

# Utredning av möjligheterna till marin förnybar energi i Öresund

*Desirée Grahn*

---

Examensarbete 2011  
Miljö- och energisystem  
Teknik och samhälle  
LTH



**LUNDS UNIVERSITET**  
Lunds Tekniska Högskola

Institutionen Teknik och samhälle  
Miljö- och energisystem

# **Utredning av möjligheterna till marin förnybar energi i Öresund**

Desirée Grahn

Examensarbete

2011





Dokumentutgivare, Dokumentet kan erhållas från LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA vid Lunds universitet Institutionen för teknik och samhälle Miljö- och energisystem Box 118 221 00 Lund Telefon: 046-222 00 00 Telefax: 046-222 86 44	Dokumentnamn
	Examensarbete
	Utgivningsdatum
	Juni 2011
	Författare
	Desirée Grahn

Dokumenttitel och undertitel

Utredning av möjligheterna till marin förnybar energi i Öresund

#### Sammandrag

Syftet med denna studie är att utreda möjligheterna för Öresundskraft AB att utvinna marin förnyelsebar energi från norra Öresund. Studien genomförs i två delar där Öresunds fysikaliska egenskaper samt marina krafttekniker kartläggs i den första för att sedan analysera den möjliga miljöpåverkan från de alternativen som kan vara intressanta i Öresund. De marina energitekniker som studerades var OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion), saltkraft, vågkraft, marin strömkraft samt möjligheten till ett frikylupptag. Vid studien av teknologier eftersträvas att hitta information om optimala förhållanden för varje teknik, i form av våghöjd, strömhastighet etc. Sedan identifieras potentiella miljökonsekvenser för de alternativ som är aktuella för Öresund. Det fungerar som en förstudie till en framtida miljökonsekvensbeskrivning och är tänkt att i ett tidigt skede uppmärksamma möjliga negativa konsekvenser för miljön.

Studien visade på en potential för utvinningen av energi från marina strömkraftverk samt uttaget av frikyla. Upptaget av frikylan kan göras i både ytvatten och djupvatten. Temperaturen är, under vissa perioder på året, för hög för att kunna användas som primakyla direkt i fjärrkylanätet. Den kan då antingen kylas ytterligare eller användas som kondensorkyla. Frikylan fungerar därmed som en baslast i systemet och kan, trots att temperaturen stundtals är hög, användas och förbättra effektiviteten hos systemet. Analysen av data indikerar att för djup större eller lika med 20 m är den årliga temperaturvariationen densamma. Inga allvarliga miljökonsekvenser kan identifieras för frikyla upptaget men uppmärksamhet bör ges till potentiell förlust av biomassa på grund av uppsug i kylsystemet och effekter på den marina miljön på grund av förändrad temperatur.

Strömhastigheterna i Öresund är bland de högsta i Sverige och ligger normalt mellan 0,15 – 1,2 m/s. Data för de lokaliseringarna som kan tänkas vara intressanta för marina strömkraftverk är begränsade. DMI genomförde mätningar under en längre tid vid en mätstation strax norr om Helsingör och dessa kunde användas för att uppskatta den möjliga energiproduktionen från en marin turbin. Antag en horisontalaxlad turbin med en diameter på 15 och en verkningsgrad på 30 %. Det ger upphov till cirka 132 MWh per år. Det finns ingen allvarlig miljöpåverkan förknippad med marin strömkraft heller men det finns risker för kollisioner och effekter i samband med störande ljud, elektromagnetisk strålning och resuspension av sedimenterade miljögifter.

Även om möjligheterna att utvinna marin förnybar energi är begränsade i nuläget kan ökade elpriser och ytterligare framsteg inom forskningen leda till att en investering kan bli aktuell i framtiden.

#### Nyckelord

Marin förnybar energi, OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion), vågkraft, marin strömkraft, saltkraft, frikyla, Öresund, temperatur, salthalt, strömhastighet, våghöjd, miljökonsekvensbeskrivning

Sidomfång	Språk	ISRN
102	Svenska Sammandrag på engelska	LUTFD2/TFEM--11/5054--SE + (1-102)



Organisation, The document can be obtained through  <b>LUND UNIVERSITY</b> Department of Technology and Society Environmental and Energy Systems Studies Box 118 SE - 221 00 Lund, Sweden Telephone: int+46 46-222 00 00 Telefax: int+46 46-222 86 44	Type of document
	<b>Master thesis</b>
	Date of issue
	<b>June 2011</b>
	Authors  <b>Desirée Grahn</b>

Title and subtitle

Study of the possibilities for marine renewable energy in Öresund

Abstract

The purpose of this study is to determine the possibilities for Öresundskraft AB to derive marine renewable energy from northern Öresund, the sound between Sweden and Denmark. The physical properties of the sound, such as temperature, current speed, wave height, salinity gradients, bathymetry, are researched as well as which technologies are present in the current marine renewable energy market. The production technologies researched were OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion), osmotic power, wave power, marine current energy and natural cooling. The different methods for energy production were studied according to which conditions they were optimized for. The suitability for the techniques in Öresund could then be analyzed. As a final step, to avoid production methods with a negative impact on the environment and as a pre-study for future environmental impact assessments, the possible environmental impacts were identified.

The study showed a possibility of natural cooling energy for the local district cooling system and marine current energy. The derivation of cooling water can be alternated between surface-adjacent resources and volumes from larger depths. The temperature is, during certain periods of the year, too high to be used as premium cooling in the district cooling system. It can then either be additionally cooled or used as cooling in the condenser. Natural cooling can therefore function as a base load in the system and increase the total efficiency, even though the temperature is too high at times. Data for different depths indicate that the yearly variation of the temperature is the same for all depths beneath 20 m. No severe environmental impacts are associated with this category of marine renewable energy but further research should be focused on the consequences of emission of water at a higher temperature and the risk for loss of biomass in the system.

The currents in Öresund are known for being among the highest in Sweden. Normally they are between 0, 15 – 1, 2 m/s. Unfortunately data to quantify the current speeds are sparse in locations where it is believed to be high. Data was found from The Danish Hydrological Institute for a location north of Helsingör which were used to estimate the possible energy yield. Presumed that production is technically possible for a horizontal turbine, with a diameter of 15 m and an efficiency of 30 % the yield is 132 MWh per year. No severe consequences are probable from a marine current turbine but there is a risk for extensive noise, collision risk, electromagnetic fields and the resuspension of environmental pollutants during dredging.

Even though the possibilities to derive marine renewable energy from the sound are limited today an increasing energy cost combined with advances in development and research it could become viable in the future.

Keywords

Marine renewable energy, OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion), wave energy, marine current energy, osmotic power, natural cooling, Öresund, temperature, salinity, current speed, wave height, environmental impact assessment

Number of pages	Language	ISRN
102	Swedish, English abstract	LUTFD2/TFEM--11/5054--SE + (1-102)





# Förord

---

Denna rapport redogör för mitt examensarbete på Lunds Tekniska Högskola i samarbete med Öresundskraft AB, Helsingborg. Den avslutar mina studier på Ekosystemteknik, med inriktning mot energisystemanalys. Utredningen motsvarar 30 högskolepoäng och har genomförts mellan januari och juni 2011.Handledare har varit Charlotte Malmgren och Per Svenningsson på LTH samt Charlotta Klintberg på Öresundskraft AB. Examinator var Lars J Nilsson.

Utredningen har genomförts som en litteraturstudie av den tillgängliga marknaden för produktionstekniker för marin förnyelsebar energi samt de fysikaliska egenskaperna hos Öresund. De tekniker som ansetts vara av intresse för Öresundskraft AB har översiktligt analyserats ur ett miljöpåverkansperspektiv där potentiella konsekvenser har kartlagts. Min förhoppning är att denna rapport ska fungera som en vägledning i vidare diskussioner kring möjligheterna till marin energi inom Helsingborgs stad.

