



En översikt om fem olika typer av vågkraftsverk och de miljöeffekter som kan uppstå

Abstract

The report is an overview study of the subjects wave power methods and the potential environmental effects caused by wave power. The study will first briefly describe how ocean waves are being created and how the waves transports energy. After a brief presentations of ocean waves the first main topic will be introduced. The topic will describe five different wave energy converters. The energy converters that will be adressed is point absorber, wave overtoping reservoir, attenuator, oscillating water column and inverted pendulum. In this part the principles behind how the different systems convert wave energy to useful energy is presented. In the last part of the chapter the different wave energy converting methods efficiencies are compared and presented in a table. The comparison table shows that the efficiencies between the different methods are relatively even. Lastly the final chapter will adress the environmental effects and influences wave power plants can cause. Effects such as introduction of new sounds in the ocean influences on marine life, electro magnetic fields behavior effects on marine animals, the effects on birds, sediment transportation changes in coastal areas and wave energy converters as artificial reefs.

Sammanfattning

Rapporten är en översikt av vågkraftsmetoder och vågkraftens potentiella miljöpåverkningar. Studien börjar med att förklara hur havsvågor bildas och hur de transporterar och innehåller energi. Därefter i första huvuddelen presenteras fem olika vågkraftsmetoder. De olika metoderna som presenteras är punktabsorberande system, vågöversköljningsanläggning, attenuator, oscillerande vattenkolumn och inverterad pendel. Alla fem är olika principer på hur energi kan absorberas från vågor och omvandlas till användbar energi. De olika metodernas verkningsgrader jämförs. Slutligen kommer en presentation av vilka effekter och påverkningar vågkraftsverk kan orsaka. Effekter som införandet av nya ljud i havet kan komma att påverka marina djur, elektromagnetiska fälts effekter på marina djur, vågkraftens inverkan på fåglar, biofouling på vågkraftsverk, förändringar hos kusters transport av sediment och vågkraftsverk som artificiella rev. De miljöeffekterna som rapporten presenterar ger en komplex bild där det både finns positiva och negativa aspekter.

Förord

I denna rapport har jag fått en större insikt i hur framtida energisystem kan se ut och en djupare förståelse för den miljöproblematik som existerar. Ämnet introducerades till mig under en kurs i miljövänlig energiproduktion där det presenterades flera olika energikällor. Bland de energikällor som vi behandlade i kursen arbetade vi inte med vågkraft. Det gjorde att jag ville förstå mer av ämnet havskraft och miljöproblematiken kring installationer av havskraftsanläggningar i havet. Slutligen vill jag tacka min handledare Jens Klingmann som tog på sig uppdraget att leda mig genom rapportskrivandet. Han har givit mig goda råd och vägledning för att hålla mig på rätt spår, samtidigt som han har bidragit med givande kommentarer och idéer angående innehållet och arbetets struktur.

Innehållsförteckning

1. Introduktion	1
1.1 Bakgrund	2
1.2. Syfte och frågeställningar	4
1.3. Metodbeskrivning	4
1.4. Avgränsningar	5
2. Begrepp	7
3. Vågkraftsverksmetoder	8
3.1. Punktabsoberande system (Point absorber)	8
3.2. Vågöversköljningsanläggning (Wave overtopping reservoir)	9
3.3. Attenuator	11
3.4. Oscillerande vattenkolumn (Oscillating water column)	12
3.5. Inverterad pendel	14
3.6. Sammanställning av kapitlet	14
4. Vågkraftens miljöaspekter	16
4.1. Ljud från vågkraftsverk och dess miljöpåverkan	16
4.2. Hur vågkraften kan komma att introducera elektromagnetiska fält och fältens marina miljöpåverkan.	17
4.3. Biofouling och bentiska faunas interaktioner med vågkraftsverk	19
4.4. Vågkraftens fysiska interaktion med djur och den kringliggande miljön	20
4.5. Hur vågkraftsverk kan förändra transporten av sediment och vad det kan innebära för miljön	20
5. Diskussion och Analys	22
5.1. De fem typerna av vågkraft	22
5.2. Fåglars påverkan	23

5.3. Vågkraft som habitat för den bentiska faunan	24
5.4. Biofouling och vågkraftsverk	25
5.5. Elektromagnetiskafälts inverkan på marina djur	25
5.6. Mänskligt skapade ljud från vågkraftsverk i haven	26
5.7. Transport av sediment	28
5.8. Generellt om informationen som rapporten behandlar	29
5.9. Sammanställning av vågkraftsverk och deras miljöpåverkan	30
6. Konklusioner	32
7. Referenslista	34

1. Introduktion

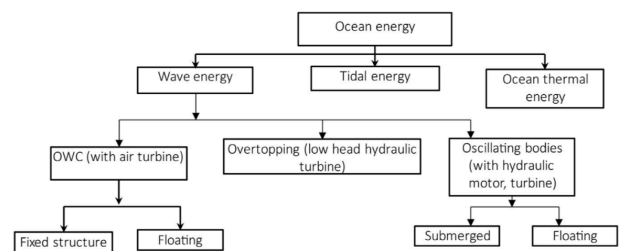
I dagens rådande samhällsklimat sker just nu stora diskussioner och förändringar av framtidens energi. De fossila bränslena ska bort, kärnkraften avvecklas i Sverige och en stor omställning håller på att ske. Energiproduktionssystemen går mot förnybara decentraliserade källor.(1) Parallellt arbetar EU fram nya miljömål för att minska koldioxid utsläppen. EU har idag som mål att minska koldioxidutsläppen med 40% till 2030 och 2050 ska EU vara helt koldioxidneutralt.(2) I detta paradigmskifte ska de traditionella energikällorna bort och förnybara källor ska ta över. Vid utbytet av energikällor kommer möjligheter att ersätta äldre system med nyare. Det är inom dessa möjligheter som arbetet grundar sig och kommer undersöka vågkraften.

Energidensiteten (W/m) i havsvatten är mycket högre i jämförelse med andra förnybara energikällor som vind och solkraft. Det grundar sig i att havsvatten har en densitet som är 850 gånger större än luftens densitet. Vidare när havet transporterar energin med hjälp av vågor går nästan ingen energi till frictionsförluster och nästan all energi är bevarad. Det är först när vattendjupet är halva vågens våglängd som energiförluster börjar ske. (3) Vågkraftens egenskaperna gör den till en intressant förnybar energikälla och värd att undersöka hur energin kan utvinnas. Rapporten kommer att överskådligt undersöka och introducera fem stycken olika marinkraftslösningar av typen vågkraft. Med hjälp av dessa system kommer rapporten introducera ämnet till läsaren samtidigt som den kommer att analysera och väga lösningarna mot varandra. De olika systemen är punktabsorberande system, vågöversköljningsanläggning (wave overtopping resevoir), attenuator, oscillerande vattenkolumns system (oscillating water column) och inverterad pendel (4).

Nya installationer av system i havet behöver idag en större påverkansanalys för att med tillåtelse av lagen kunna börja introduceras och installeras. Utvecklare behöver med stor säkerhet kunna övertyga att inga allvarliga miljöeffekter kommer uppstå av installationen. Det kan vara svårt att genomför vid tidiga faser av teknikutveckling. Det leder till att vikten av att kunna göra en miljöpåverkans analyser med begränsad information är stor. (5) I del två kommer vågkraften ställas i relation till miljöproblematiken som uppstår vid installation av tekniska lösningar i havet. I delen kommer läsaren få följa hur marina miljöer kan påverkas av större installationer och vad dess effekter kan bli. Faktorer som rapporten kommer undersöka är hur den marina faunan och hur kustlinjer påverkas. Orsakskällor som korrosionsutsläpp, ljud från anläggningar, elektromagnetiska fält och transportförändringar av sediments påverkan kommer undersökas.

1.1 Bakgrund

Vågkraft som är en underkategori inom marinkraft är som vind-, sol- och geotermiskkraft naturligt förekommande energikällor. De senaste årtiondena har det gjorts stora satsningar på vind- och solkraft vilket har lett till stor utveckling av dessa metoder. Till skillnad från sol- och vindkraft är vågkraft en av de minst utvecklade energi resurserna. Marinkraft kan delas in i tre kategorier vågkraft, tidsvattenkraft och havsvärmekraft. (6) Figur 1 visar hur vågkraft kan delas in i olika kategorier och underkategorier. Rapporten kommer inte behandla tidsvattenkraft eller havsvärmekraft, utan kommer främst beröra vågkraft.



Figur 1. Visar hur havskraft kan delas in i olika grupper och underkategorier.(8)

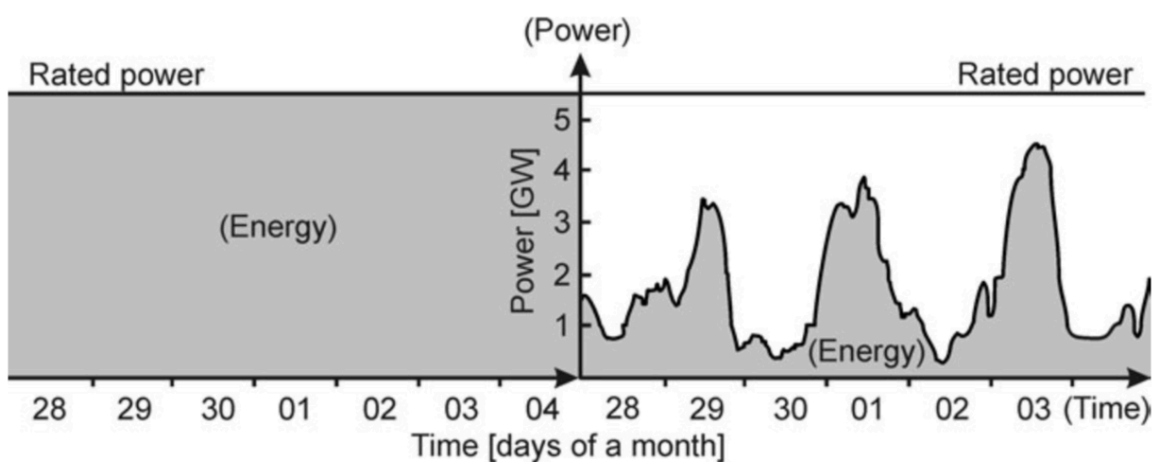
Havets vågor uppstår till stor del genom att vinden ovan dess yta för den i rörelse. (7) Det sker genom att solstrålningen som når jorden värmer upp luften ovan havet. Det gör att tryckskillnader skapas i luften ovanför havet.

Tryckskillnaderna som bildas ger upphov till att luften börjar röra sig (vind skapas). Det är vinden ovan havet som vid kontakt med vattenytan över en viss sträcka för vattnet i havet i rörelse. Här börjar vattenvågor alstras och efter att vågorna börjat alstras kan de börja att växa. Det sker genom att resonans mellan vindens vertikala tryckskillnader och vågorna. Samtidigt som vindens hastighet är högre vid vattenvågens toppen i jämförelse med dess dal. Dessa två mekanismer är de första mekanismer som får vattenvågen att växa. När vågen har blivit tillräckligt stor börjar ytterligare mekanismer inverka i vågens tillväxt. Processer som vindens friction mot vattenyta börjar i detta skede få vågen att växa. Vågens storlek beror i slutändan på tre huvudfaktorer vindhastigheten, tidsintervallet som vinden blåser och vattendistansen som vinden blåser över. Havsvågor som uppstår på grund av vinden kallas vindvågor. Efter att havsvågor har skapats kan de fortsätta sin rörelse utan inverkan av vind. Dessa vattenvågor som fortsätter att existera utan inverkan av vind kallas svallvågor. (9)

Havsvågors utbredning sker till liten grad av masstransport. I stora drag är det energin i vattnet som överförs i en riktning med en liten massförflyttning av vatten. Det beror på att vattnet rör sig i en cirkelrörelse genom att vattenvågens topp rör sig framåt samtidigt som dalen rör sig i motsatt

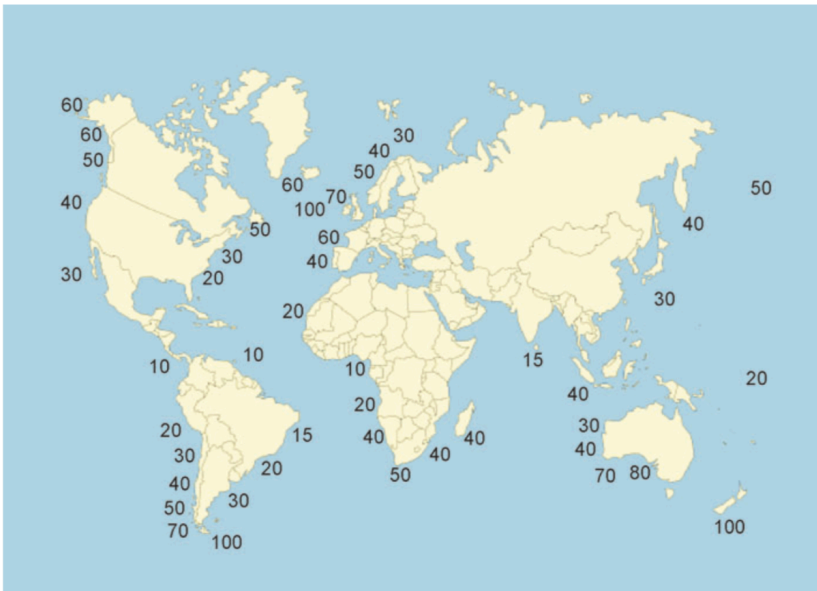
riktning. Vattenvågans cirkelrörelse är i ett exponentiellt förhållande med vattendjupet och vid djup på en halv våglängd existerar knappt cirkelrörelsen. Vid grunda vattendjup existerar istället ett elliptiskt rörelsemönster och energi frigörs genom friktion mot havsbotten. Det gör att vågen blir brantare desto grundare det blir och vid en våghöjd på 1/7 våglängd förstörs havsvågans vågrörelse. (10)

Vågkraft är fortsatt likt vind och solkraft i att de alla tre är intermittenta energikällor. Betydelsen av en intermittent energiresurs är att energiutnyttjandet i tiden varierar på ett okontrollerbart sätt. Det motsatta är icke intermittenta energikällor vars energiproduktion kan varieras efter efterfrågan. Figur 2 illustrerar skillnaden mellan intermittenta och icke intermittent energiproduktion. (11) Vidare diskussion eller fakta om intermittenta energikällor kommer inte presenteras något mer, samtidigt är det viktigt att förstå vad det är.



