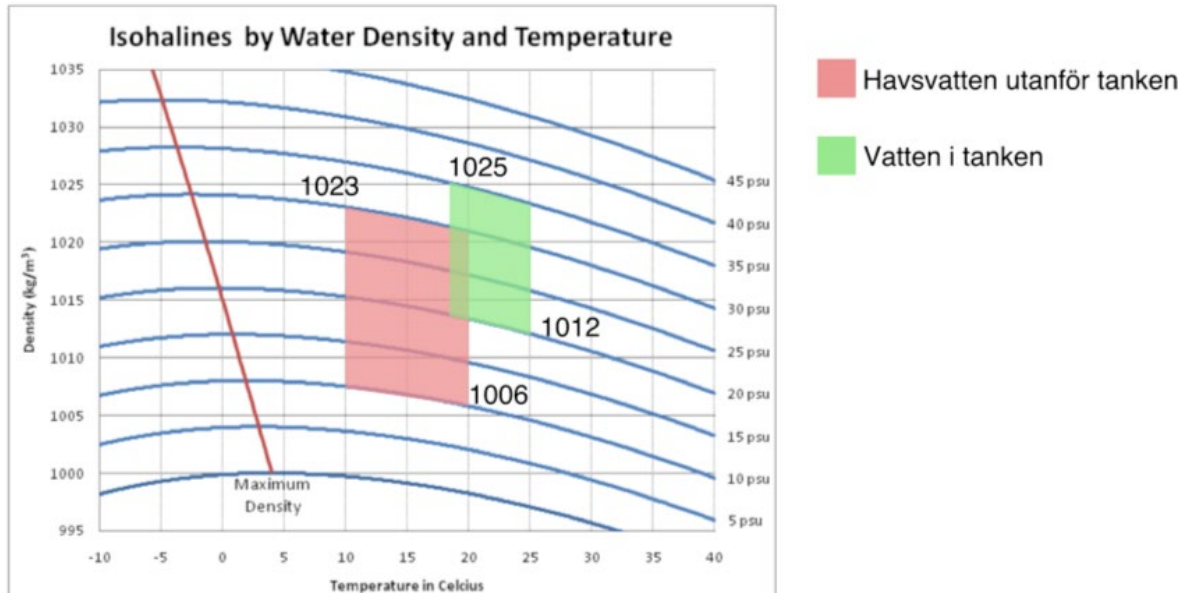
Vilket i sin tur ger ett korrigerat GM' på 3,18 m. Detta är en förhållandevis hög stabilitet. Punkterna illustreras med tankens profil i figur 32.



Figur 32. Tankens stabilitet med styrande punkter visade: K-kölen,  $G_0$ -tyngdpunkt för tom tank, G-tyngdpunkten med vattnet i tanken, B-flytcentrum, M-metacentrum och M'-metacentrum med korrigering för fri vätskeyta i tanken.



Flytläget för tanken påverkas även av densiteten hos vattnet i och utanför tanken, vilken i sin tur påverkas av salinitet och temperatur. Saliniteten i tanken skall ligga mellan 25–35 psu, se kapitel 6.5, medan det i omkringliggande vatten kan fluktuera mellan 15–30 psu (REF). Vidare varierar temperaturen i omkringliggande vatten mellan 10–20 °C medan vattnet i tanken varierar mellan 18–25 °C, se sektion 6.5. Dessa värden ger densiteten för vatten i och omkring tanken enligt kurvorna i figur 33 (Wadhams 2000). Extermvärdena för densiteten i och utanför tanken är givna i figuren.



Figur 33: Kurvor för densiteten för vatten beroende av salinitet och temperatur.

I stabilitetsberäkningarna användes en vattendensitet på 1025 kg/m<sup>3</sup> för att bestämma tankens flytläge. Den väger 26,035 ton i sig själv och är fylld med 531,9 m<sup>3</sup> vatten. I detta läge deplacerar den 557,5 m<sup>3</sup>. Då blir vikten av tanken med vatten i:

$$\Delta = 531,9 \cdot \rho_i + 26035 \quad (\text{Ekvation 8})$$

Eftersom radien på flyttanken är 9 m kommer ändrat djupgående,  $h$ , som deplaceras av tanken när densiteten varierar vara det ursprungliga deplacementet,  $\nabla_0$ , plus arean av cirkeln gånger det ändrade djupgåendet,  $h$ , enligt:

$$\nabla = \nabla_0 + \pi 9^2 h = 557,5 + 254,47h \quad (\text{Ekvation 9})$$

Sätts ekvation 8 och 9 ihop fås en relation där  $h$  varierar med densiteten av vattnet i tanken,  $\rho_i$ , och densiteten för vattnet utanför tanken,  $\rho_y$ , enligt:

$$h = \frac{\frac{531,9 \cdot \rho_i + 26035}{\rho_y} - 557,5}{254,47} \quad (\text{Ekvation 10})$$

Detta ger för extremvärdena av densiteten i och utanför tanken:

Tabell 6: Extremvärden av vattendensitet i och utanför tanken med tillhörande ändring i djupgående för tanken.

Densitet i tanken (kg/m <sup>2</sup> )	Densitet i omkringliggande vatten (kg/m <sup>2</sup> )	Förändring i djupgående (m)
1 025	1 006	0,0406
1 012	1 023	-0,0231

Därmed kommer djupgåendet för tanken beroende av densiteten på vatten i och utanför tanken fluktuera med 6,3 cm, vilket är inom felmarginalen för övriga stabilitetsberäkningar.

Fluktuationer i djupgående med ett konstant vattendjup inne i tanken ger även en fluktuation i lasten från vattentrycket på in och utsida av tanken. Detta påverkar endast hållfastheten marginellt.

## 7.3 Sjöegenskaper

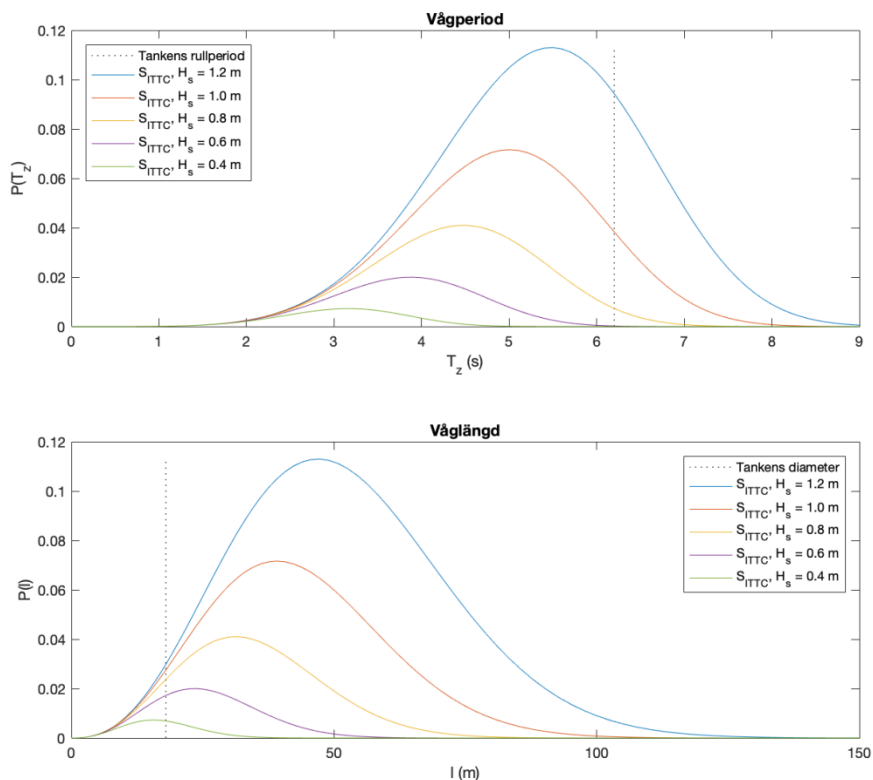
Rullperioden,  $T$ , för en flytande kropp står i relation till dess metacentrumhöjd,  $GM$ , genom ekvationen (Jansson 2015):

$$T = \frac{2\pi k_{\varphi}}{\sqrt{g \cdot GM}} \quad (\text{Ekvation 8})$$

Där  $k_{\varphi}$  är geometrins tröghetsradie som fås genom den modellerade geometrin.