## Tack

Jag vill framföra ett varmt tack till alla som varit involverade i detta projekt. Tack till alla kunniga människor som har gett råd och tips längst med vägen. Speciellt tack till mina bollplank Peter Jonsson, Kjell Andersson, Anders Tengberg och Per Ödman för Ert engagemang och visat intresse. Tack till mina handledare Charlotta Klintberg, Charlotte Malmgren och Per Svenningsson för vägledning. Tack till alla mina kollegor på Öresundskraft AB för Ert varma välkomnande och Er omtanke. Sist men inte minst, tack till alla vänner för att ni finns kvar även när jag är frånvarande och till min familj; AnnHelen, Robert och Philip för att ni stöttar. Nu beger jag mig ut på nya äventyr.

Desirée Grahn

Helsingborg, juni 2011

# Ordförklaring

---

Batymetri – vattendjup i hav och insjöar

Bentisk – lever på eller i närheten av botten i hav och insjöar

DMI – Danska Meteorologiska Institutet

Fjärrkyla – kylsystem för byggnader

Frikyla – kyla som är tagen från exempelvis sjö, vattendrag, hav etc.

Hydrodynamik – studie av vätskors rörelse

IEA – OES – International Energy Agency – Ocean Energy Systems

MKB - miljökonsekvensbeskrivning

Pelagisk – lever i den fria vattenmassan

Primakyla – kyla som håller en låg temperatur så att den kan användas som fjärrkyla direkt

Sessil organism – festsittande organism

Turbiditet – mått på vattnets suspension av partiklar

Vertebrat - ryggradsdjur

# Innehåll

---

1	Inledning.....	13
1.1	Bakgrund.....	13
1.2	Syfte.....	14
1.3	Avgränsningar.....	14
1.4	Metod.....	14
2	Öresundskraft AB.....	16
2.1	Elproduktion.....	16
2.2	Fjärrkyla i Helsingborg.....	16
2.3	Energiproduktionens miljöpåverkan.....	18
DEL I – NATURGIVNA FÖRHÅLLANDEN I ÖRESUND OCH TÄNKBARA TEKNIKER.....		19
3	Öresund.....	19
3.1	Batymetri, sediment och bottenmiljö.....	19
3.2	Strömmar.....	20
3.3	Temperatur.....	23
3.4	Salthalt.....	25
3.5	Vågor.....	26
3.6	Havsmiljön i norra Öresund.....	28
3.7	Marina däggdjur.....	29
4	Teknologier för utvinning av marin förnyelsebar energi.....	30
4.1	OTEC – Ocean Thermal Energy Conversion.....	31
4.2	Saltkraft.....	31
4.3	Vågkraft.....	33
4.3.1	Attenuator.....	33
4.3.2	Point Absorber.....	34
4.3.3	Terminator.....	34
4.4	Marin strömkraft.....	34
4.4.1	Horisontalaxlade turbiner.....	35
4.4.2	Vertikalaxlade turbiner.....	37
4.4.3	Övrig teknik.....	38
4.5	Frikyla till fjärrkylanätet.....	39
5	Utvärdering av marina krafttekniker i Öresund.....	40
5.1	OTEC.....	40
5.2	Saltkraft.....	40
5.3	Vågkraft.....	42
5.4	Marin strömkraft.....	42
5.5	Frikyla.....	45

6	Anläggningsbeskrivningar av utvalda tekniker .....	48
6.1	Marina strömkraftverk .....	48
6.2	Frikyla .....	48
DEL II – POTENTIELLA MILJÖKONSEKVENSER.....		49
7	Miljölagstiftning .....	49
7.1	Marina strömkraftverk .....	49
7.2	Frikyla .....	49
8	Utredning av miljökonsekvenser.....	51
8.1	Metod .....	51
8.2	Identifiering av miljöeffekter / Scoping .....	53
8.2.1	Marina strömkraftverk .....	53
8.2.2	Frikylauptag.....	56
8.3	Identifiering av miljökonsekvenser.....	59
8.3.1	Påverkan på sjöfarten .....	59
8.3.2	Emissioner till luft.....	60
8.3.3	Ljud/buller .....	60
8.3.4	Suspension av sediment / Förhöjd turbiditet.....	61
8.3.5	Resuspension av sedimenterade miljögifter .....	62
8.3.6	Ingrepp i bottenstrukturen/Eliminering av bottensubstrat .....	62
8.3.7	Muddringsmassor.....	63
8.3.8	Förändrad markanvändning/batymetri .....	63
8.3.9	Förändrad hydrodynamik.....	64
8.3.10	Elektromagnetisk strålning .....	64
8.3.11	Termisk påverkan från sjökabel .....	66
8.3.12	Förlust av biomassa vid kylvattenuptag.....	66
8.3.13	Kollisionsrisk.....	66
8.3.14	Utsläpp av uppvärmt vatten .....	67
8.3.15	Kemikalieutsläpp.....	68
9	Utvärdering av miljökonsekvenser .....	69
10	Diskussion.....	71
11	Slutsats .....	74
12	Källor .....	75
Appendix .....		80
Appendix 1. Beräkning av den osmotiska potentialen .....		80
Appendix 2. Beräkning av energiproduktionspotentialen för ett marint strömkraftverk .....		82
Appendix 3. Vågkraftsteknologier .....		84
Appendix 4. Marina havskraftstekniker .....		89
Appendix 5. Scoping Checklist .....		97
Appendix 6. Resultat av Scoping Checklist .....		101

# 1 Inledning

---

## 1.1 Bakgrund

Energibehovet världen över ökar ständigt. Allt eftersom utvecklingsländer industrialiseras växer sig världens energiberoende allt starkare. Därmed ökar det globala trycket på naturresurser och konsekvenserna av vår energitvinnning blir allt tydligare. Den globala energiproduktionen är idag förknippad med storskaliga miljöproblem såsom klimatpåverkan och försurning. Det leder till att det blir allt viktigare att utveckla alternativa produktionsmetoder samtidigt som det ökande behovet möts. Därför måste fokus för utvecklingen av nya energiproduktionsmetoder vara mot hållbara alternativ med begränsad miljöpåverkan som inte är beroende av tillgången på fossil energi. Forskning och utveckling satsar därför på förnyelsebara alternativ med begränsad nettopåverkan på miljö och resurser.

Den ökande medvetenheten kring de storskaliga problem som är förknippade med energiproduktionens utveckling har lett till politiskt uppsatta mål som är tänkta att styra den i rätt riktning. Lokalt, nationellt och internationellt finns mål gällande andelen förnybar energi, klimatpåverkan, energieffektivisering etc. Helsingborgs Stad har i sitt miljöprogram satt upp mål om att koldioxidutsläppen ska minska med 25 % under perioden 2005 – 2015, 70 % till 2035 och 80 % till 2050 inom Helsingborgs kommun. Enligt stadens energistrategi ska fjärrkylan endast nyttja el från förnyelsebara energikällor och icke-fossila bränslen år 2035. Till 2012 ska potentialen för förnyelsebara energikällor (sol-, vind-, vatten- och vågkraft) ha identifierats inom kommunen med resultatet att mängden producerad elektricitet från vind- och vågkraft ska uppgå till 60 GWh/år respektive 240 GWh/år till år 2020 och 2035. Utredningen kring möjligheterna för testanläggningen för vågkraft ska ha utretts till 2013 och ska vara i drift 2015.<sup>1</sup> Nationellt ska 50 % av Sveriges energianvändning komma från förnyelsebara energikällor år 2020 och koldioxidutsläppen ska minska med 40 % jämfört med 1990 års nivåer.<sup>2</sup> Dessa mål ligger inom ramen för EU:s 20/20/20 mål om en 20 % utsläppsminskning av växthusgaser, 20 % ökad andel förnybar energi och 20 % ökning i energieffektivitet till 2020.<sup>3</sup> Med dessa satsningar hoppas man kunna garantera en temperaturökning under 2°C, den gräns som enligt FN:s klimatpanel kan innebära svårhanterliga klimatförändringar om den överskrids.<sup>4</sup>

2010 uppgick andelen förnybar energi i svenska energiproduktionen till 44,7 % där största andelen var till följd av användandet av träbränsle (inklusive lutar) följt av vattenkraft, upptagen värme i värmepumpar, organiskt avfall, biodrivmedel och vindkraft.<sup>5</sup> När det gäller produktionen av elektricitet talar man främst om solenergi, vattenkraft och vindkraft men det finns en resurs som hittills inte exploaterats i någon större utsträckning: havet. På grund av de stigande kostnaderna för el och framsteg inom materialforskningen för marina miljöer blir marina förnyelsebara alternativ allt mer aktuella. Forskning pågår för att finna metoder att fånga dessa krafter från bland annat för vågor, strömmar, salt- eller temperaturdifferenser eller som en källa för frikyla.