Figur 2. Visar skillnaden av en intermittent energikälla och en icke intermittent energikälla. Till vänster av y-axeln illustreras den icke intermittenta energikällan och till höger ses den intermittenta. (12)

Vågkraftens energidensitet betecknas W/m , där m längden motsvarar vågfrontens bredd. W är watt och definieras som energi per sekund. Vågors energidensitet är väldigt stor och innehåller därav mycket energi. Utav de andra förnybara energikällorna är vågkraftens energidensitet högre jämfört med både vind- och solkraft. (13) Samtidigt och intuitivt nog varierar den årliga energidensiteten längs världens kustlinjer och hav. Figur 3 nedan visar den årliga energidensiteten varierar längs världens olika kuster och hav. (14) Variationerna gör att potentialen för vågkraft varierar över världen. (15)



Figur 3. I bilden illustreras hur den årliga energidensiteten varierar längs världens kuster. Energidensiteten är angiven i kW/m (16)

1.2. Syfte och frågeställningar

Det inledande målet med rapporten är att få en förståelse av fem olika vågkraftssystem och hur dessa fungerar. Mer specifikt kommer fem vanliga vågkraftsmetoder beskrivas överskådligt. De fem undersökta vågkraftsmetoderna är:

- Punkt absorberande system
- Vågöversköljningsanläggning (wave overtopping resevoir)
- Attenuator
- Oscillerande vattenkolumns system (oscillating water column)
- Inverterad pendel

Utifrån de fem vågkraftsmetoderna kommer miljöpåverkan att undersökas genom frågan:

- Hur kan den marina miljön påverkas av de olika vågkraftsanläggningarna?

1.3. Metodbeskrivning

Rapporten som är en litteraturstudie har använt främst publicerade forskningsartiklar om vågkraft eller miljöpåverkan som vågkraft kan leda till. Informationen om olika metoder för vågkraftsverk har främst kommit från vetenskapliga artiklar, studier och fakta från företag (Wave Star, Wave Dragon och Oyster). Information från företag har handlat om vad de lyckats genomföra, vad de misslyckats med och prestationsparametern (verkningsgrad). Vid användandet av företag som källor

har informationen använts med eftertanke. Det grundar sig i att företag har en agenda med vad de publicerar och är inte oberoende. En del av källorna är publicerade mer än 10 år sedan. I vissa fall kan fakta av den typen vara utdaterad. Speciellt inom ämnen vars områden inte har studerats grundligt ännu. I rapporten har informationen av äldre slag använts främst när viss konsensus i området existerar eller när det inte hittades nyare information som visade något annat. Till exempel användes källan ”Energy from Ocean Waves” av Rafael Waters som är publicerad 2008 i avsnittet bakgrund för att överskådligt förklara hur vågor i havet skapas. Vid information som handlade om miljöpåverkningar som vågkraftsverk kan leda till användes vetenskaplig litteratur, vetenskapliga artiklar, myndighetskällor och vetenskapliga artiklar främst. Källorna innehöll inte information som tydligt berättade att vågkraftsverk leder till miljöeffekter. Istället innehöll och studerade källorna främst vad som kan ske vid installation av vågkraftsverk. Att inga tydliga miljöeffekter kartlades berodde dels på att vågkraftsverk är en ny energiproducerande teknik vilket medförde att inom vissa områden var det svårt att studera miljöeffekterna. Det betyder att denna rapport inte innehåller information som direkt berättar vågkraftens miljöeffekter. Istället har information som berättar vilka effekter som kan uppkomma vid införandet av vågkraftsverk insamlats.

1.4. Avgränsningar

För att göra det möjligt att besvara frågeställningarna och möjliggöra en studie inom området kommer rapporten behöva avgränsas. Följande avgränsningar kommer att göras. Vågkraft kommer inte jämföras med sol- eller vindkraft i någon större utsträckning. Arbetet kommer inte utföra eller kalkylera fram vågkraftsverkens framtidsscenarion. Huruvida ett vågkraftssystem skulle kunna anpassas och användas längs Sveriges kuster kommer inte behandlas. Vid undersökandet av att alstra energi från havet kommer de fem metoderna vara vågkraftsmetoder. Vidare kommer de fem metoderna vara punkt absorberande system, vågöversköljningsanläggning (wave overtopping reservoir), attentuator, oscillerande vattenkolumns system (oscillating water column) och inverterad pendel. Dessa fem vågkraftsmetoder är de enda som kommer att undersökas och studeras.

Rapporten har som uppgift att analysera miljöaspekter som uppkommer vid installation av vågkraft. Miljöaspekterna som rapporten behandlar är klimat relaterade. Det leder till att ämnen som kustarkitektur och de estetiska effekter som kan uppkomma vid installation av vågkraftsparker inte kommer utredas. Ämnesområden om hur vattensporter, transportvägar till havs och andra mänskliga aktiviteter som kan hamna i konkurrens med vågkraftsanläggningar kommer inte att beröras.

Miljöaspekter som berör produktionen av de olika material och delar som ingår i tillverkningen av vågkraftsverk är något som rapporten inte inkluderar. Därmed kommer inte en livscykelanalys göras på vågkraftsverk. Det som kommer beröras istället är hur vågkraftsverk kan komma att påverka den marina miljön den befinner sig i under sin energiproducerande livstid.

2. Begrepp

Bentisk - Berör botten i havet. Bentiska arter är alltså arter som lever på eller i havets botten.

Infauna - Marinbiologiskterm som syftar på djur som lever i eller under sedimentet.

Turbiditet - Är ett grumlighetsmått för vatten.

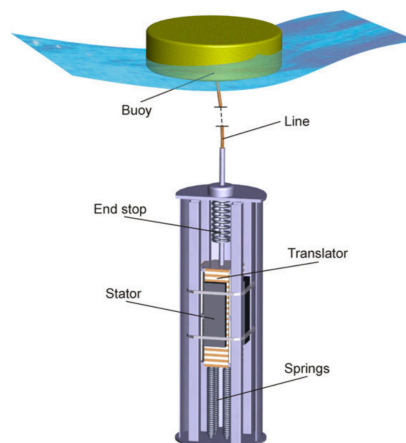
Kapacitetsfaktor - Beskriver hur mycket av den teoretiskt möjliga kapaciteten som utnyttjas över en tidsperiod.

3. Vågkraftsverksmetoder

Vågorna som jordens ekosystem skapar innehåller på sina platser stora mängder energi och därav finns det ett intresse för att hitta lösningar till att utvinna energin. Samtidigt är det lättare sagt än gjort att utvinna denna energi. Många platser där vågkraft skulle kunna implementeras har ett extremt vågklimat. Det medför att konstruktionen måste förhålla sig till dessa förhållanden som på sina platser kan vara extrema. Därav behöver konstruktionerna designas för att överleva förhållandena.(17) Parallellt existerar det utmaningar i att göra vågkraftsanläggningar effektiva. Ett problem är att havets vågor har flera parallella frekvenser där den dominerande frekvenser ändras i tiden. (18) I dagens läge är inte vågkraftsverk konkurrenskraftiga jämfört med andra energi källor. Konstruktionerna är för dyra och producerar inte tillräckligt med energi.(19) Samtidigt fortgår forskningen i ämnet och i denna del av rapporten kommer fem olika tekniker inom ämnet vågkraft att presenteras.

3.1. Punktabsoberande system (Point absorber)

Grundprincipen bakom punktabsoberande vågkraftssystem är inte avancerad. Tanken är att utnyttja vattenvågors svängande och böljande rörelse för att utvinna energi genom att låta en boj följa rörelsen. Se figur 4 nedan som illustrerar en schematisk bild av en punktabsobera. Det är bojens rörelse som ger upphov till ett kraftuttag som kan vara hydrauliskt eller elektriskt. Ett karakteristiskt drag som en punktabsoberande boj har är att dess längd i förhållande till vattenvågors typiska våglängd är liten. En stor del av en punktabsoberarkonceptet är att desto större boj desto mer energi kan utvinnas. Bojen kan samtidigt inte vara för stor eftersom större bojar leder till större diffraktionskrafter och hela konceptiden med punktabsobering bryts när denna kraft blir dominerande. I det hela är inte det viktiga hur mycket energi en punktabsoberar kan utvinna. Det betydelsefulla är hur mycket av den tillgängliga energin den utvinner. Vidare har det visat sig att en bojs form inte har en direkt inverkan på hur effektivt den absorberar energi. Det beror på att det punktabsoberande systemet har en naturlig oscillation som



Figur 4. Bilden visar ett koncept på en punktabsoberare från ett svenskt vågkraft projekt som utfördes på Lysekil på den svenska västkusten. (21)

är större jämfört med havsvågors frekvens. Därav är det viktigt att designa ett absorberande punkt systems storlek, tröghet och dämpningen hos kraftutvecklingen på ett sätt som ger maximalt utvinning av inkommande energi från vattenvågen. Dessa mekanismer har studerats och forskning har visat att det är mer effektivt att använda fler mindre enheter än få stora. Det har bevisats att matris formationer med ideala avståndsförhållanden mellan bojarna kan öka energiabsorptionen. (20)

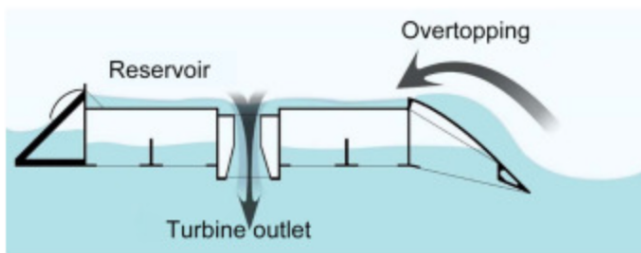
Positiv interferens mellan bojens naturliga svängning och vattenvågens svängning ger upphov till att bojens svängning blir snabbare, amplituden växer och resonans uppstår. Effekten blir att mer energi kan överföras och utvinnas av punktabsorberarens kraftutvinningsystem. Det gav upphov till att två olika kontrollsystemsprinciper utvecklades för att få sammanflätning av svängningarna att ske mellan boj och havsvåg. Systemprinciperna är kontinuerlig och diskret reglering. Det kontinuerliga reglersystemet bygger på att göra mätningar och förutsägelser om framtiden för att få bojen att svänga i fas. Det diskreta reglersystemet bygger på att oscillationen justeras ett ändligt antal gånger under en vågperiod. För att reglera oscillationen utvecklades en låsningsmetod där bojens rörelse är låst vid vändpunkten i svängningen (hastighet är noll) och släpps från låsningen när den är reglerad i fas. Studier på låsningsmetoden har visat att energi utnyttjandet kan tredubblas och att energiproduktionen blir stadigare. (22)

Vågkraft som bygger på punktabsorberande system har blivit en av de mer lovande principerna. En del beror på att systemet är relativt till andra vågkraftssystem lätt att producera och installera.(23) Ytterligare fördelar existerar på grund av dess storlek. Systemets små dimensioner gör det möjligt för den att verka och producera energi oavsett vilken riktning som vattenvågen kommer i. Samtidigt gör den kompakta designen att en punktabsorberare inte producerar lika mycket energi som andra vågkrafts lösningar. Problemet går att lösa genom att introducera flera punktabsorberare.(24) Vid korrekt utformning och introduktion av multipla punktabsorberare i ett område kan det leda till effektivitets- och energiproduktionsfördelar.(25)

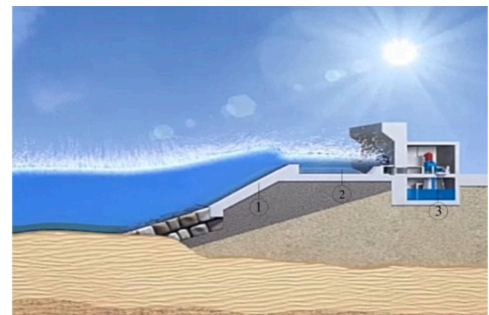
3.2. Vågöversköljningsanläggning (Wave overtopping reservoir)