$$k_{\varphi} = 6.19 \text{ m} \quad (\text{Ekvation 9})$$

Vilket resulterar i en rullperiod på  $T = 6.2$  s. Figur 33 A visar rullperioden i relation till de vågpektra som kan väntas för olika signifikanta våghöjder med vågspektrat beräknat enligt ITTC:s rekommendation (Jansson 2015). Vågspektrat visar sannolikheten i ett sjötillstånd för specifika vågkaraktistika. Figur 33 A visar vågperioden vilken relateras till tankens naturliga rullperiod, vilka till stor del sammanfaller för höga våghöjder. Detta är en varningssignal för resonant tillstånd hos tanken vilket kan ge stora accelerationer och sloshing (brytande vågor mot tankens kant) av vattnet i tanken. Dock kommer förtöjningskrafter ytterligare öka tröghetsradien som därmed gör att tankens resonansperiod förskjuts åt höger, längre ifrån vågperiodens maximum. Figur 33 B visar tankens diameter i förhållande till våglängden. Dessa sammanfaller inte i stor utsträckning, vilket indikerar att hävning och rullning av tanken inte kommer vara ett avgörande problem för strukturen.



Figur 33. A: Vågperiod av sjötillstånd med olika signifikant våghöjd med tankens naturliga rullperiod indikerad. B: Våglängden av sjötillstånd med olika signifikant våghöjd med tankens diameter indikerad.

## 7.4 Laster på strukturen

Belastningen på tanken och dess förtöjningssystem kommer ifrån vind, vågor och ström.

Vindlasten beräknas enligt Eurocode (2019), se appendix B, och uppgår till 14,5 kN

Belastningen från strömmar beräknas utifrån en strömhastighet på 2 knop = 1,03 m/s. Ekvationen som styr detta utgår ifrån projicerad area samt en formkoefficient,  $C_D$  (White 2015).

$$F_d = C_D \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \cdot A \quad (\text{Ekvation 10})$$

Med densiteten för havsvatten,  $\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$

$$\text{Projicerad area, } A = 2 \cdot 18 \cdot \frac{3}{2} = 54 \text{ m}^2 \quad (\text{Ekvation 11})$$

Formkoefficienten  $C_D \approx 1,4$  enligt rekommendation från White (2015)

Detta resulterar i en kraft på 39 kN.

Våglaster beräknas på liknande sätt som strömlaster med hastigheten i vågorna utifrån hastigheten i vågprofilen, vilken i sin tur är derivatan av hastighetspotentialen i x-led enligt Jansson (2015):

$$u = \frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{g\zeta k}{\omega} e^{kz} \cos(kx - \omega t) \quad (\text{Ekvation 12})$$

Med  $\zeta = 1,5 \text{ m}$ , som antas vara största sannolika vågen i ett sjöttillstånd med  $H_s = 1,2 \text{ m}$ .

Vågnumret beräknas som (Jansson 2015):

$$k = \frac{1}{\lambda} = \frac{2\pi}{gT^2} \text{ med våglängden, } \lambda, \text{ mellan } 10 - 66 \text{ m, vilket ger } 0,015 < k < 0,102. \quad (\text{Ekvation 13})$$

Detta integreras sedan över tankens projicerade yta enligt:

$$\int_{x,z} \frac{g\zeta k}{\omega} e^{kz} \cos(kx - \omega t) dA \quad (\text{Ekvation 14})$$

Ett konservativt antagande här blir att tankens projicerade yta är 18x3 m, d.v.s. bredden gånger djupgåendet. Ytterligare ett antagande är att bortse ifrån vågprofilens utbredning över den cirkulära sidan och anta att tankens sida är rak. Detta gör att integrationen endast utförs i z-led enligt vågens hastighetsprofil i djupled.

$$u = \frac{g\zeta k}{\omega} \int_{x,z} e^{kz} dz = \left[ \frac{g\zeta k}{\omega} \cdot \frac{-1}{k} \cdot e^{kz} \right]_0^4 = g\zeta T(1 - e^{-4k}) \Rightarrow 0,857 < u < 1,9635 \quad (\text{Ekvation 15})$$

Och därmed blir kraften på strukturen enligt samma ekvation som för strömmen:

$$43,6 \text{ kN} < F < 213,4 \text{ kN}$$

Därmed blir den sammanlagda kraften maximalt på strukturen:

$$F_{\text{vind}} + F_{\text{ström}} + F_{\text{våg}} = 14,5 + 38,7 + 213,4 = 266,6 \text{ kN} \quad (\text{Ekvation 16})$$

Detta är om ström, vind och en signifikant våghöjd på 1,2 m med en våglängd på 10 m, vilket är ett extremt fall och därmed ett konservativt värde.

## 7.5 Hållfasthet

Tanken består av glasfiberförstärkt polyeten sammanfogad med syrafasta skruvar och marint polyuretanlim Aquahesive 5836. Beräkningar av skarvarnas hållfasthet presenteras i 7.5.1. Hållfastheten hos hela tanken kontrolleras med FEA (Finite Element Analysis), vilket presenteras i 7.5.2. Materialegenskaperna för de i tanken ingående materialen presenteras i tabell 6.

Tabell 6. Materialegenskaper av tankens ingående material.

Material	E-modul (GPa)	Max spänning (MPa)	Säkerhetsfaktor	Tillåten spänning (MPa)
GRP	17	100 i drag och 150 i tryck	3	33
Bultstål 8.8	205	600	3	200
Marint lim	N/A	>4	1	4

## 7.5.1 Skarvar och skruvförband

Skarvarna som håller samman tankens olika ingående delar utgörs av parallella flänsar från respektive komponent som länkar i varandra. Dessa har genomgående en radie i övergången mellan full tjocklek och flänsen för att minimera spänningskoncentrationer. Skarvarna är 200 mm breda, vilket gör att de inte inkräktar på närliggande geometrier i t.ex. skarven mellan bottensektionernas nedre del. Vidare, ju större överlapp flänsarna har, desto bredare blir de och inkräktar på packningen i containrarna.

Totala längden hos skarvarna presenteras i tabell 7.

Tabell 7. Längden hos skarvarna mellan i tanken ingående delar.