För att nå de uppsatta målen måste dagens energiproducenter ta strategiska beslut och se till att ligga steget före när det gäller vilka energislag som kommer att utgöra morgondagens energimix. Öresundskraft AB har som mål att öka andelen förnybar energi där ett första steg blir att identifiera förnybara energimöjligheter inom Helsingborgs stad.<sup>6</sup> Detta examensarbete är en förstudie och utgör en grundläggande kartläggning av marina krafttekniker och deras respektive potential i Öresund.

---

<sup>1</sup> Helsingborg (2010)

<sup>2</sup> Naturvårdsverket (2011a)

<sup>3</sup> Energimyndigheten (2010)

<sup>4</sup> Naturvårdsverket (2011b)

<sup>5</sup> Energimyndigheten (2010)

<sup>6</sup> Helsingborg (2010)

## 1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att utreda möjligheterna för Öresundskraft AB att utvinna marin förnybar energi från sundet mellan Helsingborg och Helsingör. Utvärderingen av energislagen sker utifrån om den är möjlig med de fysikaliska förutsättningarna som är givna av Öresund och om den är hållbar ur ett miljöperspektiv. Utredningen ska därmed ge en övergripande bild av de tekniska möjligheterna och fungera som en förstudie för framtida beslut om investeringar samt eventuella miljökonsekvensbeskrivningar.

Dessa frågor behandlas under projektets gång:

- Vilka fysikaliska egenskaper har Öresund (exempelvis vågor, strömmar, salthalt, temperatur och batymetri) och hur är den marina ekologin uppbyggd (flora, fauna och marina däggdjur)?
- Vilka tekniker finns tillgängliga idag för utvinningen av energi från havet och för vilka fysikaliska förutsättningar är de optimerade?
- Vilka av dessa är möjliga för Öresundskraft AB utifrån förutsättningarna givna av Öresund? Detta analyseras utifrån ett tekniskt och miljömässigt perspektiv.
- Vilken miljöpåverkan finns förknippad med de möjliga teknikerna (påverkan på sjöfart, ekologi, fysikaliska egenskaperna etc.)?

## 1.3 Avgränsningar

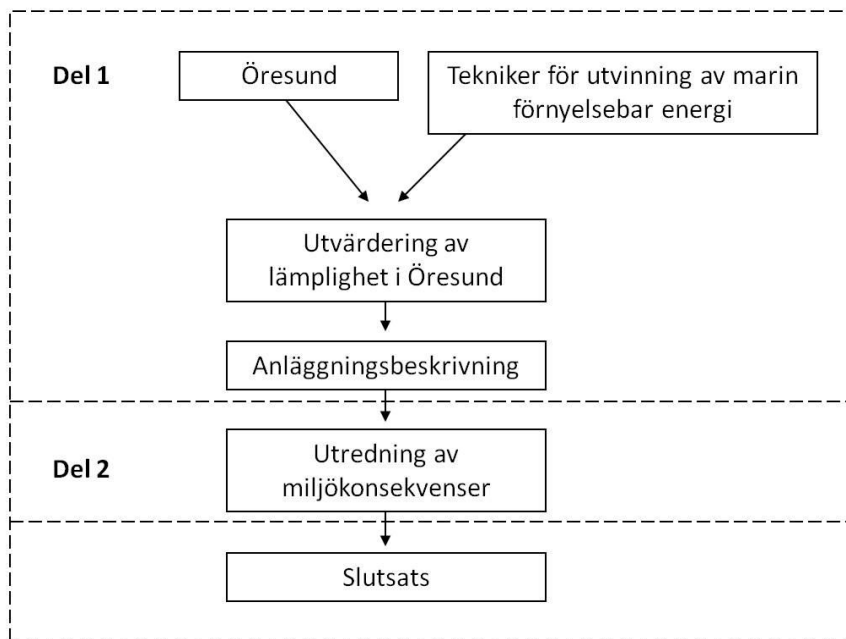
Studien fokuserar på etableringen i den marina miljön. Tillhörande stöd-verksamheter som silstation för frikyllaupptag, landbaserad transformatorstation etc. diskuteras inte för de olika teknikerna. Tekniker som inte anses vara lämpliga för Öresund, på grund av ström-, våg- och saltvattenresurserna är begränsade för att en utvinning ska vara möjlig, studeras endast översiktligt. Detaljerad utvärdering av eventuell lokalisering genomförs inte och inte heller fördjupad analys av de tekniska alternativen. Rapporten ger endast en indikation kring vilka miljögifter som finns i sundet, vid ytterligare utvärdering av lokalisering och mätningar på de olika stationerna får närvaron av miljögifter i sedimentet studeras närmare. Ingen fördjupning görs i potentiella konsekvenser av ett förändrat klimat och förändrade ström/djup/våg/väder/etc. – förhållanden.

## 1.4 Metod

Examensarbetet är uppdelat i två delar, se Figur 1, där fokus i den första ligger på att identifiera de fysikaliska och ekologiska egenskaperna hos Öresund samt genomföra en bred och grundläggande studie över vilka tekniker som finns tillgängliga för marin energiutvinning. Denna studie har genomförts som en litteraturstudie där information har sökts med hjälp av Google, National Encyklopedin och LibHub, en sökmotor som möjliggör en sökning i alla databaser, tidskrifter, publikationer etc. länkade till Lunds Universitet. Litteratur som publicerats innan 2005 gallrades ut i den mån det var möjligt. Vid sökning efter information kring marina tekniker ansågs publikationens ålder vara i synnerhet viktig på grund av marknadens snabba utveckling. Identifieringen av utvecklare av marin förnyelsebar energi har gjorts med hjälp av årsrapporter från International Energy Agency – Ocean Energy Systems (IEA-OES) samt förteckningar i teknologi översikter (se referens Güney, M. S. et al (2010) och Drew, B. et al (2009)). Data som används i utredningen av temperatur och salthalt är hämtade från SMHIs databas SHARK (Svenskt HavsARKiv, se referens SMHI (2011)). Den har tagits fram inom svensk samordnad miljöövervakning av Naturvårdsverket. Data för våghöjd och strömhastigheter är tagna från en sammanställning av mätningar som DMI genomförde 1931 – 1960 vid Lappegrund (DMI (1982)). Mätningar gjordes var fjärde timme från en fyr norr om Helsingör. Data sammanställdes 1982 och strömmätningarna bedöms, av Anders Tengberg<sup>7</sup>, vara av god kvalitet.

---

<sup>7</sup> Tengberg, Anders (2011)



Figur 1. Illustration av metodiken för studien.

Efter genomgång av tillgängliga tekniker och Öresunds egenskaper utvärderas alternativen utifrån dess lämplighet i Öresund, specifikt potentialen för energiproduktion. Fiktiva anläggningar beskrivs och utgör grunden för Del 2, där en utvärdering av miljökonsekvenser genomförs.