Vågöversköljningsanläggning (på engelska wave overtopping reservoir) är en metod som skiljer en del från andra vågkrafts modeller. Istället för att låta en kropp oscillera och på så sätt utvinna energi

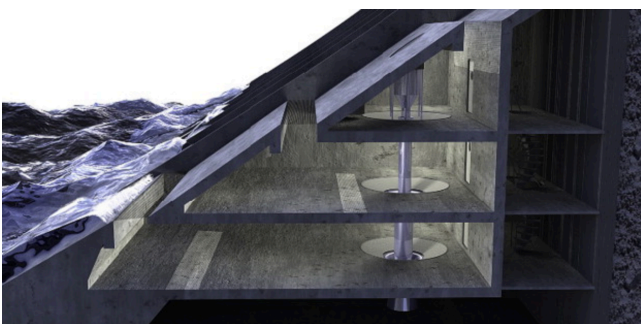
bygger översköljningsmodellen på att leda vattnet från en vågtopp in i en reservoar. Reservoaren som vattnets leds till befinner sig i en lägesskillnad i höjddled relativt medelvattenytan. Det är i huvudsak den potentiella energin som uppkommer på grund av lägesskillnaden som kan nyttjas och transformerats till nyttjbar energi. Transformationen sker genom att leda vattnet genom en låghuvuds vattenturbin som tillsammans med en generator kan generera elektricitet.(26) Figuren 5, 6 och 7 nedan visar tre schematiska bilder som illustrera hur processen går till och hur samma princip kan nyttjas med olika modeller. Figur 5 är en schematisk bild på en prototyp inom projektet Wave Dragon. Wave Dragon är ett kommersiellt projekt som 2003 sjösatte sin fullskaliga prototyp och har sedan dess lyckats få den att producera el.(27) Figur 6 och 7 visar två liknande modeller av översköljningsanläggning där figur 6 visar en princip med en nivå och 7 en princip med flera nivåer. Den markanta skillnaden mellan de två sistnämnda principerna är antalet reservoarer i höjddled. Wave Dragon skiljer sig från dessa modeller genom att vara en anläggning som flyter(28). Enligt Wave Dragon kan deras minsta modell verka på havsdjup från 20 meter och deras största modell verka på ett havsdjup från 30 meter(29).



Figur 5. Illustration av hur en vågöversköljningsanläggning skulle kunna absorbera energi offshore. Bilden är en schematisk bild av Wave Dragon principen (30)



Figur 6. Illustrerar principen hur en vågöversköljningsanläggning med en nivå kan se ut schematiskt. (31)



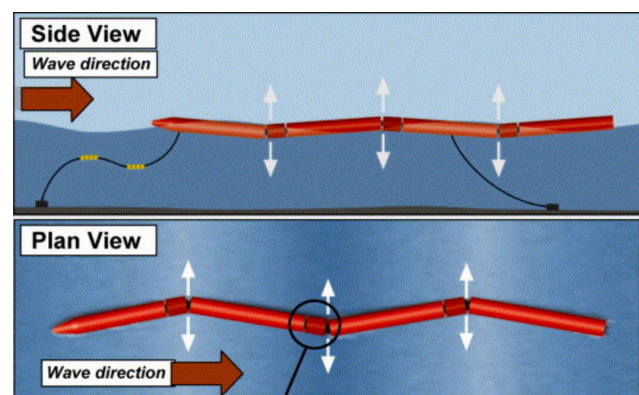
Figur 7. En schematisk bild på en vågöversköljningsanläggning med tre våningar. (32)

En experimentel studie i laboriemiljö från 2009 som gjordes på en översköljningsenhet med tre våningar visade att en totala effektivitet 10-26 procent kan uppnås. Vid deras framtagande av

effektiviteten tog de hänsyn till hydraulisk-, reservoar-, turbin- och generatoreffektivitet. Studien behandlar ett pilot projekt vid Norges västkust. Livslängden på enheten ska vara 25 år och de kom fram till en årlig produktionen av elektricitet på 320MWh/år med en kapacitet på 163kW. (33) Siffrorna kan jämföras med Wave Dragons. Enligt Wave Dragon som har tre olika modeller i tre olika storlekar producera respektive 12 GWh/år, 20 GWh/år och 35 GWh/år. Modellernas respektive kapacitet uppgår till 4MW, 7MW och 11MW.(33) Konstruktionerna skiljer sig lite åt. Wave Dragon är i huvudsak en stål- och betongkonstruktion. Flervåningsanläggningen är enligt författarna i huvudsak en betongkonstruktion.(35)(36) Ytterligare bör det nämnas ett studie på Wave Dragons kapacitetsfaktor som gjordes 2018 visade att en medelkapacitet under vintern på 33 procent.(37)

3.3. Attenuator

Attenuator bygger på principen att låta havsvågors oscillerande effekt aktivera konstruktionens kroppar och föra dem i rörelse. Dessa mekaniska konstruktioner består av stora kroppar som är orienterade i längdled längs vågornas riktning. Figur 8 visar en konstruktionstyp som kallas Pelamis och hur konstruktionens rörelse aktiveras av havsvågor. Pelamis är en konstruktionstyp som bygger på attenuator principen. Denna modell som kan framstå vara ormliknande består oftast av stora avlänga kroppssegment som är ledade ihop. Lederna böjs när vågen verkar på konstruktionen och det gör att kroppen kan röra sig enligt havsvågen. Det är de slingrande kroppssegmentens kinetiska energi som transformeras till nyttig energi i kraftuttagssystemet.(38)



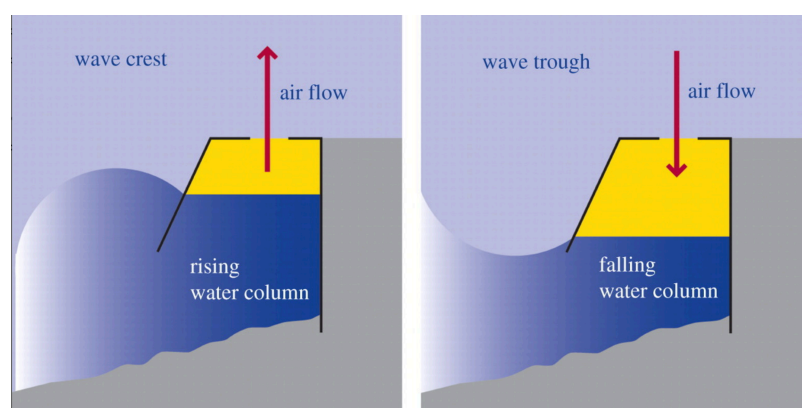
Figur 8. Illustration på attenuator modellen Pelamis. Bilden visar översiktligt hur Pelamis rör sig i sid led och höjled med havets vågor.(39)

Företaget Pelamis Wave Power vars koncept bygger på attenuator konceptet lyckades 2004 demonstrera en fullskalig prototyp. Det var den första offshore vågenergi anläggningen att producera el till ett elnät. Deras prototyp ledde till att de fortsatte utveckla konceptet och 2010 sålde de en 750kW maskin till det brittiska energi företaget E.ON UK. (40) Studien som nämndes i

avsnittet om vågöversköljningsmetoden undersökte parallellt Pelamis. I studien "Annual and seasonal variabilities in the performances of wave energy converters" publicerad i Energy 2018 undersöktes energimedlet för Pelamis på tre olika platser i västra Storbritannien. Undersökningen kom fram till att producerande energin och kapacitetsfaktorerna låg i respektive spann 0.83-1.03 GWh och 12.6 - 15.7%.(41) Det ska nämnas att företaget bakom Pelamis gick i företagsrekonstruktion i november 2014. Idag ägs deras tillgångar och immateriella rättigheter av Wave Energy Scotland.(42)

3.4. Oscillerande vattenkolumn (Oscillating water column)

Vågkraft baserad på en oscillerande vattenkolumn är en teknik som principiellt består av två huvuddelar. De två delarna är en ficka för vattenansamling och ett kraftuttagssystem som omvandlar pneumatisk kraft till energi.(43) Konstruktionen är ofta en stål eller betongstruktur som är delvis nedsänkt under vattenytan. Strukturen har en hålighet där luft och havsvatten täcker upp volymen. Havsvattnets oscillerande rörelse får sedan vattennivån i kolumnen att röra i höjdlid. När vattennivån ökar trycks luft ut och när vattennivån sjunker igen dras luft in igen. När luften trycks ut eller dras in passerar den en turbin som driver en generator som omvandlar energin till användbar energi. Se figur 9 nedan som visar principen av hur vattnet får luften att tryckas in och ut. Turbinen är i de flesta fall en Wells-turbin. En Wells turbin är en axiellt verkande turbin som har egenskapen att dess vridmoment är oberoende av luftflödets riktning.(44)



Figur 9. Visar principerna kring hur en oscillerande vattenkolumn fungerar. Till vänster illustreras när en våg kommer in och luft trycks ut och till höger visa när vattnet åker ut us kolumnen och lyft dras in. (45)

Det som gör oscillerande vattenkolumnsmetoden intressant är dess praktiska simpelhet. I detta sammanfattas att strukturen har få rörliga delar, inga rörliga delar i havsvattnet, det går att

genomföra längs kustlinjer, nära kusten eller offshore och att strukturen använder havsvolym effektivt. (46)

Ett flertal fullskaliga oscillerande vattenkolumns prototyper har installerats tidigare. Några av prototyperna har byggts i Toftestallen Norge (1985), Sakata Japan (1990), Vizhinjam Indien (1990) och Pico Portugal (1999). Alla dessa prototyper var fixerade närstrand bottenfasta strukturer som utvann energin genom att använda en Wellsturbin anpassad för luft.(47)

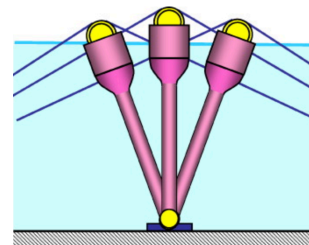
Forskning och studier inom området fortgår för att optimera och förstå de viktigaste faktorerna vid en oscillerande vattenkolumnsstruktur. I artikeln ”The spring-like air compressibility effect in oscillating-water-column wave energy converters: Review and analyses” från 2019 (publicerad i ”Renewable and Sustainable Energy Reviews”) visade resultatet att studier som använder sig av antagandet inkompressibel luft leder generellt till övervärderingar av denna strukturs effektivitet. De påpekar att kompressibilitetsantagandet förekommer vitt i flera litteraturer, modeller och andra studier och att antagande leder till överkliga slutsatser. Samtidigt varnar författarna för att vid modelltestning av dessa strukturer är turbinerna simulerade genom grova antaganden. De menar att dessa simuleringar av turbiner kan bara ge en grov approximation. Fortsatt menar de att dessa approximationer kan ge grövre fel jämfört med inkompressibilitetsantagandet. (48)

Strukturens design och konstruktion (borträknat turbinen) är de kritiska faktorerna bakom hur effektivt och lönsamt metoden kan utvinna energi från havsvågor. Strukturens kostnad består i huvudsak av kostnader bundna till konstruktionen. Samtidigt är det möjligt att konstruera en vågbrytare med ett integrerat oscillerande vattenkolumnssystem. Det skulle innebära att kostnaderna för strukturen skulle bäras av två system, underhåll skulle bli lättare och möjlig plats för konstruktion blir mer tillgängliga.(49) I studie ”The spring-like air compressibility effect in oscillating-water-column wave energy converters: Review and analyses” från 2019 som bejakade möjligheten för ett sådant integrerat system i medelhavet påvisade att deras systems paybacktid var 19 år vilket de påpekar är en lång återbetalningstid. Samtidigt menar de att investeringen kan rättfärdigas om målet är gröninfrastruktur. De utförde parallellt en ljudstudie grundad på litteratur som visade att ljudet från Wellsturbinen 5 dagar per år var strax under toleransgränsen för

smärtsamma ljud. Därmed utvecklade de en struktur där turbinen var integrerad i ett ljuddämpande rum.(50)

3.5. Inverterad pendel

Den inverterande pendel varianten bygger på principen att en inverterad pendel som är fäst i sjöbotten sätts i rörelse av havsvågornas oscillerande rörelse. Se figur 10 för att få en uppfattning av rörelse mönstret av inverterad pendel inom vågkraft.



Figur 10. Schematisk illustration av Inverterad pendel principen i tre olika rörelsetillstånd.(52)

Lägg märke till att bilden visar pendeln i tre olika rörelsetillstånd.

Två principer som 2009 var under utveckling var modellen Oyster och Wave Roller. Båda modellerna har samma grundkoncept. Deras

rörelse driver hydrauliska kolvar som börjar pumpa hög trycksatt vätska genom ledningar som är installerade längs havsbotten. Vätskan pumpas in mot land där ett hydrauliskt maskinerianläggning används för att omvandla energin i den högt tryck satta vätskan för att utvinna användbar energi.