Komponent	Kant	Längd (m)	Totalt antal	Skarvlängd (m)
Sidovägg	Omkrets	50,3	2	100,5
	Höjd	2,0	8	16,1
Flyttank	Tvärsnitt	2,4	8	19,4
Bottensektion	Tvärsnitt	7,5	24	179,5
Botten	Omkrets	11,5	1	11,5
	Tvärsnitt	1,9	2	3,8
Total skarvlängd:				330,8

Avståndet mellan skruvarna beräknas så att skarvarna inte är en svag punkt i konstruktionen. I varje skarv används två rader av skruvar. Därmed ska den sammanlagda förmågan att ta upp krafter av skruvarna och det marina limmet överstiga hållfastheten hos omkringliggande GRP. Därmed beräknas avståndet mellan skruvarna,  $B$ , enligt:

$$F_{GRP} = F_{Adhesiv} + F_{Skruv} \quad (\text{Ekvation 17})$$

$$\sigma_{tn,GRP} \cdot A_{GRP} = \sigma_{max,Adhesiv} \cdot A_{Fläns} + 2 \cdot \tau_{tn,stål} \cdot A_{Skruv} \quad (\text{Ekvation 18})$$

Med värden på spänningar från tabell 6 och dimensioner på 50 mm tjocklek, 200 mm bredd på överlappande flänsar och M20 skruvar beräknas bredden utifrån:

$$33 \cdot 50 \cdot (B - 20) = 4 \cdot 200 \cdot B + 2 \cdot 100 \cdot \pi \cdot 10^2 \quad (\text{Ekvation 19})$$

Om endast skruvarna ska ta upp lasten blir  $B = 58,8$  mm och om limmet räknas med blir  $B = 77,8$  mm. Därmed skall  $B$  ligga mellan dessa värden och sätts till 60 mm.

På bottensektionerna som är 30 mm tjocka blir  $B = 341$  mm med lim och skruv och 66 med endast skruvarna. Därmed sätts  $B$  till 70 mm i dessa sektioner.

Därmed kan antalet skruvar i konstruktionen beräknas: Totala längden av skarvar med 50 mm godstjocklek är 151,28 m och totala längden av skarvar med 30 mm godstjocklek 179,52 m. Detta ger totala antalet skruvar som 5086 st. Längden på dessa varierar beroende på vilken skarv de sitter i. Infästningarna till flyttanken är 80 mm tjocka i överkant och 75 mm tjocka i nedkant eftersom det är här de största lasterna från förtöjningslinorna överförs till resten av strukturen. Övriga skarvar i sidostrukturen är 50 mm tjocka medan de mellan bottensegmenten är 30 mm tjocka, se finit element analys nedan.

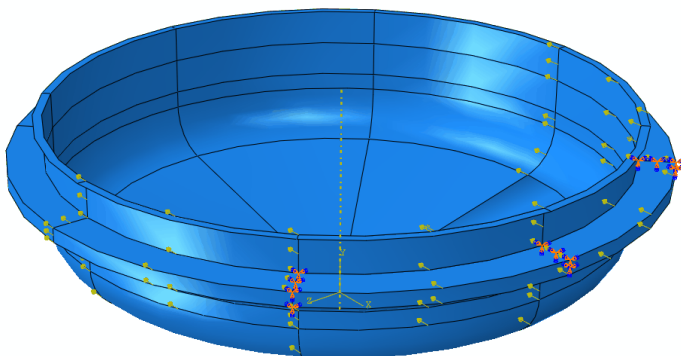
Skruvarna skall ge så slät yta som möjligt på insidan av tanken för att förhindra att sediment bygger upp på dem. Därmed är försänkta skruvar med tillhörande bricka lämpliga på insidan av tanken samt självslåsande mutter och bricka på utsidan av tanken. Samtliga fästelement skall vara tillverkade av syrafast stål.

## 7.5.2 Finit element analys (FEA)

För att kontrollera hur lasterna fördelar sig i tanken används Finit Element Analys (FEA) i programvaran Abaqus Standard (implicit analys). För att modellera tanken används skalelement (S4R i Abaqus). Modellen representerar den roterade ytan av tanken medan de inre väggarna i flyttankarna som segregerar dem inte tagits med i analysen för att förenkla modellen.

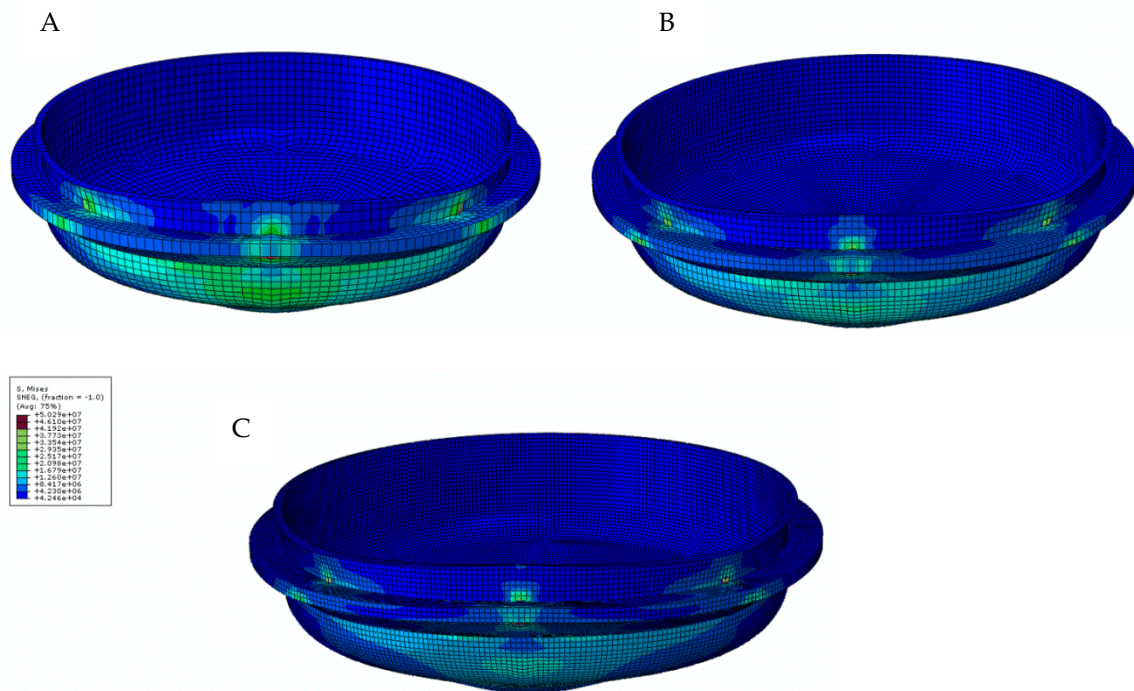
Randvillkoren som används baseras på den totala framräknade lasten, se ovan, och sätts på ytor på ena sidan av tanken. Förtöjningskrafterna modelleras genom att låsa noderna längs kanterna på ovansidan och sidan av skarven mellan två flyttankar.

I FEA med skalmodeller bör element som har en kant längre än fem gånger tjockleken av skalelementen (50 mm i sidostrukturen och 30 mm i bottenstrukturen) användas (Ehlers och Varsta 2009). En konvergensanalys görs av modellen med elementstorlekar på 0,5, 0,3 och 0,15 m elementstorlek (Figur 34).



Figur 34. Laster och randvillkor på tanken, utbredd belastning längs tankens exponerade yta och kanterna mellan 45 graders sektioner fixerade.