I del 2 genomförs en utredning av de möjliga miljökonsekvenserna för anläggningen/anläggningarna. Därefter kan slutsatser dras kring hur lämpliga teknikalternativen är ur ett miljö- och hållbarhetsperspektiv. Analysen av miljökonsekvenserna genomförs på samma sätt som en avgränsning för miljökonsekvensbeskrivning. Identifieringen av nyckelfaktorer gjordes med hjälp av en så kallad "Scoping Checklist" vars resultat utgjorde grunden för vidare analys. En detaljerad beskrivning av metoden återfinns i kapitel 8.1. Litteratur kring aktiviteternas möjliga påverkan på dess närområde söktes sedan med hjälp av Google och LibHub samt via Naturvårdsverkets hemsida. Även här gallrades, i den mån det var möjligt, litteratur ut med ett publikationsår tidigare än 2005. Till största delen kvalitativa antaganden gjordes kring anläggningen/anläggningarnas möjliga konsekvenser.

## 2 Öresundskraft AB

---

Öresundskraft AB är helägt av Helsingborgs Stad och tillgodoser större delen av fjärrvärmebehovet, hela behovet av fjärrkyla och cirka 15 % av elektriciteten inom kommunen. Öresundskraft har anläggningar i både Helsingborg och Ängelholm samt ett mindre vattenkraftverk på gränsen till Blekinge. Den största andelen av produktion sker med förnyelsebara bränslen vid kraftvärmeanläggningen Västhamnsverket. I och med etableringen av avfallsförbränningsanläggningen Filbornaverket utökas produktionskapaciteten i Helsingborg. Verket kommer ha en nominell effekt på 58 MW fjärrvärme och 17 MW elektricitet och väntas kunna tas i drift 2012 – 2013.

### 2.1 Elproduktion

2010 sålde Öresundskraft AB nästan 3 000 GWh el, varav 432 GWh = 15 % var egenproducerad. Resterande elektricitet köptes in från den svenska elmarknaden och fördelade sig därmed efter svensk produktionsmix. Produktionen av elektricitet sker idag vid diverse anläggningar, bland annat som kraftvärme i Västhamnsverket, med vattenkraft vid Fridafors i Mörrumsån samt genom vindkraft. El från förnyelsebara energikällor utgör därmed hälften av den sålda elen.

### 2.2 Fjärrkyla i Helsingborg

Dagens fjärrkylanät har en sammanlagd installerad effekt på 16,5 MW med 31 anslutna där kunderna med störst andel är McNeil AB med en effekt på 3 MW och Lasarettet med 5 MW.<sup>8</sup> Merparten av kylan produceras i Västhamnsverket med hjälp av elektriska kylmaskiner med ett COP (coefficient of performance) värde på 5.<sup>9</sup> Det innebär att för varje MWh el som används produceras 5 MWh kyla.<sup>10</sup> Systemverkningsgraden för fjärrkylaproduktionen är 3,5, inkluderat alla komponenter.

De närmaste fem åren har efterfrågan på fjärrkyla prognostiserats att öka med 15 MW, för nätet i dess befintliga omfattning, men inkluderat anslutning till blivande multiarenan i Helsingborgs stad. Utbyggnaden av den ökade kapaciteten skulle troligtvis beläggas på Västhamnsverket med strategiskt placerade spetsanläggningar på andra platser för att kunna leverera högkvalitativ kyla även under perioder av hög belastning. Etableringen av Filbornaverket ska stå klar inom denna tidsperiod. Det kommer att leda till ett värmeöverskott under sommarmånaderna då hela värmebehovet normalt täcks av spillvärme från Kemira.<sup>11</sup> Detta överskott kan då istället användas i absorptionsmaskiner för att producera fjärrkyla då behovet är som störst. Prognosen för de närmaste 15 åren inkluderar det väntade kylbehovet för nya stadsdelen H+ som tros uppgå till ytterligare 10 MW samt en utökning av kapaciteten i området norr om McNeil AB till Djursjukhuset som uppskattningsvis kommer att öka kylbehovet med 8 MW. År 2025 tros den totala effekten därför uppgå till 45 MW.

Produktionsfördelningen av fjärrkylan modellerades 2010 av konsultföretaget Capital Cooling. Förutsättningarna för modelleringarna var följande:

- klimatdata från 1991 – 2009
- vattentemperatur från 1987 – 1996 (från en mätstation upprättad av Öresunds vattenvårdsförbund 900 m utanför Västhamnsverket)
- fjärrvärmemetemperatur på 90°C
- inga kemikalie- och vattenkrävande kyltorn
- kylmaskiners värme- och elförbrukning baseras på erfarenheter
- samt den kombination av frikyla/elektrisk kylmaskin/absorptionskyla som gav lägst driftskostnad.

---

<sup>8</sup> Capital Cooling Energy Services (2010)

<sup>9</sup> Ödman, Per (2011)

<sup>10</sup> Norrenergi (2005)

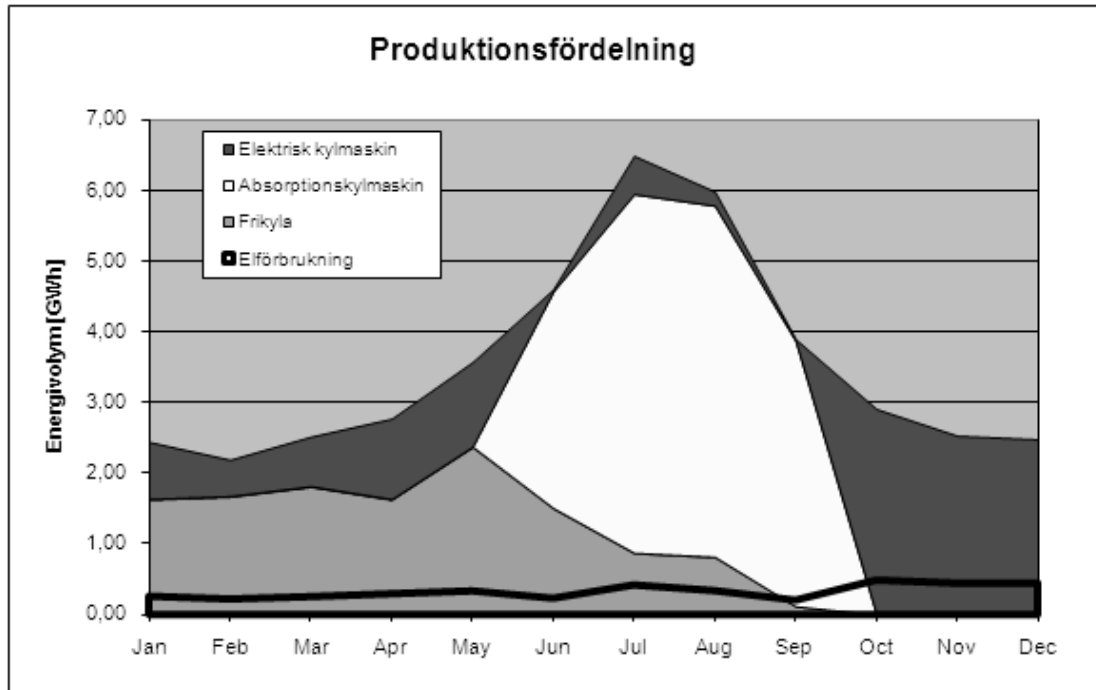
<sup>11</sup> Jomaa, Adam (2011)