(51)

Oyster lyckades testa och sjösätta två fullskaliga prototyper och 2012 lyckades med modellen Oyster 800 anslutas till elnätet vid EMEC Billia Croo testavdelning. Idag har företaget bakom Oyster modellerna upphört.(53) Wave Roller har lyckats att fortsätta verka och företaget finns idag. Företaget installerade en fullskalig kommersiell maskin 2019 längs Portugals kust. Maskinen har producerat el in i Portugals nationella elnät.(54)

3.6. Sammanställning av kapitlet

Tidigare i avsnittet har information och studier av de fem olika vågkraftssmetoderna presenterats. I avsnitten har principiella metoderna studerats samt har positiva och negativa aspekter presenterats. För att göra en mer överskådlig sammanställning presenteras de olika systemen i tabell 1 nedan. Tabellen visar olika metoders och kommersiella projekts potentiella verkningsgrad vid olika energipotentialer. Energipotentialet i tabellen berör den potentiella energin en vågfront innehåller per vågfrontens längdenhet. Alltså hur mycket energi en inkommande våg innehåller per meter vågfront. Det leder vidare till verkningsgraden i tabellen som är definierade enligt:

$$\eta = \frac{\text{energi absorberat}}{\text{energi tillgängligt inom vågkraftverkets bredd}}$$

I tabellen används symbolen ”*” som hänvisning för vad värdet berör på raden. Exempel är att ”*” framför hänvisar till egenskapen eller värdet som också har ”*” framför sig och ”**” refererar till egenskapen eller värdet med ”**” framför sig o.s.v.

Tabell 1 visar energipotentialen och effektiviteten för olika typer av vågkraftsverk. (55)

Namn (Typ)	Skala	Energipotential (kW/m)	Effektivitet	Kommentar
AquaBuoy (Punktsabsorberare)	Simulation av prototyp storlek	* 12 ** 21 *** 26 **** 15	* 27% ** 29 % *** 36 % **** 27 %	Hydrodynamisk-effektivitet
Flytande bojmatris (Punktsabsorberare)	Simulation	* 15	* 11 %	Hydrodynamisk-effektivitet
Två kropps flytande boj (Punktsabsorberare)	Simulation	* 31	* 25%	Hydrodynamisk-effektivitet
Variant av Oyster (Inverterad pendel)	Simulering	* 26 ** 26 *** 26	* 22 % ** 40% *** 15 %	Hydrodynamisk-effektivitet Bredd: * 6 m ** 12 m *** 18 m
Pelamis (attenuator)	Simulering, experiment och simuleringar	* 12 ** 21 *** 26 **** 15	* 21 % ** 15 % *** 14 % **** 18 %	Hydrodynamisk-effektivitet. Info från ett flertal experiment och tester
Wavedragon (vågöversköljningsanläggning)	Prototyp skala	* 16 ** 12 *** 21 **** 26 ***** 15	* 23 % ** 26 % *** 23 % **** 21 % ***** 22 %	Hydrodynamisk-effektivitet. Bredd: 300 m
Wavedragon (vågöversköljningsanläggning)	Havsförsök och simulering	* 6 ** 24	* 27 % ** 18 %	Hydrodynamisk-effektivitet Bredd: * 65 m. ** 97 m
Pico (Oscillerande vattenkolumn)	1:1 havsförsök		20 %	Pneumatisk-effektivitet
Lanchester Clam (Oscillerande vattenkolumn)	Vågtank		23 %	Pneumatisk-effektivitet

4. Vågkraftens miljöaspekter

I världen idag lutar trender mot att ersätta eller hitta nya lösningar för att byta ut de konventionella och traditionella energikällorna. Energikällor som utnyttjar mekanismer på jorden som innehåller energi utvecklas och installeras. Dessa kan vara att producera el från solen som lyser eller vinden som blåser. Ytterligare går det att producera nyttjbar energi från havets olika energi innehållande mekanismer. Samtidigt som vågkraftsanläggningar under sin livstid kommer producera energi utan utsläpp är det av stor vikt att förstå hur vågkraften kommer att påverka miljön.(56) I denna del kommer det beskrivas vilka implikationer en introduktion av vågkraftssystem kan komma att ha på den marina miljön.

4.1. Ljud från vågkraftsverk och dess miljöpåverkan

Introduktionen av vågkraft leder till ljud skapade av människan introduceras i havet. Dessa ljud kan komma att påverka levande organismer.(57) Ljud uppstår på grund av små tryckvariationer som breder ut sig i ett medium. Tryckvariationernas utbrednings hastighet varierar beroende på medie. I tätare medier färdas ljudet snabbare. Det medför att ljud i havet breder ut sig snabbare än i luft. Ljuds styrka beror på ljudtrycket och frekvensen som ljudet består av. Ljudtrycket mäts i decibel(dB) som är en logaritmisk skala av ljudtrycket Pascal (Pa) där 20 uPa motsvarar 0 dB. Ljudfrekvens mäts i Hertz (Hz) och en Hz motsvarar en ljudvågs svängning per sekund. (58) Ljuden som introduceras i den marina miljön under installation är av ett vitt frekvensspektrum. Samtidigt är installationsljuden tillfälliga och med det menas att de pågår under relativt kort tid och är oregelbundna till sin natur. Ljuden som är mer oroväckande är operationsljuden, alltså de kontinuerliga ljuden som produceras av vågkraftsverk.(59) Vågkraft är beräknat att producera ljudnivåer (<140 dB re 1uPa på 1 m) som är lägre än fraktfartyg(185-195 dB re 1 uPa på 1 m) och inom spannet av offshore vindkraftverk (130-150 dB 1uPa på 1 m).(60) Ljuden som skapas behöver samtidigt inte vara mekaniska, skapade av rörliga delar eller av kraftuttagssystemet utan de kan härstamma från interaktionen mellan vågor och maskineri.(61)

Ljudens miljöpåverkan grundar sig i att djur kan komma att uppfatta dessa ljud som stressfaktorer och för vissa djur kan de maskinproducerande ljuden störa kommunikationen.(62) Frekvenserna som produceras kan inverka och maskera andra ljud. Det kan påverka den sociala interaktionen mellan havsdjur, rovdjurs förmåga att finna byten, marina djurs rovdjursstrategier och undvika

farligheter i vattnet. Djuren kan komma att drivas iväg av ljuden som introduceras parallellt kan det motsatta ske att djur attraheras vilket i sin tur istället leder till en ökning av marina djur.(63) Forskning inom området har hittills i stora drag utförts i laboratoriemiljö. I experimenten har de efterliknat ljud som är ekvivalenta med de som turbiner ger ifrån sig på ett djup av 10 meter. Därefter har det studerats hur de marina djuren förhåller sig till de turbinljuden. Det som har noterats är att i laboratoriemiljön sker en beteendeförändring hos de marina djurens beteendemönster.(64) I miljöpåverkansstudie ”Marine ecosystem impacts of wave energy installations” om vågkraft publicerad av Europa Kommissionen (6 maj 2010) rapporteras om miljöaspekter och miljöpåverkan som vågkraften kan leda till. En av miljöaspekterna som tas upp är hur introduktion av ljud kan påverka omgivningen. Marina arter som delfiner, valar, sälar och djur i allmänhet som använder sig av undervattensljud är de som omfattas och kan bli påverkade av ljuden. Vidare betonar rapporten osäkerheten kring långtidspåverkan som kan komma att innefattas av ljuden som introduceras med vågkraft.(65)

Det existerar svårigheter med att registrera och analysera de ljud som havsenergi och vågkraft producerar. Problematiken innefattas av att havet vid kuster och vågkraftsanläggningars frekvensintervall överlappar varandra. Vågor längs kuster producerar ljud som har ett frekvensintervall inom 500 Hz till 100 kHz och vågkraftsanläggningar frekvensintervall har visats ligga inom 100 Hz till 10 kHz. Därav är stora delar av frekvensintervallen lika vilket är en bidragande faktor till svårigheter kring detekteringen och urskiljning av de olika ljuden.(66)

4.2. Hur vågkraften kan komma att introducera elektromagnetiska fält och fältens marina miljöpåverkan.

Vågkraftsverk som är installerade ute till havs (inte på kuster) och som producerar el direkt vid anläggningen behöver öveföra elenergin till land för att energin som produceras ska bli nyttjbar. Det görs med hjälp av AC(växelström) eller DC(likström) via högvoltskablar som är dragna i havet längs sjöbotten till land. Väl i land är kabeln eller kablarna anslutna till en transformationsstation som transformerar elen till nätverksel och skickar ut elen till platsens elnätverk. Elen som överförs genom en kabel kommer ge upphov till att elektromagnetiska fält bildas.(67) Fälten som bildas kan i sin tur interagera med marina djur som fiskarter och marina däggdjur som använder sig av jordens magnetfält för att navigera sig. Idag blockeras de elektriska fälten som uppkommer längs kablar som transporterar ström. Det beror på en industristandard som existera. (68)(69) Det som inte går att

blockera är det magnetiska fältet som uppkommer av ström genom kablarna. Vid DC el går det att dämpa det magnetiska fältet. Det görs genom att dra en parallell kabel med ström i motsatt riktning. AC leder till mindre magnetiska fält relativt de som uppkommer av ekvivalent DC. Vid AC går det att minska fältets storlek genom att tvinna kabeln. Magnetfält som uppstår är i beroende till tekniken som används och mängden energi som ska överföras. Magnetfältets styrka avtar med avstånd vilket leder till att minskningen av magnetfälts exponering för marina organismer går att uppnå genom att gräva ned kabeln i sjöbotten.(70)

På grund av att de magnetiska fälten inte går att blockera leder det till att elektriska fält uppkommer trots att de blockeras. Det som kan ge upphov till att elektriska fält uppstår är objekts rörelser i det magnetiska fältet. Vattnets och organismers rörelser som passerar genom det magnetiska fältet kommer inducera ett elektriskt fält.(71) De elektriska fält som uppkommer av rörelser genom de magnetiska fälten kan anses svaga men de kan vara i tillräckligt stor storleksordning för att bli detekterade av biologiska organismer som är känsliga för elektromagnetiska fält.(72)

Hela fiskgrupper som broskfiskar, käklösa fiskar och broskganoider har ett utvecklat biologiska system för att känna av elektriska fält. Dessa fiskgrupper har utvecklat elektroreceptorer känsliga för lågfrekventa elektriska fält. Deras beteende är bundet eller är beroende av de elektriska fälten eftersom dessa fiskgrupper använder dem för orientering.(73) Enligt artikeln ”Offshore Renewable Energy: Ecological Implications of Generating Electricity in the Coastal Zone” publicerad 2005 i Journal of Applied Ecology har inte djurs beteenden och känslighet kring elektromagnetiska kablar studerats vidare noggrant. Det som har uppmärksamats är att hajar och rockor som använder sig av elektriska fält attraheras av fälten om dem är på $0.005 - 1 \text{ uV cm}^{-1}$ och undviker fälten om de är 10 uV cm^{-1} eller högre.(74) Broskfiskar och speciellt småfläckig rödhaj och gråhaj känslighet och beroende ställning till elektromagnetiska fält för att livnära sig har lett till att undervattenskablar blivit skadade. Djuren har troligen uppfattat kabeln som ett potentiellt byte när denne inducerade ett elektriskt fält eftersom dessa individer förlitar sig på elektriska fält istället för kemiska och visuella intryck. (75) Det har kartlagts att ålars beteende har påverkats av elektromagnetiska fält producerade av undervattenskablar genom att ålarna har divergerat från sin naturliga vandringsfärd. (76)

4.3. Biofouling och bentiskafaunas interaktioner med vågkraftsverk

Att installera vågkraftsverk, i synnerhet dem som är nära stranden, kan påverka fiskbestånden i omgivningen. Det beror på att konstruktionerna påverkar sjöbotten. Vid ingrepp och förändring av sjöbotten är det bentiska arter som riskerar att påverkas i större omfattning. Ingrepp i havsbotten kan ge upphov till att vatten i ett område över en tid blir grumligare alltså mindre transparent. Lokal flora och fauna som är anpassad till en viss vattenklarhet kan därmed påverkas av ett grumligare vatten. Effekter skapade av grumligare vatten går att minimera genom strategiska val. Genom att undvika att utforma vågkraftsparker på platser i havet som är känsliga för förändring. Ett exempel av platser som bör undvikas är marina organismers fortplantningsområden och kommersiella skaldjursområden. (77)