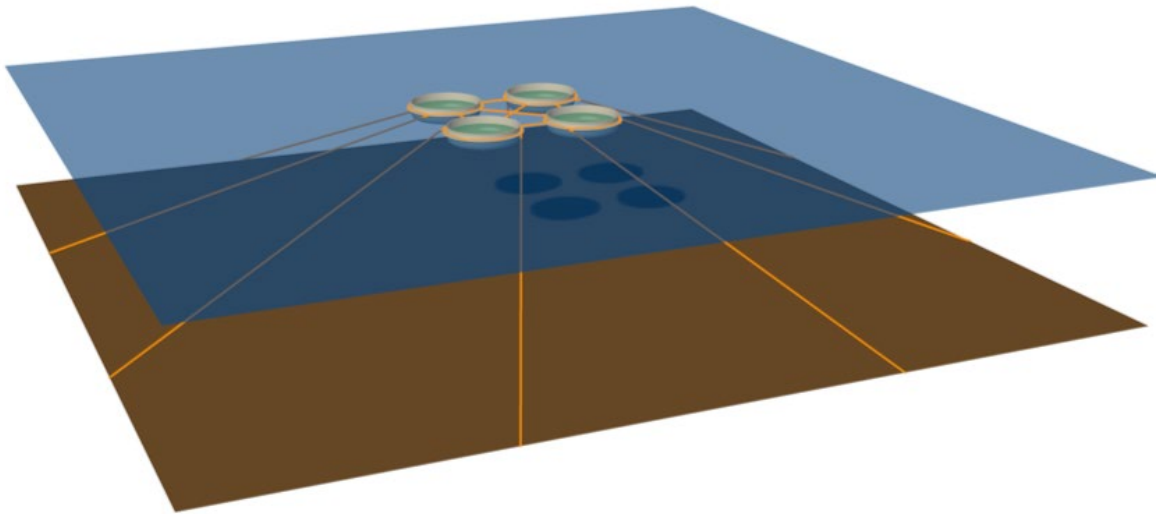
Resultaten visar att de övergripande spänningarna i tankens struktur är de samma mellan analyserna och ligger som mest på 35 MPa med pikaer vid infästningarna. Dessa pikaer varierar med storleken på beräkningselementen och är en effekt av geometrins diskretisering. Dessa lokala spänningar bestäms med analys av skruvförband och infästningsstrukturer för ankare, se ovan. Geometrin visar inga stora spänningskoncentrationer i geometrin med de tjocklekar som används i strukturen (Figur 35) d.v.s. 50 mm i sidostrukturen samt 30 mm i bottenstrukturen.



Figur 35. A: von Mises spänningar i tanken med 500 mm elementstorlek, B: von Mises spänningar i tanken med 300 mm elementstorlek, C: von Mises spänningar i tanken med 150 mm elementstorlek.

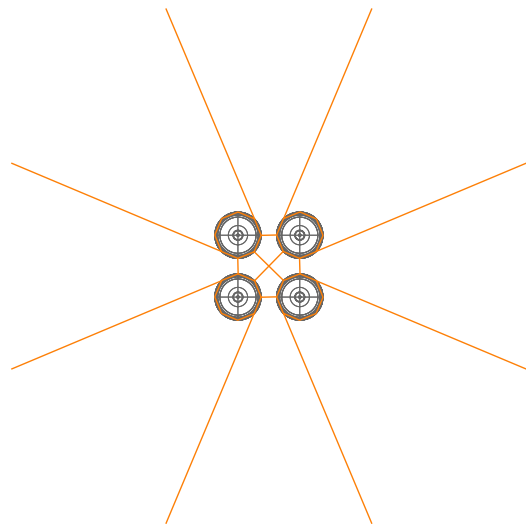
## 7.6 Förtöjningsarrangemang

I konstruktionen av förtöjningssystemet måste detta dimensioneras för de laster det utsätts för, se 7.4, samt utformas på så sätt att stabiliteten påverkas minimalt vid belastning. Vidare skall det vara möjligt att komma intill tankarna med båt på ett säkert sätt. Kablarna för förtöjning går ut från skarvarna mellan sidosektionerna där fästet sitter i anslutning till skiljeväggen mellan sektionerna (Figur 36). Detta gör att varje sektion är förtöjd med åtta kablar.



Figur 36. 3D vy av förtöjningsarrangemanget.

Varje tank är förtöjd med två kablar i havsbotten. De utgår ifrån varsin sida på tanken för att inte påverka stabiliteten vid belastning av systemet; de nedåtgående kraftvektorer från förtöjningen ger inget krängande moment. Tankarna är i sin tur förankrade i varandra. Lasterna fördelas i respektive tank genom linor mellan förtöjningsbeslagen som ger en komprimerande kraft i tanken. Detta avlastar dragbelastning i skruvförbanden runt tanken. Detta system gör att ankare är lättare att manövrera eftersom ankaren kommer vara mindre. Vidare gör spridningen av förankringlinorna att båtar som ska arbeta på systemet kommer intill.



Figur 37. Förtöjningsarrangemanget ovanifrån

Detaljerad konstruktion av förtöjningsarrangemanget kommer att utgå ifrån systemets slutgiltiga lokalisering med lokal batymetri och bottenförhållanden.

## 7.7 Filtrering och pumpning

Inkommande vatten till tankarna filtreras till 60  $\mu\text{m}$  och lämplig dimensionering på systemet har bedömts till drygt 125 kubikmeter vatten per timme. Med denna kapacitet så klarar man fylla en hel tank på fyra timmar och således två tankar per normal arbetsdag. På en timme så klarar man även byta ut en fjärdedel av tankens vattenvolym om behov skulle finnas för detta under cykelns gång. Man klarar då byta ut en fjärdedel av samtliga tankars vattenvolym under en och samma dag.



Då vattenpåfyllnaden och vattenutbytet av tankarna är planerat att göras relativt skyndsamt samt med ett servicefartyg så lämpar sig en hydraulisk driven centrifugalpump bäst för uppgiften. En centrifugalpump kan förflytta större mängder vatten till lågt tryck (liten lyfthöjd) på ett enkelt och ekonomiskt sätt. Pumpen kopplas enklast till fartygets befintliga hydraulsystem. Under projektets gång har tester gjorts med en Kjaergaard KSF4-pump som pumpar upp till 180 kubikmeter vatten per timme. Pumpen väger endast 50kg och har en 6'' vattenutlopp.

För filtreringen av inkommande vatten i dessa volymer och partikelstorlek lämpar sig ett trumfilter bäst. I projektet har vi tittat på en Faivre Rotoclean Series 80 som klarar av att rena upp till 144 kubikmeter vatten per timme till 63  $\mu\text{m}$ .

Då pumphöjden är så låg som 1,5 meter kommer pump och filter i kombination enkelt klara av uppsatt dimensioneringsmål på 125 kubikmeter per timme.

Vid behov av cirkulation av vattenmassan inom tanken så har vi tittat på en enkel nedsänkbar propellerpump av modellen *stömbildare*, dvs. en sådan propellerpump som man normalt monterar under båtar och bryggor under vintern för att förhindra isläggning. Vi har tittat på en 0,5 kw Kasco De-Icer pump som enkelt sänks ner till botten av tanken med hjälp av två tampar och då skapar en cirkulation av hela tankvolymen.

## Tack till

Tack till Tristan Hugh Jones och David Hugh-Jones (Rossmore), Denis O'Shea (Tralee bay hatchery), Kristian Borbjerggaard (Venø Seafood), Lene Friis Møller (Dansk skaldjurscenter) och Roger Thorsen (Aquafarm Equipment AS) som tagit emot oss på studiebesök och svarat på alla våra frågor, och till Trond Sveen (Sunnhordland havbruk) och Kent Berntsson (Ostrea Aquaculture) för att de bidragit med sin kompetens till denna rapport. Er kunskap är ovärderlig! Tack också till Jordbruksverket som genom anslag inom Livsmedelsstrategin för främjande av svenskt vattenbruk finansierat detta arbete.