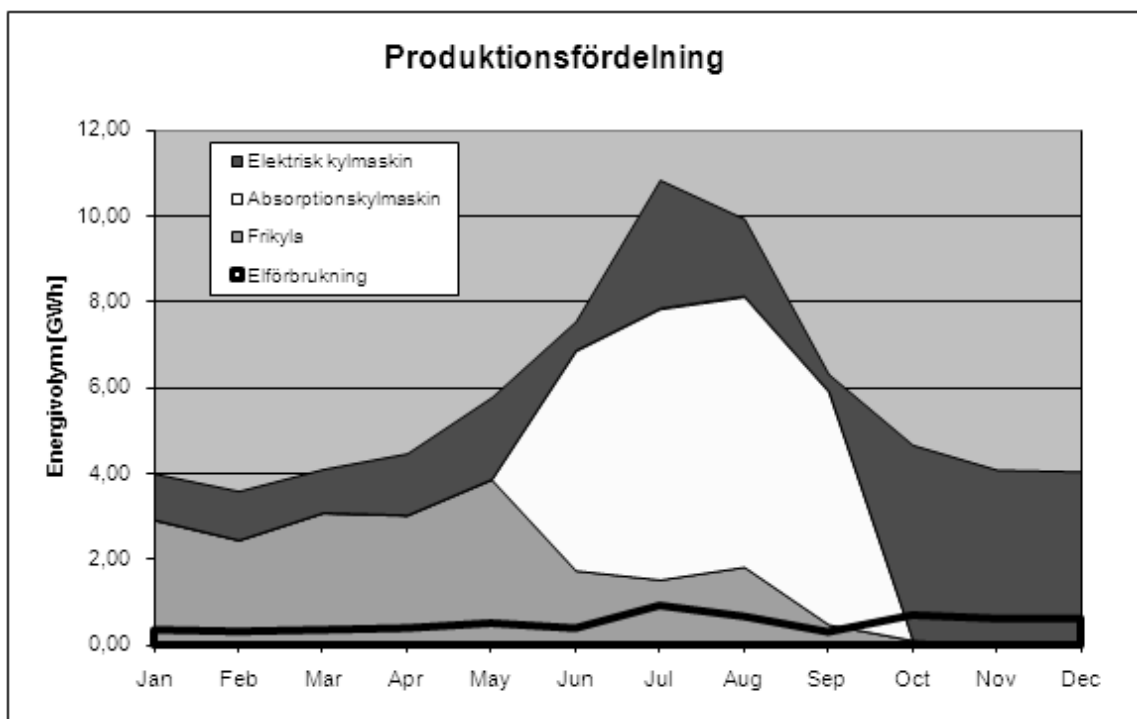
Resultatet av modelleringarna ses i Tabell 1 och Figur 2 och Figur 3. De visar på en hög andel frikyla under januari – maj, som sedan minskar för att domineras till största delen av absorptionskyla under sommaren. Som back-up finns den elektriska produktionen som täcker viss del av behovet.

Tabell 1. Produktionsfördelning för 5 års och 15 årsscenario (Capital Cooling Energy Services (2010))

5-årsscenario 27,0 MW		15-årsscenario 45 MW	
Frikyla	32,5 %	Frikyla	33,3 %
Absorption	34,1 %	Absorption	46,0 %
El	44,0 %	El	29,9 %
Distributionsförluster, mm	-10,6 %	Distributionsförluster, mm	-9,2 %



Figur 2. Fjärrkylans prognostiserade produktionsfördelning, 5 års scenario. (Capital Cooling Energy Services (2010))



Figur 3. Fjärrkylans prognostiserade produktionsfördelning, 15 års scenario. (Capital Cooling Energy Services (2010))

## 2.3 Energiproduktionens miljöpåverkan

Miljöpåverkan från energiproduktionen i form av utsläpp till luft redovisas i Tabell 2. Utsläppsdata för elektricitet baseras på redovisade utsläpp från svensk elproduktionsmix samt uppmätta värden från Öresundskrafts egen produktion. Som tidigare nämnts tillverkas fjärrkylan i nuläget endast med hjälp av elektriska kylmaskiner med en verkningsgrad på COP 5. Miljöegenskaperna från denna produktion blir därför en femtedel av motsvarande för elektricitet.

Tabell 2. Miljöpåverkan från elektricitet och fjärrkylaproduktionen

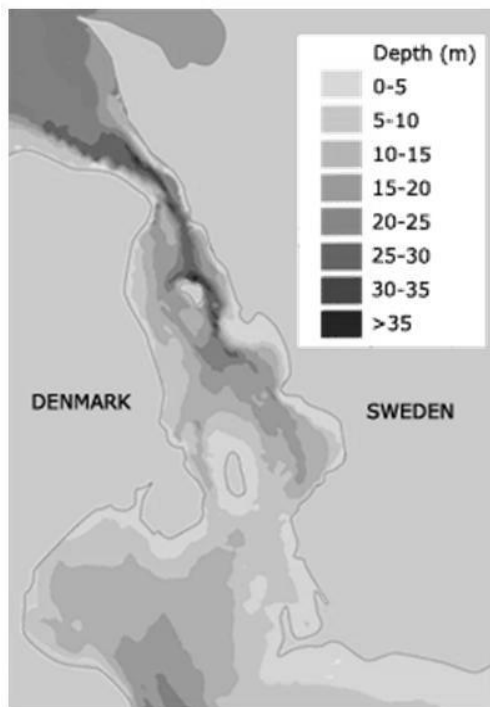
	Elektricitet	Fjärrkyla	
SO <sub>2</sub>	6,2	1,2	g/MWh
NO <sub>x</sub>	23,3	4,6	g/MWh
CO <sub>2</sub>	12,5	2,5	g/MWh

# DEL I – NATURGIVNA FÖRHÅLLANDEN I ÖRESUND OCH TÄNKBARA TEKNIKER

Som ett första steg görs en utredning av egenskaperna för Öresund för att kunna utvärdera möjligheterna till etableringen av diverse marina förnybara energikällor samt dess möjliga konsekvenser. Här följer därför en studie av sundets egenskaper. I kapitel 4 kartläggs sedan tillgängliga marina energitekniker vars potentialer för Öresund slutligen utvärderas i kapitel 5.

## 3 Öresund

### 3.1 Batymetri, sediment och bottenmiljö



Sundet mellan Sverige och Danmark kallas Öresund och sträcker sig från Skanör i söder till Kullaberg i norr. Det är 118 km långt och mellan 4 till 28 km brett. Generellt är vattendjupen låga i Öresund med ett största djup på ca 50 m sydost om Ven och ca 6 meter i södra sundet, se Figur 4. Djupet minskar söderut mot Malmö för att nå sitt minimum vid Drogden, i höjd med Öresundsbron. Det utgör därför tröskeln mellan Kattegatt och Östersjön som vattnet måste passera för att ett vattenutbyte ska kunna ske.<sup>12</sup>

Botten utanför Helsingborg utgörs till största delen av lera, gyttjeler, leryttja och finsand. På vissa platser finns även sand och grus, sedimentär berggrund, finsand, silt och moränlera.<sup>13</sup>

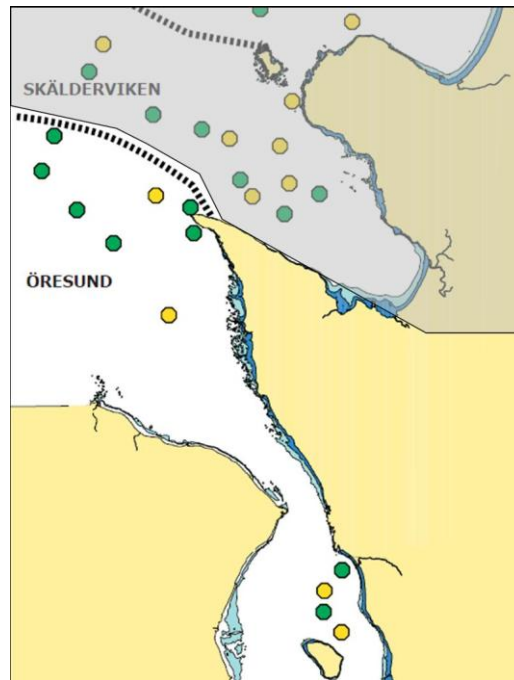
Figur 4. Topografien i Öresund, (Öresundvattensamarbetet (2011))