Installation av vågkraft minskar inte alltid djurlivet. Berikning av biologisk mångfald är möjligt att uppnå på havsområden där tidvatten- och vågströmmarna är starka. I dessa områden skulle introduktionen av vågkraft kunna bli en grund för tillväxten av marina organismer och berika den biologiska mångfalden. (78) Studien ”Wave energy conversion and the marine environment” (2009) studerades bentiska infauna och influenser från vågkraftsverk, vågkraft som artificiellt rev och biofoulingens påverkan på vågkraftsbojar. Studien utfördes i utanför den svenska staden Lysekil längs den svenska västkusten. (79) De fann att på vågkraftsfundamenten som hade utformats för att verka som artificiella rev var den biologiska mångfalden låg första året. Organism massan bestod i huvudsak av *Riftia pachytila* (ringmask art) och rankfotingar. Andra året skedde större förändringar och artkompositionen som trädde fram på fundamenten liknade de som naturligt förekom på hårda bottnar längs Sveriges västkust. Ytterligare sågs ingen större minskning av fiskarter vilket tidigare har studerats vid installation av komplexa strukturer i havet. Det som i stora drag visades var att vågkraftsanläggningar kan verka som nytt habitat för organismer som naturligt förekommer på hårda bottnar. Det motsatta gäller fiskarter och ryggradslösa djur eftersom introduktionen av nya komplexa strukturer kan leda till bestånden minskar. Rapporten drar slutsatsen att den övervägande påverkan på den marina faunan verkar bli positiv. De grundar sig i att stora delar av de marina habitaterna är redan allvarligt förstörda. Biofoulingen på bojarna bestod till stor del av blåmusslor. Resultatet visade på att biofoulingen var för liten för att grovt minska bojevågkraftsverkens energiproduktion och därmed verkningsgrad. Minskningen av energiproduktion som biofouling ledde till var runt 5 %. (80)

4.4. Vågkraftens fysiska interaktion med djur och den kringliggande miljön

Installationer av vågkraftsverk har antagits leda till att flyttfåglar och födosökande havsfåglar attraheras av anläggningarna. (81) En möjlighet är att fåglar som lever vid kuster och på klippor vid havet kan börja bygga bo och bosätta sig på vågkraftsverken.(82)(83) I tuffa havsklimat kan marina däggdjur kollidera och trassla sig in i vågkraftsverken. Vid större vågkraftsanläggningar kan bestående av ett flertal enheter existerar ytterligare risker att djurs beteenden förändras ytterligare. Det genom att havsdjurs emigreringsrutter riskeras att påverkas.(84) Därutöver kan vågkraftsanläggningar vid kuster och flodmynningar komma att förhindra vattenflödet vid dessa. Effekter av förhindringen av vattenflödet kan resultera i minskat vattenomlopp, ökad turbiditet i vattnet och lägre halter av salt. Effekter av denna typ kan därmed leda till att fiskbestånd minskar eller dör. Fiskbestånd som är vital föda för fåglar och däggdjur i dessa områden och därmed leder det till effekter som påverkar djur högre upp i näringskedjan.(85)

4.5. Hur vågkraftsverk kan förändra transporten av sediment och vad det kan innebära för miljön

En marin miljöaspekt som vidare behöver analyseras är hur en förändring i vågklimatet som uppkommer genom att vågkraftsverk absorberar vågenergin. Analyser kring hur lägre energi i vågorna i ett område påverkar transporten av sediment och kusterosionen.(86) Transporten av sediment som är rörelsen av partiklar av olika storlek som drivs av skjuvspänningar som uppkommer av vågor och strömmar i kustklimat. Partiklarna är av varierande slag och kan ursprungligen komma från oorganiska och organiska källor. Det är vattenrörelsen i ett område som skapar sjöbottens och kustregionernas arkitektur och hur de bentiska organismerna utbreder sig. Sediment förändringar i ett område kan påverka organismer i flera led. Forskning har till exempel visat att sedimentförändringar har verkan på organismer som lever bland rev. (87) Kustförhållanden som är beroende av vattnets grumlighet kan ändra livsförhållandena om sedimentrörelsen minskar eller ökar i det berörda området. Förändring av förhållandena kan leda till att förutsättningarna för bentiska arter och alger förändras i områdena eftersom dessa är i vissa fall beroende av vatten grumligheten för att frodas.(88) Den vetenskapliga artikeln ”The impacts of wave energy conversion on coastal morphodynamics” (2019) sammanställde ett flertal aktuella forskningsrapporter vågkraftsverk påverkar kustmiljön. De kunde dra slutsatsen att

sedimentrörelsen minskade på grund av att vågornas energi minskade med installationen av vågkraftsverk.(89) Modeller av hur sediment flödet påverkas i områden är utmanande att genomföra. Det beror på att information om sediment i områden ofta är begränsad eftersom analyser inom ämnet inte tidigare har behövts göras. Naturligt varierar sediment flödet rumsligt med tiden vilket ökar komplexiteten ytterligare.(90) En annan aspekt som förflyttning av sediment bidrar till är kusterosion. Erosionen vid kuster sker till stor del på grund av att sediment förflyttas. Huvudfaktorer bakom förflyttningen är stormar, starka vågor, tidsvatten, översvämningar och mänsklig aktivitet. Utav dessa faktorer är vågor en stor bidragande faktor till inträffandet av kusterosion. Det har gjort att forskning idag har börjat undersöka hur vågkraftsverk kan användas för att påverka erosionen och hur de påverkar kustmorfologin. Flertalet studier visar på att vågkraftsverk inte påverkar kustmorfologin negativt, samtidigt kan vågkraftsverk leda till en minskning av kusterosion. Det är viktigt att poängtera att avståndet mellan anläggningar och avståndet mellan anläggning och kust är två viktiga faktorer, parallellt är vågkraftsverkets utformning en tredje viktig faktor för att kunna positivt påverka kust erosionen. Enligt artikeln ”The impacts of wave energy conversion on coastal morphodynamics” (publicerad 2020 i ”Science of The Total Environment”) berättas det att forskning som studerar hur nyttjandet av vågkraftsverk påverkar kustmorfologi och kusterosion idag har en del brister eller mister helhetsbilden. De påpekar att en del studier går in med inställningen att bevisa att vågkraftsverk kan minska kusterosionen. Ytterligare tillägger de otydligheter kring om optimala utformningen för energiutvinning är optimala platsen för minskning av kusterosion. De påpekar att studiernas utförande period varar i allmänhet i ett år. Det skapar problematik genom att vågkraftsverk i stora drag är designade för att producera el i 25 år. Därmed ger inte en ett års studie informationen av följderna vågkraftsverk skulle komma att ha på kusterosionen över sin livstid.(91) Slutligen är morfologiska tillstånd och hur vågkraftsverk påverkar dessa platsberoende och i nuläget har majoriteten av studierna inom området utförts i Europa vilket gör att ytterligare studier behöver genomföras på andra vågenergitäta kuster på jorden som befinner sig utanför Europa.(92)(93)

5. Diskussion och Analys

5.1. De fem typerna av vågkraft

I studien har fokus legat på att få en bild av vilka vågkraftsmetoder som idag utforskas och används för att producera användbar förnybar energi. Studien har studerat fem olika konstruktionsmetoder vars principer har varierat i viss grad. Samtidigt har de varit i olika faser av sin utveckling. Den empiriska testningen och den kommersiella produktionen har varierat. En möjlighet till att variationer existerar är att ämnet vågkraft inte är färdig studerat och att utvecklingspotentialen kan vara stor. Liknande mönster uppstår vid studerandet av de metoder som lyckats övergå mot den kommersiella energimarknaden. Pelamis(attenuator metoden), Wave Dragon (överskölningsmetoden), Oyster(inverterad pendel) och Wave Roller (inverterad pendel) är alla konstruktioner som har gått mot kommersiell produktion. En faktor att räkna in är att båda företagen Pelamis och Oyster inte lyckats ta sig in på marknaden. Det har medfört att båda företagen bakom dessa modeller fick byta äganderätt och göra omstruktureringar. Rapporten har inte studerat företagets utveckling, ekonomi och marknad därav går det inte att avgöra varför två av företagen inte omstrukturerat och två har gjort det. Oavsett den ekonomiska bakgrunden är företagens modeller av olika vågkraftsmetoder som tagits från koncept till prototyp eller fullskalig modell. De har lyckats producera el med relativt lika värden (pneumatisk eller hydrodynamisk verkningsgrad), vilket överskådligt indikerar att en klar fördelaktig metod inte existerar.

Vågkraft är en relativ ny teknik som behöver mer utveckling och studier för att bli gångbar. Teknik utvecklas när företag går framåt och försöker gå från koncept- och utvecklingsstadium till fullskalig kommersiell produktion. I utvecklingen är det viktigt att förstå vilka aspekter som gör de olika modellerna gångbara. Det görs genom att vissa företag går i konkurs och att andra fortsätter utvecklas.

Resultatet visade på att det inte finns någon större skillnad i hur bra de olika metoderna presterar gällande hydrodynamisk verkningsgrad och pneumatisk verkningsgrad vid liknande vågfrontars energipotential. Det är en faktor som pekar mot att antingen är tekniken ny eller presterar metoderna lika vad gäller energiproduktion. Potentiellt betyder det att ett flertal metoder är lämpliga och att valet bakom anläggningsenhet grundar sig i andra bakomliggande beslut. Faktum är att

hydrodynamisk verkningsgrad eller pneumatisk verkningsgrad berättar endast om prestationen av ett kraftverks energiproduktion. Parametrarna visar varken en anläggnings totala kostnad (produktions-, installations- och underhållskostnad) eller den energin som går åt vid produktionen av ett vågkraftsverk. Både totalkostnad och energiåtgång vid produktion är två viktiga faktorer vid val av kraftverkstyp. En ytterligare aspekt av intresse vid evaluering av optimal metod är spannet av vågförhållanden som metoderna är kapabla att producera energi i. Spannet är viktigt eftersom en anläggning som klarar av att producera energi i flera olika vågförhållanden minskar sitt beroende av vädret. Således blir enheten mindre intermitterent. Vågkraftsverk kommer alltid att vara en intermitterent energikälla. Det bygger på att olika vågförhållanden innehåller olika mängder energi och av energin som vågorna innehåller kan endast en viss procent nyttjas.

En sista intressant del att studera vid jämförelser av metoder är att undersöka vilka anläggningstyper som går att kombinera med andra havskonstruktioner som i exemplet att vågbrytare integrerar vågkraftsmetoden oscillerande vattenkolumn. Att integrera system skulle resultera till fler tillämpningsområden inom vågkraftsverk. Samtidigt innebär det att kostnaden för anläggningen blir buren av två funktionaliteter eller anläggningar. En problematik som kan uppstå med integrerande system kan skapa en konflikt mellan de två systemens funktioner. En friktion som kan uppkomma är att designen inte är optimal för någon av funktionerna. Därutöver kan disharmonier uppstå vid val av plats för ett integrerat system. Det är inte garanterat att de båda systemen har optimal verkan på samma plats och position. Integration av systemen skulle troligen driva till mer komplexa strukturer vilket sannolikt driver kostnaden uppåt. Konflikter som uppstår på grund av parametrarna kostnad, plats och design är något som måste studeras djupare och mer noggrant. En mer grundlig inblick i ett sådant system skulle medföra bättre förståelse av ett integrerat systems möjligheter och svårigheter. Det går inte att förneka att vågkraft har en del svårigheter. Samtidigt öppnar vågkraft upp ytterligare möjligheter att alstra förnybar energi. Om utvecklingen fortsätter framåt kan vågkraft på vissa platser i världen bli ett lovande komplement till sol- och vindkraft. Parallellt som vågkraft förhoppningsvis hjälper till att minska användningen av fossil energi.

5.2. Fåglars påverkan

Informationen om vågkraft och fåglar är tvetydig och ej omfattande. Att fåglar bosätter sig på vissa typer av vågkraftsverk behöver inte vara negativt. Förutsatt att anläggningar eller fåglarna inte blir

skadade. Vidare är vindkraftverk ett kraftslag som är utbrett och hur vindkraft påverkar fåglar bör i vissa fall kunna ge en indikation på samspelet mellan vågkraft och fåglar. Det kan finnas kunskap att inhämta av de studier som gjorts på interferensen mellan vindkraftsverk och fåglar.

5.3. Vågkraft som habitat för den bentiska faunan

Utformningen av vågkraft kommer leda till avsiktliga och oavsiktliga påverkningar i havet. Ett möjligt scenario är att integrera ett artificiellt rev i konstruktionen med avsikt att berika den bentiska faunan i ett område. En fördel som vågkraft verkar besitta är att den kan utformas till att bli multifunktionell. Vid utformning av fundamentet till ett artificiellt rev är det troligt att denna fauna inte skulle påverka energiproduktionen. Det avser endast om fundamentet inte är en del av konstruktionens energiproduktion. Samtidigt behövs det först undersöka om utformningen av rev går att uppnå utan att arter hamnar i kläm. Alltså att det artificiella revet inte minskar den marina mångfalden utan bevarar denna. Det som projektet i Lysekil visade var att vid första året fanns det ingen större mångfald gällande faunan på det artificiella revet. Medan efter två år började fler bentiska arter etablera sig och bosätta sig på vågkraftsverkets artificiella rev. Det gjorde att faunan började motsvara den bentiska fauna som finns längs den svenska västkusten. Det tyder på att artificiella rev kan uppnå sitt syfte i att berika faunan i ett område. Samtidigt sträcker sig resultaten endast över en två årsperiod. I fallet av oscillerande vattenkolumn där livslängden är uppemot 25 år är två år en bråkdel. Här skulle längre tidsstudier behöva göras för att förstå hur den organiska livsmassan varierar på de artificiella reven över en större tidsperiod. Förhoppningsvis skulle informationen kunna fastställa att livsmassan är fortsatt likt den som finns på vald studerad plats. Lysekilprojektet studerade fundament till punktabsorberande bojar och inte oscillerande vattenkolumner. Skillnaden av vågkraftsmetoder bör inte påverka slutsatser kring hur vågkraft kan användas som artificiella rev så länge som de kan integrera liknande artificiella rev. Mer troligt är att platsens flora och faunas känslighet kan komma att påverka slutsatserna. Eftersom klimatet och miljön varierar stort på olika platser på jorden, vilket medför att resultat från en plats inte alltid är representativt för andra platser. Lysekil projektet visar att längs Sveriges västkust och andra kuster med liknande miljö kan dra nytta av integrerade artificiella rev på vågkraftsverk. Vidare ger det en indikation på att vågkraftsverk vid korrekt utformning kan nyttjas på ett sätt som berikar ett områdes fauna och flora. Samtidigt öppnar det upp för att fortsätta undersöka andra aspekter av vågkraft som artificiella rev. Bojmetoden har visats kunna kombineras och verka som ett artificiellt rev utan för stora inskränkningar på energi produktionen.