# Referenser

- Barnes H., Barnes M. (1965). Egg Size, Nauplius Size, and Their Variation with Local, Geographical, and Specific Factors in Some Common Cirripedes. *The Journal of Animal Ecology*. 34: 391-402.
- Barros P., Sobral P., Range P., Chícharo L., Matias D. (2013). Effects of sea-water acidification on fertilization and larval development of the oyster *Crassostrea gigas*, *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 440: 200–206.
- Bayne B. (ed) (2017). *Biology of Oysters*. Volume 41. Pp. 844.
- Berntsson K.M., Jonsson, P.R., Wängberg, S-A., Carlsson, A.S. (1997). Effects of broodstock diets on fatty acid composition, survival and growth rates in larvae of the European flat oyster, *Ostrea edulis*. *Aquaculture*. 154: 139-153.
- Beecham J. (2008). Literature review on particle assimilation by molluscs and crustaceans. The Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science. Environment Report RL 10/08. Pp. 19.
- Bromley C., McGonigle C., Ashton E., Roberts D. (2016). Bad moves: Pros and cons of moving oysters – A case study of global translocations of *Ostrea edulis* Linnaeus, 1758 (Mollusca: Bivalvia). *Ocean & Coastal Management*. 122: 103-115.
- Brzeski V., Newkirk G. (1996). Integrated coastal food production systems – a review of current literature. *Ocean och Coastal management*. 34: 55-71.
- Buestel D., Ropert M., Prou J., Gouilletquer P. (2009). History, Status, and Future of Oyster Culture in France. *Journal of Shellfish Research*. 28: 813–820.
- Claus C. (1981). Trends in nursery rearing of bivalve molluscs. In: *Nursery Culturing of Bivalve Molluscs*. Claus C., DePauw N., Jaspers E. (eds.), Spec. Publ. No. 7. European Mariculture Society, Bredene, Belgium. Pp. 1–33.
- Claus C., De Pauw N., Jaspers E. (1981). Nursery culturing of bivalve molluscs. *Eur. Marie. Soc. Spec. Publ. 7*, Bredene, Belgium. Pp. 394.
- Cole H. A. (1941). The fecundity of *Ostrea edulis*. *Journal of the Marine Biological Association of the UK*. 25: 243–260.
- Cole H.A. (1938). A system for oyster culture. *Journ. Cons. Int. Explor. Mer.* Vol XIII, no. 2: 221-235.
- Cole J., Parker L.M., O'Connor S.J., O'Connor W.A., Scanes E., Byrne M., Ross P.M. (2016). Effects of multiple climate change stressors: ocean acidification interacts with warming, hyposalinity, and low food supply on the larvae of the brooding flat oyster *Ostrea angasi*. *Mar Biol.* 163:125.
- Da Silva P.M., Reenault, T., Fuentes, J., Villalba, A. (2008) Herpesvirus infection in European flat oysters *Ostrea edulis* obtained from brood stocks of various geographic origins and grown in Galicia (NW Spain). *Diseases of aquatic organisms*. 78: 181–188.
- Davenport J., Smith R.J.J.W., Packer M. (2000). Mussels *Mytilus edulis*: significant consumers and destroyers of mesozooplankton. *Marine Ecology Progress Series*. 198:131–137.
- Davis H., Calabrese A. (1969). Survival and growth of larvae of the European oyster (*Ostrea edulis* L.) at different temperatures. *Biological Bulletin*. 136: 193-199.
- Davis H.C., Ansell A.D. (1962). Survival and growth of larvae of the European oyster (*Ostrea edulis* L.) at lowered salinities. *Boil. Bull.* 122: 33–39.
- De la Noue J., de Pauw N. (1988). The potential of microalgal biotechnology: A review of production and uses of microalgae. *Biotechnology Advances*. 6: 725–770.
- Dorey N., Lançon P., Thorndyke M., Dupont S. (2013). Assessing physiological tipping point of sea urchin larvae exposed to a broad range of pH. *Global Change Biology*. 19: 1-13.

- Dubravko J., Rabalais N.N., Turner R.E., Dortch Q. (1995). Changes in nutrient structure of river-dominated coastal waters: stoichiometric nutrient balance and its consequences. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 40: 339-356.
- Dunér Holthuis T., Thorngren Matsson L., Lindegarth M., Lindegarth S. (2014). Utveckling av metodik för insamling av ostronyngel – ett småskaligt system för ostronproduktion i Bohuslän. Göteborgs universitet, Vattenbrukscentrum väst, rapport No. 3. 20 pp.
- EFSA AHAW Panel 2010. Panel on Animal Health and Welfare (AHAW); Scientific Opinion on the increased mortality events in Pacific oyster (*Crassostrea gigas*). *EFSA Journal*. 8:1894. Pp 60.
- EFSA AHAW Panel 2015. European Food Safety Authority Panel on Animal Health and Welfare. Scientific opinion on oyster mortality. *EFSA J* 13: 4122.
- Ehlers S., Varsta P. (2009). Stress and strain relations for non-linear finite element simulations. *Thin-Walled Structures*. 47: 1203-1217.
- Ekström J. A., Suatoni L., Cooley S. R., Pendleton L. H., Waldbusser G. G., Cinner J. E. et al. (2015). Vulnerability and adaptation of US shellfisheries to ocean acidification. *Nature Climate Change*. 5: 207-214.
- Eurocode (2019). <https://www.eurocodeapplied.com/>. Accessed 2019-01-25.
- FAO global aquaculture production: <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-aquaculture-production/en> 2019-02-04
- FAO global capture production: <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-capture-production/en> 2019-02-04
- Fulford R.S., Breitburg D.L., Luckenbach M. (2010). Differences in relative predation vulnerability between native and non-native oyster larvae and the influence on restoration planning in an estuarine ecosystem. *Estuaries and Coasts*. 34: 618–629.
- Gaardner T., Bjerkan P. (1934). Østers og Østerskultur i Norge. John Griegs Boktrykkeri, Bergen. Pp. 96.
- Gautier D., Ledu C., Hussenot J., Gérard A. (1993). Production en masse de *Skeletonema costatum* en bassins extérieurs par fertilisation minérale: Etude d'un cycle estival. IFREMER, RIDRV-93.033-RArCREMA-L'HoumeurLa Tremblade, 35 pp.
- Gazeau F., Parker L.M., Comeau S., Gattuso J.-P., O'Connor W.A., Martin S., Pörtner H.-O., Ross P.M. (2013). Impacts of ocean acidification on marine shelled molluscs. *Mar Biol*. 160: 2207–2245.
- Gouletquer P. (2004). Cultured Aquatic Species Information Programme. *Ostrea edulis*. Cultured Aquatic Species Information Programme. In: FAO Fisheries and Aquaculture Department. Rome. Updated 1 January 2004.
- Guillard R.L. (1975). Culture of phytoplankton for feeding marine invertebrates. In: P.B. Smith (ed.) *Culture of Marine Invertebrates*. Plenum Press, New York. Pp. 29-60.
- Harrison P.J., Waters R.E., Taylor F.J.R. (1980). A broad spectrum artificial seawater medium for coastal and open ocean phytoplankton. *J. Phycol.* 16: 28–35.
- Helm M.M., Bourne N., Lovatelli A. (2004). Hatchery culture of bivalves – a practical manual. FAO fisheries technical paper 471.
- Hughes E. (1940). The breeding of oysters in tanks. *Journ. Mar. Biol. Assoc.* XXIV: 543-547.
- Hussenot J., Brossard N. (1995). Premiers essais automnaux de culture de diatomées en masse 24 m<sup>3</sup>. sur eau de mer fertilisée NrPrSi.. Culture sans ensemencement et conditions limitantes. IFREMER, RIDRV-95.02-RArCREMA-L'Houmeau, 54 pp.
- Hutchinson S., Hawkins L.E. (1992). Quantification of the physiological responses of the European flat oyster, *Ostrea edulis* L. to temperature and salinity. *J. Molluscan Stud.* 58: 215–226.
- Jansson C.E. (2015). Wave Motions and Maneouvring, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden. Pp. 29-197.
- Jaspers C., Costello J.H., Colin S.P. (2015). Carbon content of *Mnemiopsis leidyi* eggs and specific egg production rates in northern Europe. *Journal of Plankton Research*. 37: 11–15.