2001 till 2004 gjorde länsstyrelsen i Västra Götalands län, på uppdrag av Naturvårdsverket, en undersökning av bottenmiljön i Kattegatt/Skagerrak. Bottenprofilerna studerades då med hjälp av fotografering och bedömdes enligt EU:s vattendirektivs dåvarande kriterier för bottenmiljö. Bedömningen genomfördes genom att ett miljökvalitetsindex (BHQ) beräknades utifrån strukturerna av fauna på och inuti sedimenten samt bottenens redoxförhållanden. Undersökningarna visade på en god till måttlig bottenkvalité i norra Öresund, se Figur 5. Djuphålan vid Ven (44 m) gav dock inte samma positiva resultat där lättrörliga organiska material täckte ett 2,6 cm tjockt oxiderat skikt.<sup>14</sup>

<sup>12</sup> Öresundvattensamarbetet (2011)

<sup>13</sup> SGU (2009)

<sup>14</sup> Rosenberg R., Nilsson H.C. (2004)



Figur 5. Provtagningsstationer för sedimentprofilen. Grön indikerar god bottenmiljö och gul måttlig. (Rosenberg R., Nilsson H.C. (2004))

### 3.2 Strömmar

Det primära flödet från Östersjön går norrut genom Öresund och ut mot Kattegatt men beroende på väderleken och påliggande vindar kan strömmen vid tillfälle byta riktning.<sup>15</sup> Ca 30 % av allt vatten som passerar mellan Kattegatt och Östersjön passerar genom Öresund.<sup>16</sup> Det leder till att en av Sveriges starkaste strömmar är belägen mellan Helsingborg och Helsingör.<sup>17</sup>

Strömmarna i Öresund påverkas av ett antal parametrar. Differenser i vattennivå mellan Kattegatt och Östersjön, närmare bestämt området väster om Bornholm, påverkar strömningen samtidigt som det finns en viss påverkan från tidvattenkrafter i området.<sup>18</sup> Den nordliga strömmen beror primärt på att väderbetingelser skapar en differens i vattennivå genom ihållande östliga vindar som skapar ett undertryck i väster. Sekundärt beror strömmen på att vattenflödet inom Östersjöns avrinningsområde skapar en högre vattennivå jämfört med Kattegatt.<sup>19</sup> Det genererar ett kontinuerligt flöde av bräckt vatten norrut genom Öresund. Vid vissa tillfällen uppstår ett södergående flöde med saltvatten till Östersjön. Det är ett resultat av speciella väderförhållanden. Det sker till följd av högtryck över Östersjön som ger ett lågt vattenstånd simultant med lågtryck över Kattegatt vilket resulterar i högt vattenstånd. Vattnet som strömmar söderut från Västerhavet behöver ha en hög salthalt vilket ger den en hög densitet samtidigt som temperaturen behöver vara låg. Med ihållande sydliga till västliga vindars hjälp kan då dessa strömmar tränga undan vattnet från Östersjön vilket skapar saltvatteninbrott.<sup>20</sup> Intrånget av det salta vattnet från Kattegatt till Östersjön är viktig för saltbalansen och syretillförseln till de djupa bottarna i Östersjön. Detta utbyte undersöktes noggrant innan byggnationen av Öresundsbron då man var orolig för att etableringen skulle "störa" strömmarna och ändra flödet.<sup>21</sup> Torsken i Östersjön är mycket känslig för förändringar i salthalt, en fiskart som ur ekonomisk synvinkel är mycket viktig för alla intilliggande länder.<sup>22</sup> Saltvattenmängden påverkar vid vilket djup som språngskiktet i Östersjön ligger.

<sup>15</sup> SMHI (2009a)

<sup>16</sup> Sayin, E., Krauss, W. (1995)

<sup>17</sup> Öresunds vattenvårdsförbund / SMHI (2007)

<sup>18</sup> COWI/DHI/LIC (1990)

<sup>19</sup> COWI/DHI/LIC (1990)

<sup>20</sup> SMHI (2009a)

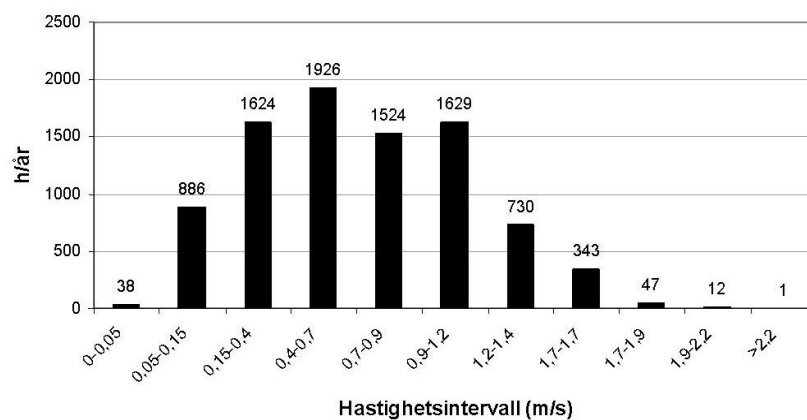
<sup>21</sup> Den svenska Öresundsdelegationen (1987)

<sup>22</sup> Den svenska Öresundsdelegationen (1987)

Ett minskat saltvatteninflöde till Östersjön leder till att denna hamnar vid ett större djup. Torsken lägger sina ägg vid detta språngskikt och det är därför känsligt för djupförändringar som också innebär förändringar i syrehalten, ljustillförsel etc.<sup>23</sup>

I Öresund är vattnet indelat i tre skikt. Samtidigt som vatten från Östersjön flödar norrut genom sundet kommer havsvatten in norrifrån via Kattegatt och trycker sig ner mot Östersjön. På grund av differenserna i salthalt vattenmassorna emellan, och därmed den varierande densiteten, kommer ytvattenlagret från Kattegatt tryckas ner under det bräckta vattnet som strömmar norrut.<sup>24</sup> Överst finns därför ett lager med bräckt vatten, följt av det saltare ytvattnet från Kattegatt och tillslut tungt djupvatten från Kattegatt underst i sundet.<sup>25</sup> På 10 – 12 meters djup finns därför ett språngskikt mellan salt och bräckt vatten där vattnet kan flöda i två olika riktningar, vid vissa tillfällen till och med tre.<sup>26</sup>

Ur DMI:s mätdata kan det uttydas att ytströmmen i Lappegrund har två huvudsakliga riktningar, antingen nordnordvästlig eller sydsydöstlig med försumbara strömmar i övrigt. Huvudsakligen rör sig ytströmmen i nordnordvästlig riktning med hastighetsfördelning som illustreras i Figur 6.



Figur 6. Fördelning av ytströmmens hastighet i Öresund, (Dataälla DMI (1982))

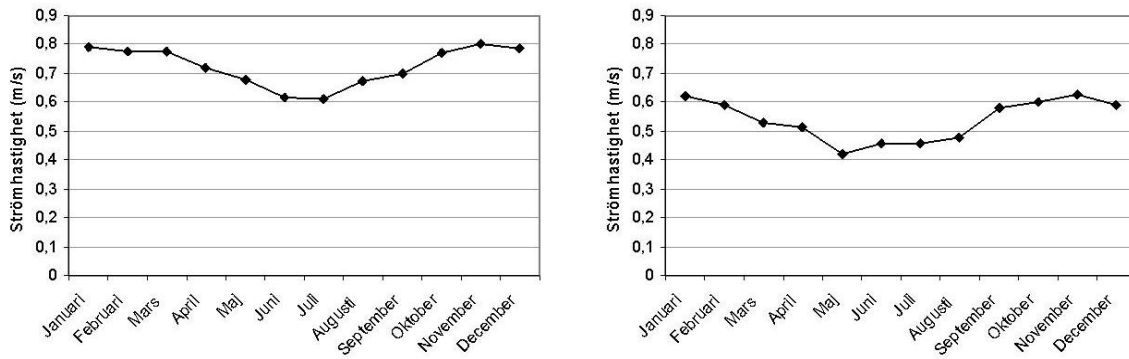
Som Figur 6 visar är ytströmmens hastighet normalt mellan 0,15 m/s och 1,2 m/s men kan stundtals nå hastigheter uppåt 2 m/s. Det är dock inte normalfallet. Under året varierar hastigheten och är som starkast under vinterhalvåret för att minska under våren och sommaren, se Figur 7.