5.4. Biofouling och vågkraftsverk

Biofouling är ett fenomen som kommer uppstå på enheter oavsett om den är avsiktlig eller inte. Det hade varit optimalt om utformningen av vågkraftsverk hade gjorts med avseende att uppnå symbios mellan havshabitat och kraftverk utan att inskränka på andra viktiga funktioner. Oavsett behöver viss beräkning med avseende på biofouling göras. Av den orsaken att ovälkommen biofouling kan skada anläggningar eller minska deras effektivitet. I Lysekils projektet beskrevs det att biofoulingen som angrep bojarna inte var av större skada. Studien berättar inte hur biofoulingen kan eller kommer skada vågkraftsverk som är i drift över en längre tidsperiod. Studien behandlar endast bojkonstruktionen på den svenska västkusten och frågetecknen om andra marina miljöer existerar därefter. Det är inte omöjligt att biofouling på andra platser med annan flora och fauna gör större skada jämfört med blåmusslor på västkusten. Hur andra konstruktioner av vågkraftsverk svarar mot eller påverkas av biofouling är ett område som inte beskrivs i rapporten. Alltså rapporten kan inte presentera svar på om biofouling är ofarligt för andra konstruktioner. Istället går det att konstatera att biofouling på vågkraftsverk kommer med sannolikhet att inträffa. Hur allvarliga komplikationer som biofouling medför är för svårt att svara på. Troligt är att svaren på frågan är plats- och konstruktionsberoende. I fall där biofouling skadar vågkraftsverk kan motverkande metoder behövas utvecklas. En annan aspekt som kan vara viktig i sammanhanget är att undersöka om biofouling kan leda till invasivitet. Alltså hur mycket kan förutsättningarna för arter ändras utan att den naturliga balansen rubbas.

5.5. Elektromagnetiskafälts inverkan på marina djur

I det som studien hittat kring elektromagnetiska fält tyder mycket på att marina djur påverkas av fälten. Speciellt hajar och rockor som är extra känsliga för elektromagnetiska fält kan hamna i kläm. Det är oroväckande att inte fler empiriska studier har gjorts på just elektromagnetiska fälts inverkan och hur effekten kan förebyggas. Ämnet kan komma att behövas undersökas djupare. Synnerligen om vågkraft blir en kommersiell energiproducerande metod.

Idag finns information som verkar tyda på att kablar blivit attackerad av djur. Således finns en sannolikhet att djurs beteenden redan förändrats av mänskligt framställda elektromagnetiska fält. Avsaknaden av en konsensus i ämnet är som sagt oroande. Särskilt är ämnet oroande om utbyggnaden av vågkraftsverk leder till att mängden kablar i havet ökar. Resulterar det tillika stora

effekter som finns idag på grund av elektromagnetiska fält eller skapar det inskränkningar i djurs beteendemönster? Troligt är att inverkan av elektromagnetiska fält ökar eftersom fler kablar betyder fler magnetiska fält som kan inducera elektriska fält i samverkan med hav eller andra djur.

Fortsatt är det av intresse att studera och analysera hur djurs beteendeförändringar förhåller sig till antalet kablar. Om beteendeförändringar uppstår behöver dessa analyseras och inte bara konstateras. Eftersom en beteende förändring hos vissa arter kanske skulle kunna leda till kedjeeffekter som påverkar andra arter som inte använder elektromagnetiska fält. Ett exempel är hur faunan och floran påverkas i ett havsområde om rovdjur som förlitar sig på elektriska fält vid lokalisering av byten blir störda av kablars elektromagnetiska fält. Frågor som dessa blir mer betydelsefulla när stora områden blir utbyggda med vågkraftsverk som använder sig av kablar för att transportera el. Därmed bör diskussionen öppnas upp om alternativa sätt att transportera energi från vågkraft till land. I alla fall kring de vågkraftsverk som verkar till havs och inte de som är anlagda på land. En modell som inte använder sig av kablar är Wave Roller. Istället används en hydraulisk lösning. En hydraulisk lösning för att transportera energi ger inte upphov till elektromagnetiska fält. Samtidigt betyder det inte att andra vågkraftsmetoder kan använda sig av en hydraulisk energitransports lösning. Eftersom en del fakta implicerar att elektromagnetiska fält påverkar djurs handlingsätt är det intressant att studera alternativ till havskablar. Ett annat alternativ är att gräva ner kablarna tillräckligt djupt. Med det menas att kablar är placerade under havsbotten på ett avstånd till botten som minimera risken för att djurs beteende störs. Samtidigt är ingrepp på sjöbotten inte komplikationsfritt. Både den bentiska fauna som lever på sjöbotten och sediment flödet kan komma att påverkas. Därav behövs en analys och avvägning göras mellan de två scenariorna. Alltså vad rubbar miljön mest ett kraftigare magnetiskt fält eller ett större ingrepp på havsbotten.

5.6. Mänskligt skapade ljud från vågkraftsverk i haven

Studier visar på att onaturliga ljud i havet kan leda till beteende förändringar hos djur. Samtidigt existerar inte empiriska studier i tillräckligt stor utsträckning för att påstå detta utan tvivel. Det som finns är experiment utförda i laboratoriemiljö. Med utgångspunkt från dessa experiment kan indikationer ges av hur djur påverkas. Inget går att fastslå eftersom laboratoriemiljöer inte är som havet. En skillnad är att laboratoriemiljöer är mer kontrollerade och havet är okontrollerbart. Händelser och olika ljud uppstår okontrollerat. Det vill säga att havet innehåller ett brett frekvensspektrum av ljud. En annan faktor är att havet och laboratoriemiljöer troligen innehåller

olika stressorer. Det medför ytterligare svårigheter i bedömningen av hur djur påverkas i havet av turbinljud. Oavsett om turbinljud påverkar djur eller inte är det mer troligt att dessa har en större påverkan jämfört med andra ljud som uppkommer av vågkraftsverk. Med de andra ljuden menas ljud som uppkommer av ett kraftverks rörelse eller att vågor väller över verken. Det beror på att turbiner inte förekommer naturligt i havet eller på land. Därav är ljuden som frigörs både artificiella och tillkomster av människans havsexploatering. Det går att argumentera att ljuden som uppkommer av vågor mot vågkraftsverk ger upphov till mänskligt ditsatta ljud eftersom anläggningarna inte naturligt förekommer i haven. Skillnaden blir att ljuden som uppkommer i interferensen mellan vågkraftsverk och havsvågor kan likna de som uppkommer i samspelet mellan naturligt förekommande objekt i havet och vågor. Närmare går det inte att diskutera om fallet eftersom aspekter som materialval och anläggningens geometri skulle kunna avgöra vilka ljud som frigets i samverkan mellan havets rörelse och anläggningar.

En annan faktor som sannolikt påverkar om ljuden kan uppfattas som störande är miljön. En plats som redan har ett vitt frekvensspektrum av höga ljud kanske inte påverkas lika mycket. Rimligen finns skillnader på hur anläggningarnas ljud påverkar omgivningen vid kuster och ute till havs. Med till havs menas en plats där havet inte samspekar med andra objekt (klippor, stenar och kustlinjer). Paralleller mellan hav och land borde i viss utsträckning gå att göra. Ett exempel är att på land skulle introduktionen av främmande ljud förmodligen frambringa större effekter i en skog jämfört med i en öken. Därav bör de mänskliga ljuden inverka olika beroende på vart i havet som ljuden breder ut sig. Att introducera nya ljud och objekt i havet är ingenting nytt. Människan har byggt och använt både vågbrytare och hamnar. Båda konstruktionerna avger passivt ljud. Alltså ljud som uppkommer när vågor kolliderar med en konstruktion. Hamnar som dessutom trafikeras dagligen av massiva fraktfartyg som avger både ljud i kollisioner med vågor och genom en motor. Dessa konstruktioner är inte fullt likvärdiga med en vågkraftsanläggning. Eftersom en vågkraftsanläggning skulle ta upp stora områden på kuster, nära kuster och långt ifrån kuster. Dessutom är vågkraftsverk fixa till en specifik plats och vid denna plats avger de ljud av olika natur. Information från hamn- och vågbrytarområden kan samtidigt ge en fingervisning på hur mänskliga ljud påverkar marina organismer. Möjligen skulle datan kunna berätta om ljuden är av stor oro. Ett sista område angående vågkraftsverk och deras ljud är den hypotetiska möjlighet att ljuden lockar till sig marina djur. Trots att effekterna må leda till biologisk mångfald finns en annan sida. Ljud från vågkraftsverk som lockar till djur interfererar med de marina djurens beteendemönster. Det betyder att vågkraftsverken lockar till sig de djur som uppskattar ljud från vågkraft. Innebär det att

ljuden att en biologisk mångfald skapas eller betyder det att djur från en plats flyttar till en annan. Oavsett betydelse behövs fakta om hur ljud från vågkraftsverk interferera med marina djur. Det grundar sig i att följande scenarion har presenterats i rapporten ljud från vågkraft lockar till sig djur, skrämmer bort djur eller stör djurs beteendemönster. Att alla tre scenarion kan uppstå är inte omöjligt. Däremot behövs en förståelse för vilka marina djur som påverkas, hur de olika djuren påverkas och vilka ljud som påverkar vilka djur.

5.7. Transport av sediment

I rapporten har transportförändringar av sediment tagits upp som något vågkraftsanläggningar kan bidra med. Informationen som idag existerar och som rapporten innehåller saknar enhetlig information. Att faktan som finns saknar enighet är ett fenomen som många vågkrafts berörda miljöområden delar. Det kan troligen förklaras av att vågkraft är en relativt ny energiform som inte blivit kommersiell i någon större utsträckning. Naturligt leder den utspridda avsaknaden av vågkraftsverk till svårigheter att utföra empiriska studier. Det som kan anses som oroligt är att studier som handlar om transport av sediment och kusterosion går in med en inställning av att bevisa minskad kusterosion vid installation av vågkraftsverk. För det första är det ingen bra vetenskaplig metodik. Forskning med en agenda kan leda till att studier i området förlorar förtroende. Eftersom informationen blir felaktig då den bygger på fel grunder från början. För det andra kan ett sådant förhållningssätt leda till att andra viktiga faktorer missas. Parametrar som är av större påverkan eller skada jämfört med de kusterosion leder till. Istället bör inställningen vara att undersöka vilken inverkan vågkraftsverk har på kusterosionen. I alla fall presenterar forskning ett avstånd mellan anläggningar och sträckan från kraftverk till kust är två faktorer som påverkar vågklimatet i ett område. Samtidigt nämner källorna inte hur anläggningar ska placeras för att minimera eller maximera ändring i vågklimatet. Det samma gäller vid angivandet av att form på anläggningar är ett element som avgör hur vågkraftsverk inverkar på vågklimatet. I sin tur medför det svårigheter att tyda och förstå ämnet djupare. Eftersom betydelsen av informationen saknar tydlig data eller referensgrunder. Studier angående transport av sediment och kusterosion kan komma att behöva bygga upp en konsensus för vad som är kustberoende förhållanden och vad som inte är det. Det som menas är vilka faktorer som kan med god approximation antas vara platsberoende vid diskussion av ämnet transport av sediment och vågkraft. Orsaken är att tydliga ramar skapas för hur vågkraft generellt påverkar sediment flödet och därefter kan tid läggas på platsspecifika faktorer. Samtidigt kan det vara svårt att bilda en konsensus inom området när de

flesta studier som utförts berör Europa, vilket sannolikt inte är representativt för världens alla kuster. För det sista beträffande frågan vågkraft och transport av sediment kan det vara lämpligt att börja studera hur de olika vågkraftsmetodernas verkar separat. Det beror på att formen på vågkraftsverken och mellanrummen mellan anläggningarna påverkar hur vågklimatet förändras. Därmed är det intressant att undersöka olika vågkraftsverks effekter inom ämnet vågklimat och sedimenttransport. Speciellt när vågkraftsmetoder kan vara allt från flytande, bottenfasta och på kust liggande enheter. Samtidigt som deras geometrier varierar stort.