- Jeffries V.E. (1982). Three *Vibrio* strains pathogenic to larvae of *Crassostrea gigas* and *Ostrea edulis*. *Aquaculture*. 29: 201-226.
- Jonsson P., Berntsson K. M., André C., Wängberg S-Å. (1999). Larval growth and settlement of the European oyster (*Ostrea edulis*) as a function of food quality measured a fatty acid composition. *Marine Biology*. 134: 559-570.
- Kamermans P., Walles B., Kraan M., van Duren LA., Kleissen F., van der Have T.M., Smaal A.C., Poelman M. (2018). Offshore Wind Farms as Potential Locations for Flat Oyster (*Ostrea edulis*) Restoration in the Dutch North Sea. *Sustainability*. 10: 3942.
- Korringa P. (1952). Recent advances in oyster biology. *Quart. Rev. Biol.* 27: 266-308, 339-365.
- Korringa P. (1976). Farming the flat oysters of the genus *Ostrea* – a multidisciplinary treatise. *Developments in aquaculture and fisheries science*, vol. 3. Amsterdam: Elsevier.
- Kroeker K.J., Kordas R.L., Crim R., Hendriks I.E., Ramajo L., Singh G.S., Duarte C.M., Gattuso J.P. (2013). Impacts of ocean acidification on marine organisms: quantifying sensitivities and interaction with warming. *Glob Change Biol*. 19: 1884–1896.
- Kroeker K.J., Kordas R.L., Crim R.N., Singh G.G. (2010). Meta-analysis reveals negative yet variable effects of ocean acidification on marine organisms. *Ecol Lett*. 13: 1419–1434.
- Laing I., Walker P., Areal F. (2005). A feasibility study of native oyster (*Ostrea edulis*) stock regeneration in the United Kingdom, CEFAS. Pp 97.
- Lango-Reynoso F., Chavez-Villalba J., Cochard J.C., Le Pennec M. (2000). Oocyte size, a means to evaluate the gametogenic development of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* Thunberg. *Aquaculture* 190: 183–199.
- Lehane C., Davenport J. (2002). Ingestion of mesozooplankton by three species of bivalve: *Mytilus edulis*, *Cerastoderma edule* and *Aequipecten opercularis*. *Journal of the Marine Biological Association U.K.* 82:3999/1–6.
- Lindegarh S. (Ed.) (2012). Handbok för ostronodlare – ett resultat av Projekt Nord-Ostron 2009 – 2012. Göteborgs universitet. Billes tryckeri. Pp. 36.
- Mann R. (1979). Some biochemical and physiological aspects of growth and gametogenesis in *C. gigas* and *Ostrea edulis* grown at sustained elevated temperatures. *J Mar Biol Ass UK*. 59: 546-559.
- Matthiessen G.C. (1983). Utilization of a brackish water pond for the production of seed oysters (*Crassostrea virginica*). *Aquaculture*. 31: 319-327.
- Miller A.W., Reynolds A.C., Sobrino C., Riedel G.F. (2009). Shellfish face uncertain future in high CO<sub>2</sub> world: influence of acidification on oyster larvae calcification and growth in estuaries. *PLoS ONE* 4:e5661.
- Millican P.F., Helm M.M. (1994). Effects of nutrition on larvae production in the European flat oyster, *Ostrea edulis*. *Aquaculture*. 123: 83–94.
- Mortensen S., Strand Å., Bodvin T., Alfjorden A., Skår C.K., Jelmert A., Aspán A., Sælemyr L., Naustvoll L.-J., Albretsen J. (2016). Summer mortalities and detection of ostreid herpesvirus microvariant in Pacific oyster *Crassostrea gigas* in Sweden and Norway. *Diseases in Aquatic organisms*. 117: 171-176.
- Naas K.E. (1990). A semi-intensive method for spat production of the European flat oyster (*Ostrea edulis* L.). *Aquacultural Engineering*. 9: 447-451.
- Newell R.I.E., Langdon C.J. (1996). Mechanisms and physiology of larval and adult feeding. In: Kennedy V.S., Newell R. I. E., Eble A. E. (eds.). *The Eastern Oyster Crassostrea virginica*. Maryland: Maryland Sea Grant Publications. Pp. 185– 229.
- Osman R.W., Whitlatch R.B., Zajac R.N. (1989). Effect of resident species on recruitment into a community: larval settlement versus post-settlement mortality in the oyster *Crassostrea virginica*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 54: 61-73.
- OSPAR (2008). Case Reports for the OSPAR List of Threatened and/or Declining Species and Habitats. *Biodiversity Series*, Pp. 261.