<sup>23</sup> Miljöförvaltningen Landskrona kommun / Toxicon AB (1998)

<sup>24</sup> She, J., Berg, P., Berg, J. (2007)

<sup>25</sup> COWI/DHI/LIC (1990)

<sup>26</sup> Öresundsvattensamarbetet (2011)



Figur 7. Ström hastigheten i ytans variation under året för nordnordvästlig (vänster) och sydsydöstlig (höger) riktning. (Dataälla: DMI (1982))

Figur 7 visar att när strömmen rör sig i nordnordvästlig riktning har den en medelhastighet på cirka 0,6 m/s under sommarmånaderna och 0,8 m/s under vinterhalvåret. När strömmen vänder och rör sig i sydsydöstlig riktning (vilket händer under ett begränsat antal tillfällen under året) är medelhastigheten generellt lägre; 0,6 m/s respektive 0,45 m/s under vintern och sommaren.

Data given av DMI bedöms vara av god kvalitet<sup>27</sup> men strömförhållandena kan tänkas vara annorlunda i dagsläget. Strömmarnas hastighet beror till stor del av avrinningen till Östersjön som, på grund av klimatförändringar och exploateringen av älvar för utvinningen av vattenkraft, kan tänkas ha förändrats under de decennier som följde efter mätningarnas slut. Etableringen av vattenkraft har främst orsakat en omdistribuering av tidpunkten för avrinningen. Detta, i kombination med klimatförändringarna visar på ett minskat flöde under sommarmånaderna, ökat flöde under vinter och vår samt en oförändrad situation under hösten.<sup>28</sup> Antaganden kan därför göras om att ytströmmen i Öresund de senaste femtio åren har påverkats på sådant sätt att säsongsvariationerna är högre, med lägre strömmar än tidigare uppmätt under sommaren och högre strömmar under vinter och vår. Utan mätdata kan de dock inte bekräftas.

Det finns en begränsad mängd detaljerad data över strömmarna i Öresund, dess säsongsvariationer och förändringar med djup. Uttalanden om var strömmen är som starkast är därför svåra att göra men det kan tänkas vara vid några av följande platser:

- Kring Ven, där strömmen ökar i hastighet när den passerar ön.<sup>29</sup>
- Där sundet är som smalast, mellan Helsingborg och Helsingör.<sup>30</sup>
- Utanför Hittarp i ytströmmens ytterkurva och där tvärsnittsarean är liten.<sup>31</sup>

Kring Ven ökar hastigheten för vattenmassorna när de ska passera ön, strömmen till öster och väster kan därför tänkas vara stark. Strömmens hastighet är även beroende av tvärsnittsarean. Därav kan det vara av intresse att göra vidare undersökningar där sundet är som smalast, till exempel mellan Helsingborg och Helsingör. På grund av att djupet är stort här är det dock inte nödvändigtvis så att tvärsnittsarean är som lägst här. Av samma anledning kan det även tänkas att ytströmmen är stark i höjd med Hittarp. När strömmen rör sig norrut genom sundet tvingas den i en nordvästlig riktning av topografin och "ytterkurvan" för rörelsen blir därmed vid kusten utanför Hittarp. Kombinerat med att den totala tvärsnittsarean i sundet vid denna plats är relativt låg så kan strömmen tänkas vara hög i detta område. Den lokala florin och faunan samt sedimentet tyder på att strömmen är stark här eftersom individtätheten är låg och sedimentet utgörs, till största delen, av hårdbotten, grov sand och grus.<sup>32</sup> Utan några mätdata kan det dock inte bekräftas.

<sup>27</sup> Tengberg, Anders (2011)

<sup>28</sup> Hansson, D. (2009)

<sup>29</sup> Andersson, Kjell (2011) / Jonsson, Peter (2011)

<sup>30</sup> Andersson, Kjell (2011) / Jonsson, Peter (2011)

<sup>31</sup> Göransson, Peter (2011)

<sup>32</sup> Göransson, Peter (2011)

En alternativ metod för att få kunskap om strömmarna är att modellera strömmarnas rörelser. Forsknings- och konsultorganisationen DHI ([www.dhi.se](http://www.dhi.se)) har konstruerat verktyget MIKE som ett hjälpmedel att förstå vattnets rörelser och hur introduktionen av kraftverk eller vattenupptag kan påverka strömmarna lokalt. MIKE användes bland annat inför etableringen av Öresundsförbindelsen för att modellera dess påverkan och behovet av förmildrande insatser.<sup>33</sup>

### 3.3 Temperatur



De stora differenserna i salthalt i sundet ger en skillnad i densitet mellan de olika vattenmassorna. Till skillnad från en sjö, där temperaturdifferensen orsakar en densitetskillnad som avgör hur omblandningen sker, så leder den varierande salthalten till att omblandningen inte är beroende av förändringar i temperatur. Det kan därför inte antas att botten temperaturen i Öresund är 4°C (den temperatur vid vilket vatten har sin högsta densitet) under stora delar av året, som man normalt kan med en sjö. Under vinterhalvåret kan ytvattentemperaturen vara nära noll medan den på större djup, med högre salthalt och därmed högre densitet, kan ligga uppåt 5 – 6°C.<sup>34</sup>

Naturvårdsverket har, i samarbete med SMHI, genomfört mätningar av kemiska och fysikaliska data under många år för ett antal mätstationer i Öresund, bland annat W Landskrona, se Figur 8.<sup>35</sup> På grund av det stora tillgängliga djupet i denna mätstation kan profiler göras över hur temperaturen varierar med djupet.

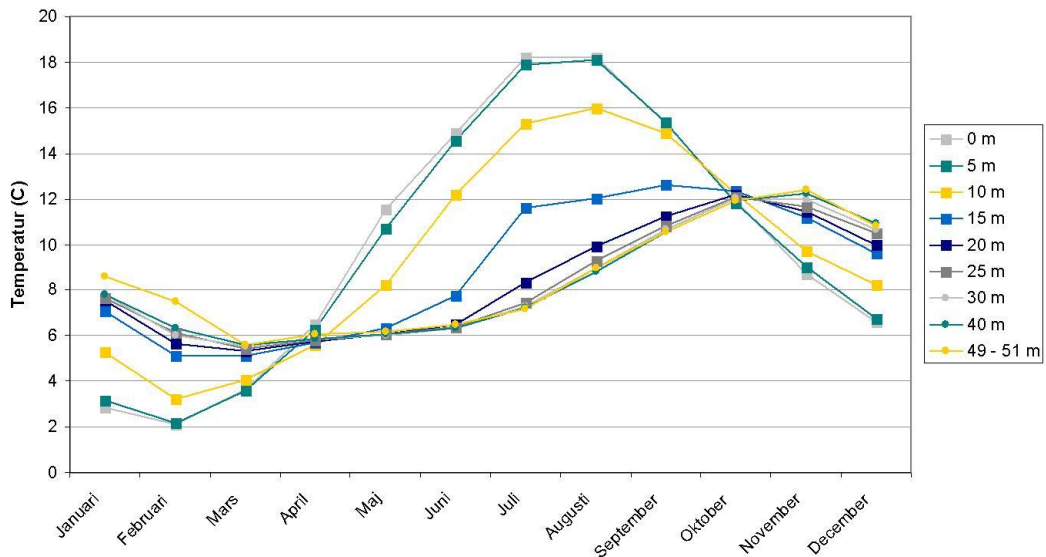
Figur 8. SMHI och Naturvårdsverkets mätstation väster om Landskrona. (SMHI (2011))

Data har sammanställts i två figurer. I Figur 9 illustreras medeltemperaturen för varje månad under en tioårsperiod (2000 – 2010) för diverse djup. Ur figuren kan utläsas en större temperaturvariation för lägre djup med en topp under sensommaren. Den minskar sedan under hösten för att nå sitt minimum under februari. För djupare vatten är temperaturen som högst under hösten och minskar sedan till i början av året.