5.8. Generellt om informationen som rapporten behandlar

I ovanstående stycken har varje aspekt diskuterats enskilt. Tillsammans har de presenterat en övergripelig bild av hur varje enskilt område kan interferera med havshabitaten. Komplexiteten ökar när de olika områdenas problematik eller effekter sammanflätas. Det beror på att när effekterna läggs ihop behöver inte den sammanlagda påverkan vara lika med summan av de olika miljöeffekterna. Det grundar sig i att faktorer påverkar miljön likartat eller helt frångående. Det är inte omöjligt att oberoende miljöeffekts faktorer minskar varandras effekter. Motsatsen är också möjlig. Följaktligen betyder det att effekterna amplifieras. Eftersom studien inte har någon fakta om hur de förhåller sig till varandra går det inte att besvara.

Ett genomgripande problem med informationen som används i rapporten är dess innehåll ofta är tvetydig. En stor del av faktan var antaganden och nästan ingen information hade empiriska grunder. Anledningen verkar ofta grunda sig i att många av ämnena är svåra att tyda och undersöka empiriskt. Ett ytterligare genomgående tema i informationen är att det sällan görs skillnader mellan vågkraftsverk. Följden blir att missuppfattningar kan uppstå eller att informationen blir svårtydd för personer som inte är insatta i ämnet. Generellt hade ett tydligare resultat presenterats om informationen angav vilka typer av vågkraftsmodeller som bidrog med vilka miljöeffekter. Således hade det blivit lättare att förstå hur effekterna kan förbyggas. I rapporten har en generell bild målats upp av vågenergi och inga jämförelser mellan vågkraft och andra energislag har gjorts. En jämförelse mellan energislag hade givit en referensram. Speciellt vid analyser av miljöpåverkan och energiproduktions prestationen (verkningsgrad). Det hade givit en förståelse för hur allvarliga vågkraftens miljöeffekterna är jämfört med andra energislag. Samtidigt hade prestationsjämförelser givit en förståelse för hur kommersiellt möjlig vågkraft är. Rapportens information bidrar med en

övergripande bild av vad vågkraft är och hur havsexploatering kan påverka den marina miljön. Det i sig medför ett ramverk för vågkraftsverk och dess miljöeffekter.

5.9. Sammanställning av vågkraftsverk och deras miljöpåverkan

- Vågkraftsverk som introducerar ljud i havet bör beröra främst de som är lokaliserade till havs. Det betyder att metoderna punktabsorberare, offshore vågöversköljningsanläggning, attenuator, offshore oscillerande vattenkolumnssystem och inverterad pendel är de metoder som främst kommer introducera ljud i havet. Av dessa metoder kommer turbinljud att introduceras av offshore vågöversköljningsanläggning och offshore oscillerande vattenkolumn system.
- De elektromagnetiska fälten som introduceras i havet kommer att ske av anläggningar som producerar elektricitet till havs och kommer använda en kabel för att föra energin i land. Det gör att metoderna som introducerar elektromagnetiska fält ut i den marina miljö inte är anläggningar som befinner sig på land eller använder sig av annan teknisk lösning för att transportera energin. Det gör att metoderna som troligen kommer inducera elektromagnetiska fält är punktabsorberare, offshore vågöversköljningsanläggning, attenuator och offshore oscillerande vattenkolumnssystem.
- Biofouling kommer att ske på de delar av anläggningar som befinner sig i havet. Vilket betyder att majoriteten av anläggningarna kommer utsättas för biofouling på ett eller annat sätt. Delar av vågkraftsverk som inte kommer angripas är exempelvis delar som befinner sig i konstant kraftig rörelse. I det menas att turbinblad som frekvent roterar inte kommer angripas, samtidigt betyder det inte att metoder som använder sig av turbiner inte kommer utsättas för biofouling. Därmed bör alla metoders delar som inte rör sig extremt mycket och är i belägna i havsvatten bli en angreppspunkt för biofouling.
- Benthisk fauna lär bli berörd av alla metoder som gör ingrepp i sjöbotten vid installation. Intuitivt innefattar det alla metoder eftersom de som är belägna offshore behöver fästas i havsbotten för att inte flyta iväg och de som är onshore kommer troligen göra ingrepp på sjöbotten nära kusterna vid installationen.
- Transporten av sediment och kusterosionen påverkas främst om vågklimatet i ett område förändras. Vågkraftverks funktion absorbera energi från vågorna vilket kan förändra vågklimatet. Av de vågkraftsverk som studerats bör de som är belägna ute tillhavs vara de metoder som med störst sannolikhet påverkar vågklimatet och därmed ha en inverkan på transporten av sediment

och kusterosion. Dessa är punktabsorberare, offshore överskölningsanläggningar, attenuator, offshore oscillerande vattenkolumn och inverterad pendel. De övriga metoderna, som är belägna på land längs kuster, är svårare att avgöra om de kommer att påverka vågklimatet. Svårigheten ligger i att arbetet inte innehåller information om hur vågklimatet påverkas om vågenergin absorberas av anläggningar på kuster istället för ute till havs.

6. Konklusioner

Det har visat sig att energi och elektricitet går att producera genom att använda sig av vågkraftsverk och att ett flertal metoder är möjliga. Resultatet har visat på relativt lika verkningsgrader mellan olika anläggningstyper. Därmed har det presenterats att energi från vågor går att absorbera och transformera till användbar energi. Energiproduktion har visat sig vara möjlig att göra på alla fem principer.

Det har framkommit att vågkraftsverk kommer påverka den kringliggande miljön. Beroende på typ kommer olika mänskliga påverkningar introduceras i havet. Vågkraft kommer introducera ljud, elektromagnetiska fält, påverka vågklimatet och nya habitat. Det har inte fastställts i vilken utsträckning som vågkraftsverk kommer påverka den marina miljön och om effekterna är allvarliga. Vidare behöver det fastställas med precision vilka vågkraftstyper som resulterar till vilka miljöeffekter och vad effekterna innebär för den marina miljön.

Vågkraft kommer att påverka den kringliggande miljön och ett flertal orosområden har presenterats i rapporten. Alla är av lika stor relevans eftersom ingen konsensus existerar i något av ämnena. Viktigt är att fortsätta studera områdena och presentera upptäckterna.

Rapporten har inte fastställt hur ekonomiskt eller konkurrenskraftiga vågkraftsverk är. Därmed är det intressant att genomföra studier där olika vågkraftsmetoder jämförs med konventionella energiproducerande anläggningar (kolkraftverk, vindkraftverk, vattenkraft och kärnkraft).

I rapportens diskussion togs det upp att information som handlar om vågkraftsverks miljöpåverkan ofta klumpas ihop vågkraftsmetoderna. Det uppfyller sitt syfte och ger en grund för vilka effekter vågkraft generellt kan ge upphov till. Nästa steg blir att studera de olika vågkraftsmodellernas miljöeffekter var för sig.

Studiens syfte har inte varit att göra en livscykelanalys av vågkraftsverk. Däremot har olika typer av vågkraftsverksmetoder undersökts. I resultatet har det framkommit att idag finns det ett flertal företag som försöker producera och sälja vågkraftsverk. Därmed är det i framtida studier intressant

att göra livscykelanalyser på de olika vågkraftsmodellerna. Samtidigt är det intressant att jämföra vågkraftsanläggningars livscykelanalyser med konventionella kraftverks livscykelanalyser.

En frågeställning som hade varit intressant att utforska är vågkraftens utbredningsmöjligheter och potential. Teknisk information av vågkraftsverk jämförs med till exempel vindkraftsverk. Parallellt med att rapporten innehåller intervjuer med sakkunniga forskare och med vågkraftsföretag. Syftet med intervjuerna hade varit att få en djupare bild av vågkraftsverk och en potentiell bedömning av sakkunniga i området.

Vågkraft är en förnybar energikälla som under sin energiproducerande livstid inte bidrar med avgaser. Däremot sker utsläpp kopplade till vågkraftsanläggningar under tillverkningsprocessen. Därmed är det intressant i framtida arbeten att kalkylera hur mycket utsläpp som är förankrat per kW producerad energi från ett vågkraftsverk. Där utsläpp per kW är beroende av hur länge ett vågkraftsverk är i drift. Därefter kan kalkylerna jämföras med liknande parameter från annat energislag. Det ger ytterligare en parameter och en möjlighet att evaluera hur bra vågkraften är som energikälla.

7. Referenslista

1. IVA. Sveriges framtida elproduktion - En delrapport - IVA-projektet Vägval el: Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA); 2016. ISBN: 978-91-7082-910-9.
2. Naturvårdsverket. Koldioxidneutralt EU 2050 kräver skärpta mål 2030 [Internet]. Stockholm: Naturvårdsverket; 2020 [uppdaterad 2020-04-09; citerad 2020-11-03]. Hämtad från: <https://www.naturvardsverket.se/Nyheter-och-pressmeddelanden/Koldioxidneutralt-EU-2050-kraver-skarpta-mal-2030/>
3. Waters R. Energy from Ocean Waves: Full Scale Experimental Verification of a Wave Energy Converter [doktorsavhandling på Internet]. Uppsala: Uppsalas Universitet; 2008 [citerad 2020-11-03] Hämtad från: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:172943/FULLTEXT01.pdf>
4. ScienceDirect [Internet]. ScienceDirect; c2020-.[citerad 2020-11-03]. Hämtad från: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/wave-power>
5. Hammar L. Will Ocean Energy Harm Marine Ecosystems? [Internet]. Göteborg: Chalmers University of Technology; okänt [citerad 2020-11-4]. Hämtad från: http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/210512/local_210512.pdf
6. Samad A, Suchithra R. Sustainable Fuel Technologies Handbook[Internet] Chennai: Academic Press; 2020. Kapitel 8, Marine power technology—wave energy; s. 241-67. Hämtad från: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128229897000093?via%3Dihub>
7. Ibid
8. Samad A, Suchithra R. Sustainable Fuel Technologies Handbook[Internet] Chennai: Academic Press; 2020. Kapitel 8, Marine power technology—wave energy; s. 241-67. Hämtad från: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128229897000093?via%3Dihub>
9. Waters R. Energy from Ocean Waves: Full Scale Experimental Verification of a Wave Energy Converter [doktorsavhandling på Internet]. Uppsala: Uppsalas Universitet; 2008 [citerad 2020-11-03] Hämtad från: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:172943/FULLTEXT01.pdf>
10. Ibid
11. Ibid
12. Ibid

13. Samad A, Suchithra R. Sustainable Fuel Technologies Handbook[Internet] Chennai: Academic Press; 2020. Kapitel 8, Marine power technology—wave energy; s. 241-67. Hämtad från: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128229897000093?via%3Dihub>
14. M. Prado M, Polinder H. Electrical Drives for Direct Drive Renewable Energy Systems[Internet] Delft: Woodhead Publishing; 2013. Kapitel 8, Direct drive wave energy conversion systems: an introduction; s. 175-94. Hämtad från: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781845697839500080>
15. Waters R. Energy from Ocean Waves: Full Scale Experimental Verification of a Wave Energy Converter [doktorsavhandling på Internet]. Uppsala: Uppsalas Universitet; 2008 [citerad 2020-11-03] Hämtad från: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:172943/FULLTEXT01.pdf>
16. Ibid
17. Simon P. Neill, Reza Hashemi M. Fundamentals of Ocean Renewable Energy[Internet] Cambridge: Academic Press; 2018. Kapitel 5, Wave Energy. Hämtad från: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128104484000057>
18. Huai Zhao, Haicheng Zhang, Rengui Bi, Ru Xi, Daolin Xu, Qijia Shi, Bo Wu. Enhancing efficiency of a point absorber bistable wave energy converter under low wave excitations. Changsha, Jishou: Energy; 2020. 212. ISSN 0360-5442.
19. Ulazia A, Esnaola G, Serras P, Penalba M. On the impact of long-term wave trends on the geometry optimisation of oscillating water column wave energy converters. Eibra, Donostia, Plentzia, Bilbao, Arrasate: Energy; 2020. 206. ISSN 0360-5442.
20. Engström J. Hydrodynamic Modelling for a Point Absorbing Wave Energy Converter [doktorsavhandling på Internet]. Uppsala: Uppsalas Universitet; 2011 [citerad 2020-11-09]. Hämtad från: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:450881/FULLTEXT01.pdf>
21. Waters R. Energy from Ocean Waves: Full Scale Experimental Verification of a Wave Energy Converter [doktorsavhandling på Internet]. Uppsala: Uppsalas Universitet; 2008 [citerad 2020-11-03] Hämtad från: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:172943/FULLTEXT01.pdf>
22. Engström J. Hydrodynamic Modelling for a Point Absorbing Wave Energy Converter [doktorsavhandling på Internet]. Uppsala: Uppsalas Universitet; 2011 [citerad 2020-11-09]. Hämtad från: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:450881/FULLTEXT01.pdf>