- Parker L.M., Ross P.M., O'Connor W.A., Pörtner H.O., Scanes E., Wright J.M. (2013). Predicting the response of molluscs to the impact of ocean acidification. *Biol.* 2: 651–692.
- Pernet F., Barret J., Marty C., Moal J., Le Gall P., Boudry P. (2010). Environmental anomalies, energetic reserves and fatty acid modifications in oysters coincide with an exceptional mortality event. *Mar Ecol Prog Ser.* 401: 129–146.
- Pernet F., Lagarde F., Jeannée N., Daigle G. et al. (2014). Spatial and temporal dynamics of mass mortalities in oysters is influenced by energetic reserves and food quality. *PLoS ONE.* 9: e88469.
- Petton B., Boudry P., Alunno-Bruscia M., Pernet F. (2015). Factors influencing disease-induced mortality of Pacific oysters *Crassostrea gigas*. *Aquacult Environ Interact.* 6: 205–222.
- Prado P., Roque A., Pérez J., Ibáñez C., Alcaraz C., Casals F., Caiola N. (2016). Warming and acidification-mediated resilience to bacterial infection determine mortality of early *Ostrea edulis* life stages. *Marine Ecology Progress Series.* 545: 189–202.
- Purcell J.E., Cresswell F.P., Cargo D.G., Kennedy V.S. (1991). Differential ingestion and digestion of bivalve larvae by the scyphozoan *Chrysaora quinquecirrha* and the ctenophore *Mnemiopsis leidyi*. *The Biological Bulletin.* 180: 103–111.
- Redfield A.C. (1958). The biological control of chemical factors in the environment. Ammons Scientific Limited. 46: 205–221.
- Renault T., Le Deuff R.M., Chollet B., Cochennec N., Gérard A. (2000). Concomitant herpes-like virus infections among hatchery-reared larvae and nursery-cultured spat *Crassostrea gigas* and *Ostrea edulis*. *Dis Aquat Org.* 42: 173–183.
- Ries J.B., Cohen A.L., McCorkle D.C. (2009). Marine calcifiers exhibit mixed responses to CO<sub>2</sub>-induced ocean acidification. *Geology.* 37: 1131–1134.
- Rödström E.M., Jonsson P.R. (2000). Survival and feeding activity of oyster spat (*Ostrea edulis*) as a function of temperature and salinity with implications for culture policies on the Swedish west coast. *Journal of Shellfish Research.* 19: 799–808.
- Sallenave R. (2016). Important Water Quality Parameters in Aquaponics Systems. NM state university. Circular 680. Pp. 8.
- Smaal A., Kamermans P., Kleissen F., Van Duren L., Van der Have T. (2017). Platte oesters in offshorewindparken (POP): mogelijkheden voor de ontwikkeling van platteoesterpopulaties in bestaande en geplande windmolenparken in het Nederlandse deel van de Noordzee. Rapport C035/17 Wageningen Marine Research.
- Thompson R.J., Newell R.I.E., Kennedy V.S., Mann R. (1996). Reproductive processes and early development. In: Kennedy V.S., Newell R. I. E., Eble A. E. (eds.). *The Eastern Oyster Crassostrea virginica*. Maryland: Maryland Sea Grant Publications. Pp. 335–370.
- Troost K., Kamermans P., Wolff W. J. (2008). Larviphagy in native bivalves and an introduced oyster. *Journal of Sea Research.* 60: 157–163.
- Walne P.R. (1979). Observations on the fertility of the oyster *Ostrea edulis*. *J. mar. biol. Ass. U.K.* 44: 293–310.
- Walne P.R. (1974). Culture of bivalve molluscs: 50 years' experience at Conway. 2nd ed. West Byfleet : Fishing News (for the Buckland Foundation). Pp.173.
- van Dokkum K., ten Katen H., Koomen K., Pinkster J. (2013). *Ship Stability*, DOKMAR Maritime Publisher, Enkhuizen, the Netherlands. Pp. 40–75.
- Vera M., Carlsson J., Carlsson J.E.L., Cross T., Lynch S., Kamermans P., Villalba A., Culloty S., Martinez P. (2016). Current genetic status, temporal stability and structure of the remnant wild European flat oyster populations: conservation and restoring implications. *Mar Biol.* 163:239.
- Wang J.-K. (1990). Managing shrimp pond water to reduce discharge problems. *Aquacultural Engineering.* 9: 61–73.
- White F.M. (2015). *Fluid Mechanics*, McGraw-Hill Education, Singapore. Pp. 451–466.



Wurts, W. A. and R. M. Durborow. 1992. Interactions of pH, carbon dioxide, alkalinity and hardness in fish ponds. Southern Regional Aquaculture Center Publication No. 464.

# Appendix A: Vindlastberäkning enligt Eurocode

- Basic wind velocity:  $v_b = 30$  m/s
- Terrain category: = 0
- Diameter of the cylindrical element:  $b = 18$  m
- Length of the cylindrical element:  $l = 1.5$  m
- Maximum height above ground of the cylindrical element:  $z = 1.5$  m
- Surface type: = galvanised steel
- Orography factor at reference height  $z_e$ :  $c_0(z_e) = 1$
- Structural factor:  $c_{sd} = 1$

## Calculation of peak velocity pressure

### Reference area and height

The reference height for the wind action  $z_e$  is equal to the maximum height above ground of the section being considered, as specified in EN1991-1-4 §7.9.2(5). The reference area for the wind action  $A_{ref}$  is the projected area of the cylinder, as specified in EN1991-1-4 §7.9.2(4). Therefore:

$$z_e = z = 1.500 \text{ m}$$

$$A_{ref} = b \cdot l = 18.000 \text{ m} \cdot 1.500 \text{ m} = 27.00 \text{ m}^2$$

### Basic wind velocity

The basic wind velocity  $v_b$  is defined in EN1991-1-4 §4.2(2)P as a function of the wind direction and time of year at 10 m above ground of terrain category II. It is calculated as:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

where  $v_{b,0}$  is the fundamental value of the basic wind velocity which is defined in EN1991-1-4 §4.2(1)P as the characteristic 10 minutes mean wind velocity at 10m above ground level for terrain category II. The value of  $v_{b,0}$  is provided in the National Annex based on the climatic conditions of the region where the structure is located. The influence of altitude on the basic wind velocity  $v_b$  may also be specified in the National Annex.

The directional factor  $c_{dir}$  and the seasonal factor  $c_{season}$  are defined in EN1991-1-4 §4.2(2)P and they take into account the effects of wind direction and time of the year. Their values are generally equal to  $c_{dir} = 1.0$  and  $c_{season} = 1.0$ . The National Annex may specify values of  $c_{dir}$  and  $c_{season}$  different than 1.0.



In the following calculations the basic wind velocity is considered as  $v_b = 30.00$  m/s.

## Terrain roughness

The roughness length  $z_0$  and the minimum height  $z_{\min}$  are specified in EN1991-1-4 Table 4.1 as a function of the terrain category. For terrain category 0 the corresponding values are  $z_0 = 0.003$  m and  $z_{\min} = 1.0$  m.

The terrain factor  $k_r$  depending on the roughness length  $z_0 = 0.003$  m is calculated in accordance with EN1991-1-4 equation (4.5):

$$k_r = 0.19 \cdot (z_0 / z_{0,II})^{0.07} = 0.19 \cdot (0.003 \text{ m} / 0.050 \text{ m})^{0.07} = 0.1560 \text{ m}$$

The roughness factor  $c_r(z_e)$  at the reference height  $z_e$  accounts for the variability of the mean wind velocity at the site of the structure due to the height above ground level and the ground roughness of the terrain upwind of the structure. It is calculated in accordance with EN1991-1-4 equation 4.4.

For the case where  $z_e \geq z_{\min}$ :

$$c_r(z_e) = k_r \cdot \ln(z_e / z_0) = 0.1560 \text{ m} \cdot \ln(1.500 \text{ m} / 0.003 \text{ m}) = 0.9697$$

## Orography factor

Where orography (e.g. hills, cliffs etc.) increases wind velocities by more than 5% the effects should be taken into account using an orography factor  $c_0(z_e)$  different than 1.0, as specified in EN1994-1-1 §4.3.3. In general, the effects of orography may be neglected when the average slope of the upwind terrain is less than  $3^\circ$  up to a distance of 10 times the height of the isolated orographic feature.

In the following calculations the orography factor is considered as  $c_0(z_e) = 1.000$ .

## Mean wind velocity

The mean wind velocity  $v_m(z_e)$  at reference height  $z_e$  depends on the terrain roughness, terrain orography and the basic wind velocity  $v_b$ . It is determined using EN1991-1-4 equation (4.3):

$$v_m(z_e) = c_r(z_e) \cdot c_0(z_e) \cdot v_b = 0.9697 \cdot 1.000 \cdot 30.00 \text{ m/s} = 29.09 \text{ m/s}$$

## Wind turbulence

The turbulence intensity  $I_v(z_e)$  at reference height  $z_e$  is defined as the standard deviation of the turbulence divided by the mean wind velocity. It is calculated in accordance with EN1991-1-4 equation 4.7.

For the case where  $z_e \geq z_{\min}$ :

$$I_v(z_e) = k_1 / [ c_0(z_e) \cdot \ln(z_e / z_0) ] = 1.000 / [ 1.000 \cdot \ln(1.500 \text{ m} / 0.003 \text{ m}) ] = 0.1609$$

where the turbulence factor is considered as  $k_1 = 1.000$  in accordance with EN1991-1-4 §4.4(1).

## Basic velocity pressure

The basic velocity pressure  $q_b$  is the pressure corresponding to the wind momentum determined at the basic wind velocity  $v_b$ . The basic velocity pressure is calculated according to the following fundamental relation, as specified in EN1991-14 §4.5(1):

$$q_b = (1/2) \cdot \rho \cdot v_b^2 = (1/2) \cdot 1.25 \text{ kg/m}^3 \cdot (30.00 \text{ m/s})^2 = 0.563 \text{ kN/m}^2$$

where the density of the air is considered as  $\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$  in accordance with EN1991-1-4 §4.5(1).

## Peak velocity pressure

The peak velocity pressure  $q_p(z_e)$  at reference height  $z_e$  includes mean and short-term velocity fluctuations. It is determined according to EN1991-1-4 equation 4.8 as:

$$q_p(z_e) = (1 + 7 \cdot I_v(z_e)) \cdot (1/2) \cdot \rho \cdot v_m(z_e)^2 = (1 + 7 \cdot 0.1609) \cdot (1/2) \cdot 1.25 \text{ kg/m}^3 \cdot (29.09 \text{ m/s})^2 = 1.125 \text{ kN/m}^2$$

where the density of the air is considered as  $\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$  in accordance with EN1991-1-4 §4.5(1).

The exposure factor  $c_e(z_e) = 1.9995$  is defined as the ratio of peak velocity pressure to basic velocity pressure:

$$c_e(z_e) = q_p(z_e) / q_b = 1.125 \text{ kN/m}^2 / 0.563 \text{ kN/m}^2 = 1.9995$$

Therefore, the peak velocity pressure is calculated as  $q_p(z_e) = 1.125 \text{ kN/m}^2$ .

## Wind velocity corresponding to peak velocity pressure

The peak wind velocity  $v(z_e)$  at reference height  $z_e$  is the wind velocity corresponding to the peak velocity pressure  $q_p(z_e)$ . It is calculated according to the following fundamental relation, as specified in EN1991-14 §4.5(1):

$$v(z_e) = [2 \cdot q_p(z_e) / \rho]^{0.5} = [2 \cdot 1.125 \text{ kN/m}^2 / 1.25 \text{ kg/m}^3]^{0.5} = 42.42 \text{ m/s}$$

where  $\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$  is the density of the air as mentioned above.

## Calculation of wind forces on the structure

The wind force on the structure  $F_w$  for the overall wind effect is estimated according to the force coefficient method as specified in EN1991-1-4 §5.3.

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{\text{ref}}$$

### Structural factor

The structural factor  $c_s c_d$  takes into account the structure size effects from the non-simultaneous occurrence of peak wind pressures on the surface and the dynamic effects of structural vibrations due to turbulence. The structural factor  $c_s c_d$  is determined in accordance with EN1991-1-4 Section 6. A value of  $c_s c_d = 1.0$  is generally conservative for small structures not-susceptible to wind turbulence effects such as buildings with height less than 15 m or chimneys with circular cross-sections whose height is less than 60 m and 6.5 times the diameter.

In the following calculations the structural factor is considered as  $c_s c_d = 1.000$ .

### Reynolds number

Reynolds number characterizes the air flow around the object. For air flow around cylindrical objects Reynolds number is calculated according to EN1991-1-4 §7.9.1(1):

$$Re = b \cdot v(z_e) / \nu = 18.000 \text{ m} \cdot 42.42 \text{ m/s} / 15.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} = 50.9050 \times 10^6$$

where the kinematic viscosity of the air is considered as  $\nu = 15.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  in accordance with EN1991-1-4 §7.9.1(1).

### Effective slenderness

The effective slenderness  $\lambda$  depends on the aspect ratio and the position of the structure and it is given in EN1991-1-4 §7.13(2).

For circular cylinders with length  $l \leq 15 \text{ m}$  the effective slenderness  $\lambda$  is equal to:

$$\lambda_{15} = \min(l / b, 70) = \min(1.500 \text{ m} / 18.000 \text{ m}, 70) = 0.083$$

Therefore  $\lambda = \lambda_{15} = 0.083$

## End effect factor

The end effect factor  $\psi_\lambda$  takes into account the reduced resistance of the structure due to the wind flow around the end (end-effect). The value of  $\psi_\lambda$  is calculated in accordance with EN1991-1-4 §7.13. For solid structures (i.e. solidity ratio  $\varphi = 1.000$ ) the value of the end effect factor  $\psi_\lambda$  is determined from EN1991-1-4 Figure 7.36 as a function of the slenderness  $\lambda$ .

The estimated value for the end effect factor is  $\psi_\lambda = 0.600$

## Equivalent surface roughness

The equivalent surface roughness  $k$  depends on the surface type and it is given in EN1991-1-4 §7.9.2(2). According to EN1991-1-4 Table 7.13 for surface type "galvanised steel" the corresponding equivalent surface roughness is  $k = 0.2000$  mm.

## Force coefficient without free-end flow

For circular cylinders the force coefficient without free-end flow  $c_{f,0}$  depends on the Reynolds number  $Re$  and the normalized equivalent surface roughness  $k/b$ . The force coefficient without free-end flow  $c_{f,0}$  is specified in EN1991-1-4 §7.9.2. The value  $c_{f,0}$  is determined according to EN1991-1-4 Figure 7.28 for the values of  $Re = 50.9050 \times 10^6$ ,  $k = 0.2000$  mm,  $b = 18.000$  m,  $k/b = 0.000011$ .

The estimated value for the force coefficient without free-end flow is  $c_{f,0} = 0.777$

## Force coefficient

The force coefficient  $c_f$  for finite cylinders is given in EN1991-1-4 §7.9.2(1) as:

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda$$

where  $c_{f,0}$  is the force coefficient without free-end flow, and  $\psi_\lambda$  the end effect factor, as calculated above. Therefore:

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 0.777 \cdot 0.600 = 0.466$$

## Total wind force

The total wind force on the structure  $F_w$  is estimated as:

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{\text{ref}} = 1.000 \cdot 0.466 \cdot 1.125 \text{ kN/m}^2 \cdot 27.00 \text{ m}^2 = 14.157 \text{ kN}$$

The total wind force  $F_w$  takes into account the overall wind effect. The corresponding effective wind pressure  $w_{\text{eff}}$  on the reference wind area  $A_{\text{ref}}$  is equal to:

$$w_{\text{eff}} = F_w / A_{\text{ref}} = 14.157 \text{ kN} / 27.00 \text{ m}^2 = 0.524 \text{ kN/m}^2$$

## Additional notes

- The effective pressure  $w_{\text{eff}} = 0.524 \text{ kN/m}^2$  is appropriate for global verifications of the structure according to the force coefficient method. It is not appropriate for local verifications of structural elements, such as the shell of the cylinder. For the latter case appropriate wind pressure on local surfaces must be estimated according to the relevant external pressure coefficients, as specified in EN1991-1-4 §7.9.1.
- The calculated wind action effects are characteristic values (unfactored). Appropriate load factors should be applied for the relevant design situation. For ULS verifications the partial load factor  $\gamma_Q = 1.50$  is applicable for variable actions according to EN1990.

---

Bohus

Havsbruk