23. Kolios A, Francesco Di Maio L, Wang L, Cui L, Sheng Q. Reliability assessment of point-absorber wave energy converters. Cranfield, Coventry, Tianjin, Harbin: Ocean Engineering; 2018. Volym 163. ISSN 0029-8018.
24. Wang L, Kolios A, Cui L, Sheng Q. Flexible multibody dynamics modelling of point-absorber wave energy converters. Coventry, Cranfield, Tianjin, Harbin: Renewable Energy; 2018. 127. ISSN 0960-1481.
25. Engström J. Hydrodynamic Modelling for a Point Absorbing Wave Energy Converter [doktorsavhandling på Internet]. Uppsala: Uppsalas Universitet; 2011 [citerad 2020-11-12]. Hämtad från: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:450881/FULLTEXT01.pdf>
26. F. de O. Falcão A, Wave energy utilization: A review of the technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2010; 14(3):899-918.
27. Wave Dragon. Waves are full of energy[Internet]. Köpenhamn: Wave Dragon; c2017[citerad 2020-11-12]. Hämtad från: <http://www.wavedragon.co.uk/about-us/>
28. Tedd J, Kofoed J. P, Knapp W, Friis-Madsen E, & Sørensen H. C. Proceedings of the 9th World Renewable Energy Congress : WREC IX, Florence, Italy, August 2006. Pergamon Press; 2006. s.1-6. ISBN 0080450563.
29. Wave Dragon. Technology [Internet]. Köpenhamn: Wave Dragon; okänt [citerad 2020-11-12]. Hämtad från: <http://www.wavedragon.net/specifications/>
30. Samad A, Suchithra R. Sustainable Fuel Technologies Handbook[Internet] Chennai: Academic Press; 2020. Kapitel 8, Marine power technology—wave energy;241-67. Hämtad från: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128229897000093?via%3Dihub>
31. Contestabile P, Crispino G, Di Lauro E, Ferrante V , Gisonni C, Vicinanza D. Overtopping breakwater for wave Energy Conversion: Review of state of art, recent advancements and what lies ahead. Renewable Energy. 2020;147(1):705-18.
32. Margheritini L, Vicinanza D, Frigaard P. SSG wave energy converter: Design, reliability and hydraulic performance of an innovative overtopping device. Renewable Energy. 2009; 34(5): 1371-80.
33. Ibid
34. Wave Dragon. Technology [Internet]. Köpenhamn: Wave Dragon; okänt [citerad 2020-11-12]. Hämtad från: <http://www.wavedragon.net/specifications/>
35. Ibid

36. Margheritini L, Vicinanza D, Frigaard P. SSG wave energy converter: Design, reliability and hydraulic performance of an innovative overtopping device. *Renewable Energy*. 2009; 34(5): 1371-80.
37. Guillou N, Chapalain G. Annual and seasonal variabilities in the performances of wave energy converters. *Energy*. 2018; 165 (del B):812-23.
38. Samad A, Suchithra R. Sustainable Fuel Technologies Handbook[Internet] Chennai: Academic Press; 2020. Kapitel 8, Marine power technology—wave energy;241-67. Hämtad från: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128229897000093?via%3Dihub>
39. Henderson R. Design, simulation, and testing of a novel hydraulic power take-off system for the Pelamis wave energy converter. *Renewable Energy*. 2006(2):271-83.
40. EMEC. Pelamis Wave Power[Internet]. Orkney: The European Marine Energy Centre (EMEC); c2020 [citerad 2020-11-13]. Hämtad från: <http://www.emec.org.uk/about-us/wave-clients/pelamis-wave-power/>
41. Guillou N, Chapalain G. Annual and seasonal variabilities in the performances of wave energy converters. *Energy*. 2018;165(del B):812-23.
42. EMEC. Pelamis Wave Power[Internet]. Orkney: The European Marine Energy Centre (EMEC); c2020 [citerad 2020-11-13]. Hämtad från: <http://www.emec.org.uk/about-us/wave-clients/pelamis-wave-power/>
43. Heath T. V. A review of oscillating water columns. *Royal Society*. 2012;370(1959):235-45.
44. F. de O. Falcão A, Wave energy utilization: A review of the technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010;14(3):899-918.
45. Heath T. V. A review of oscillating water columns. *Royal Society*. 2012;370(1959):235-45.
46. Ibid
47. F. de O. Falcão A, Wave energy utilization: A review of the technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010;14(3):899-918.
48. F.O. Falcão A, C.C. Henriques C.C J. The spring-like air compressibility effect in oscillating-water-column wave energy converters: Review and analyses. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019;112:483-98. ISSN 1364-0321.
49. F. de O. Falcão A, Wave energy utilization: A review of the technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010;14(3):899-918.
50. F.O. Falcão A, C.C. Henriques C.C J. The spring-like air compressibility effect in oscillating-water-column wave energy converters: Review and analyses. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019;112:483-98. ISSN 1364-0321.

51. F. de O. Falcão A, Wave energy utilization: A review of the technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010;14(3):899-918.
52. Ibid
53. EMEC. Aquamarine Power [Internet]. Orkney: The European Marine Energy Centre; c2020[citerad 2020-11-12]. Hämtad från: <http://www.emec.org.uk/about-us/wave-clients/aquamarine-power/>
54. Wave Roller. About Us [Internet]. Vanda: Wave Roller; okänt [Citerad 2020-11-13]. Hämtad från: http://aw-energy.com/about_us/#companyhistory
55. Aderinto T, Li H. Review on Power Performance and Efficiency of Wave Energy Converters. *Energies*. 2019;12(22):1-24.
56. Bhattacharyya R, McCormick M.E. Elsevier Ocean Engineering Series (Volym 6). Amsterdam: Elsevier; 2003. Kapitel 6, Environmental and Socioeconomic Implications; s. 57-68.
57. Kregting L, Elsäßer B. Numerical Modelling of Wave Energy Converters. Cambridge: Academic Press; 2016. Kapitel 15, Environmental Impact Assessment; s. 279-90. Hämtad från: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128032107000153>
58. Folkhälsomyndigheten, Om ljud och buller [Internet]. Stockholm: Folkhälsomyndigheten; 2019 [uppdaterades 2019-05-19; citerad 2020-12-26]. Hämtad från: <https://www.folkhalsomyndigheten.se/publicerat-material/publikationsarkiv/o/om-ljud-och-buller-/?pub=60517>
59. Kregting L, Elsäßer B. Numerical Modelling of Wave Energy Converters. Cambridge: Academic Press; 2016. Kapitel 15, Environmental Impact Assessment; s. 279-90. Hämtad från: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128032107000153>
60. Hammar L. Will Ocean Energy Harm Marine Ecosystems? [Internet]. Göteborg: Chalmers University of Technology; okänt [citerad 2020-11-4]. Hämtad från: http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/210512/local_210512.pdf
61. Kregting L, Elsäßer B. Numerical Modelling of Wave Energy Converters. Cambridge: Academic Press; 2016. Kapitel 15, Environmental Impact Assessment; s. 279-90. Hämtad från: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128032107000153>
62. Hammar L. Will Ocean Energy Harm Marine Ecosystems? [Internet]. Göteborg: Chalmers University of Technology; okänt [citerad 2020-11-4]. Hämtad från: http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/210512/local_210512.pdf

63. Kregting L, Elsäßer B. Numerical Modelling of Wave Energy Converters. Cambridge: Academic Press; 2016. Kapitel 15, Environmental Impact Assessment; s. 279-90. Hämtad från: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128032107000153>
64. Hammar L. Will Ocean Energy Harm Marine Ecosystems? [Internet]. Göteborg: Chalmers University of Technology; okänt [citerad 2020-11-4]. Hämtad från: http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/210512/local_210512.pdf
65. European Commission. Marine ecosystem impacts of wave energy installations[Internet]. Bristol: European Commission; 2010 [okänt; citerad 2020-11-19]. Hämtad från: https://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/194na3_en.pdf
66. Kregting L, Elsäßer B. Numerical Modelling of Wave Energy Converters. Cambridge: Academic Press; 2016. Kapitel 15, Environmental Impact Assessment; s. 279-90. Hämtad från: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128032107000153>
67. Boehlert G.W, Andrew B.G. ENVIRONMENTAL AND ECOLOGICAL EFFECTS OF OCEAN RENEWABLE ENERGY DEVELOPMENT: A Current Synthesis. Oceanography. 2010;23(2):68-81.
68. Ibid
69. Gill A. Offshore Renewable Energy: Ecological Implications of Generating Electricity in the Coastal Zone. Journal of Applied Ecology. 2005;42(4):605-15.
70. Näslund J, Bruteig I.E. Möjliga effekter på den marina miljön vid anläggning och drift av sjökabelanläggning i Hardangerfjorden[Internet]. Stockholm: AquaBiota; 2011.[citerad 2020-11-25]. Hämtad från: https://www.aquabiota.se/wp-content/uploads/ABWR_Notes_2011_2_Hardanger.pdf
71. Boehlert G.W, Andrew B.G. ENVIRONMENTAL AND ECOLOGICAL EFFECTS OF OCEAN RENEWABLE ENERGY DEVELOPMENT: A Current Synthesis. Oceanography. 2010;23(2):68-81.
72. Gill A. Offshore Renewable Energy: Ecological Implications of Generating Electricity in the Coastal Zone. Journal of Applied Ecology. 2005;42(4):605-15.
73. Boehlert G.W, Andrew B.G. ENVIRONMENTAL AND ECOLOGICAL EFFECTS OF OCEAN RENEWABLE ENERGY DEVELOPMENT: A Current Synthesis. Oceanography. 2010;23(2):68-81.
74. Gill A. Offshore Renewable Energy: Ecological Implications of Generating Electricity in the Coastal Zone. Journal of Applied Ecology. 2005;42(4):605-15.

75. Näslund J, Bruteig I.E. Möjliga effekter på den marina miljön vid anläggning och drift av sjökabelanläggning i Hardangerfjorden[Internet]. Stockholm: AquaBiota; 2011.[citerad 2020-11-25]. Hämtad från: https://www.aquabiota.se/wp-content/uploads/ABWR_Notes_2011_2_Hardanger.pdf
76. Boehlert G.W, Andrew B.G. ENVIRONMENTAL AND ECOLOGICAL EFFECTS OF OCEAN RENEWABLE ENERGY DEVELOPMENT: A Current Synthesis. Oceanography. 2010;23(2):68-81.
77. Bhattacharyya R, McCormick M.E. Elsevier Ocean Engineering Series (Volym 6). Amsterdam: Elsevier; 2003. Kapitel 6, Environmental and Socioeconomic Implications; s. 57-68.
78. Khare V, Nema S, Baredar P. Ocean Energy Modeling and Simulation with Big Data. Oxford: Butterworth-Heinemann; 2020. Kapitel 8, Ocean energy disinflation and the utility tradeoff; s. 269-92. Hämtad från: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128189047000083>
79. Langhamer O. Wave energy conversion and the marine environment [doktorsavhandling på Internet]. Uppsala: Uppsalas Universitet; 2009 [citerad 2020-11-26]. Hämtad från: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:228184/FULLTEXT01.pdf>
80. Ibid
81. Hammar L. Will Ocean Energy Harm Marine Ecosystems? [Internet]. Göteborg: Chalmers University of Technology; okänt [citerad 2020-11-4]. Hämtad från: http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/210512/local_210512.pdf
82. Ibid
83. Bhattacharyya R, McCormick M.E. Elsevier Ocean Engineering Series (Volym 6). Amsterdam: Elsevier; 2003. Kapitel 6, Environmental and Socioeconomic Implications; s. 57-68.
84. Hammar L. Will Ocean Energy Harm Marine Ecosystems? [Internet]. Göteborg: Chalmers University of Technology; okänt [citerad 2020-11-4]. Hämtad från: http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/210512/local_210512.pdf
85. Khare V, Nema S, Baredar P. Ocean Energy Modeling and Simulation with Big Data. Oxford: Butterworth-Heinemann; 2020. Kapitel 8, Ocean energy disinflation and the utility tradeoff; s. 269-92. Hämtad från: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128189047000083>
86. Hammar L. Will Ocean Energy Harm Marine Ecosystems? [Internet]. Göteborg: Chalmers University of Technology; okänt [citerad 2020-11-4]. Hämtad från: http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/210512/local_210512.pdf

87. Kregting L, Elsäßer B. Numerical Modelling of Wave Energy Converters. Cambridge: Academic Press; 2016. Kapitel 15, Environmental Impact Assessment; s. 279-90. Hämtad från: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128032107000153>
88. Ibid
89. Ozkan C, Perez K, Mayo T. The impacts of wave energy conversion on coastal morphodynamics. Science of The Total Environment. 2020; 712. ISSN 0048-9697.
90. Kregting L, Elsäßer B. Numerical Modelling of Wave Energy Converters. Cambridge: Academic Press; 2016. Kapitel 15, Environmental Impact Assessment; s. 279-90. Hämtad från: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128032107000153>
91. Ozkan C, Perez K, Mayo T. The impacts of wave energy conversion on coastal morphodynamics. Science of The Total Environment. 2020; 712. ISSN 0048-9697.
92. Hammar L. Will Ocean Energy Harm Marine Ecosystems? [Internet]. Göteborg: Chalmers University of Technology; okänt [citerad 2020-11-4]. Hämtad från: http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/210512/local_210512.pdf
93. Ozkan C, Perez K, Mayo T. The impacts of wave energy conversion on coastal morphodynamics. Science of The Total Environment. 2020; 712. ISSN 0048-9697.