<sup>33</sup> Liungman, Olof (2011)

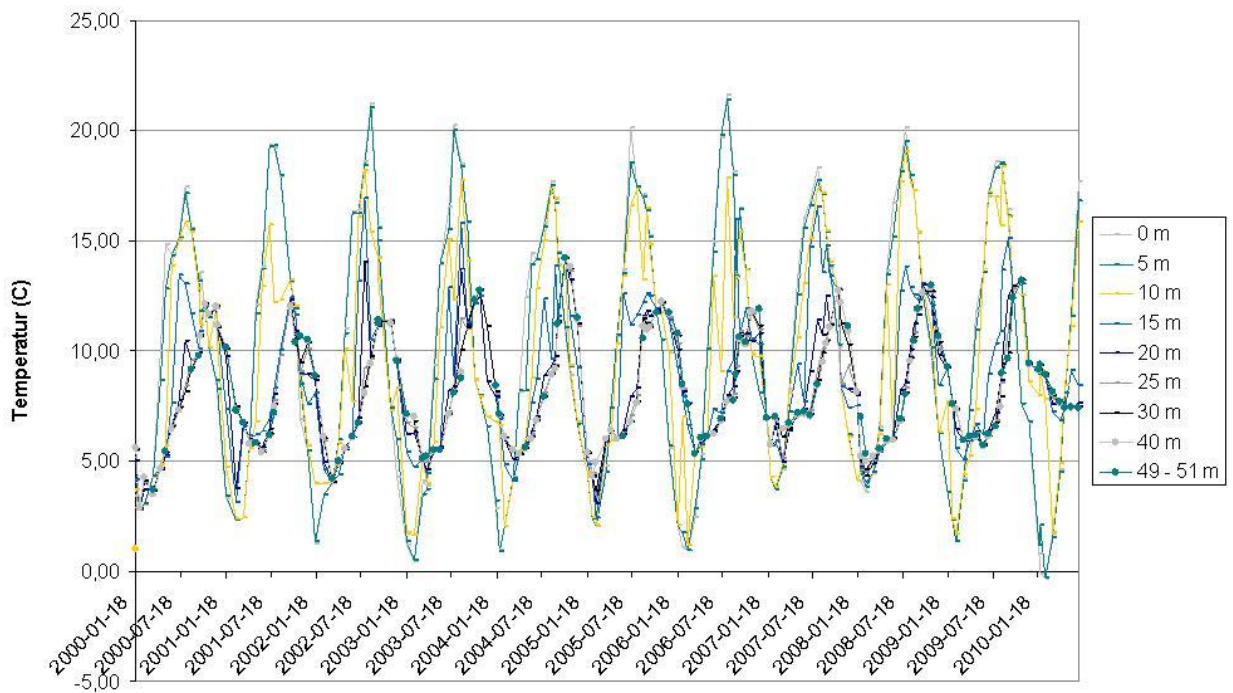
<sup>34</sup> Carlsson, Per (2011)

<sup>35</sup> SMHI (2011)



Figur 9. Medeltemperaturen vid 0 – 51 m djup. (Datakälla: SMHI (2011)).

Enligt Figur 9 kan yttemperaturen växla mellan några grader under januari-februari till uppåt 20°C under sommarmånaderna. Vid större djup är variationen inte lika stor med högsta uppmätta temperaturerna under sensommaren/hösten. Den växlar mellan, som minst 5 – 6°C under våren upp till 12°C. Detsamma kan utläsas ur Figur 10 som visar på större temperaturvariationer i de ytliga lagren i sundet, mellan någon minusgrad till över 20 grader. På djupare vatten är variationen inte lika stor utan pendlar mellan som minst några grader till uppåt 15 grader på sommaren. Ur Figur 9 kan även utläsas att för djup större än 20 m avstannar temperaturvariationerna. Det är därför inte nödvändigtvis så att det är bättre att pumpa upp vatten vid ett större djup för att man då kan åstadkomma en lägre temperatur. Temperaturen är i princip densamma vid 20 m djup som vid 50 m.



Figur 10. Temperaturvariationen under 10 år på 0 – 51 m djup. (Datakälla: SMHI (2011)).



### 3.4 Salthalt

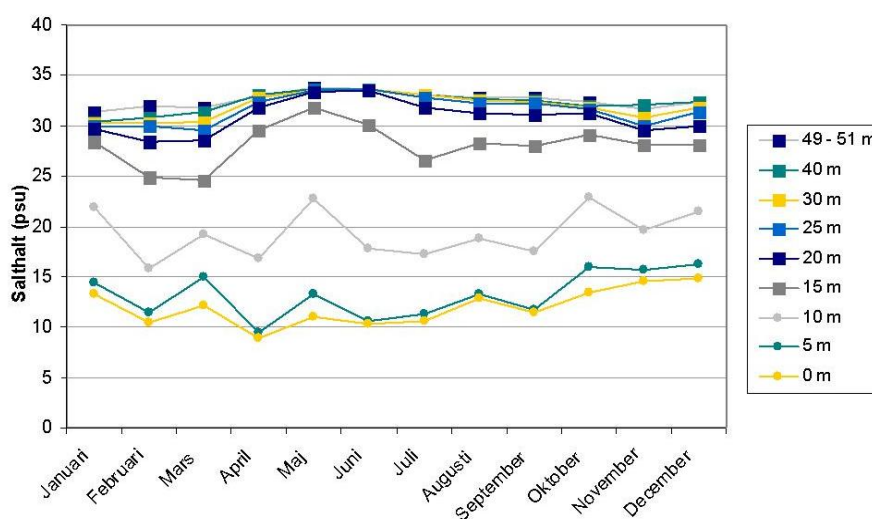
Som tidigare nämnts innebär mötet mellan salt och bräckt vatten att Öresund har unika egenskaper. De olika salthalterna skapar tre skikt i sundet, ytvatten från Östersjön med låg salthalt, ytvatten från Kattegatt med högre salthalt och tungt djupvatten med salthalt uppåt 30 psu (practical salinity unit). I Tabell 3 finns en översikt över salthalterna i sundet där norra Öresund generellt har högre salthalt än de södra delarna av sundet.

Tabell 3, Salthalt [psu] i norra respektive norra/centrala Öresund (Öresunds Vattenvårdsförbund/SWECO Environment AB (2009)).

	Norra Öresund	Norra/centrala Öresund
Ytvatten	$S < 25$	$S < 15$
Mellanvatten	$25 \leq S < 30$	$15 \leq S < 30$
Djupvatten	$S \geq 30$	$S \geq 30$

Från att tidigare, med stor osäkerhet, ha mätt salthalt i promille genom torkning av ett våtprov, mäter man numera konduktiviteten av vattnet, mot en referens, och kan på detta sätt uppnå en högre noggrannhet.<sup>36</sup> Enheten för salthalten, psu (practical salinity unit) är därför dimensionslös. Vid hantering av äldre data eller beräkningar görs oftast antagandet att uppmätningarna av salthalt i promille ungefär motsvarar resultatet som skulle fås med mätning genom konduktivitet.<sup>37</sup>

Som tidigare nämnts har Naturvårdsverket och SMHI genomfört mätningar av bland annat salthalt vid en station väster om Landskrona, se Figur 8 för lokalisering. Data från mätningar under en period på tio år (2000 – 2010) har sammanställts i Figur 11 och Figur 12.



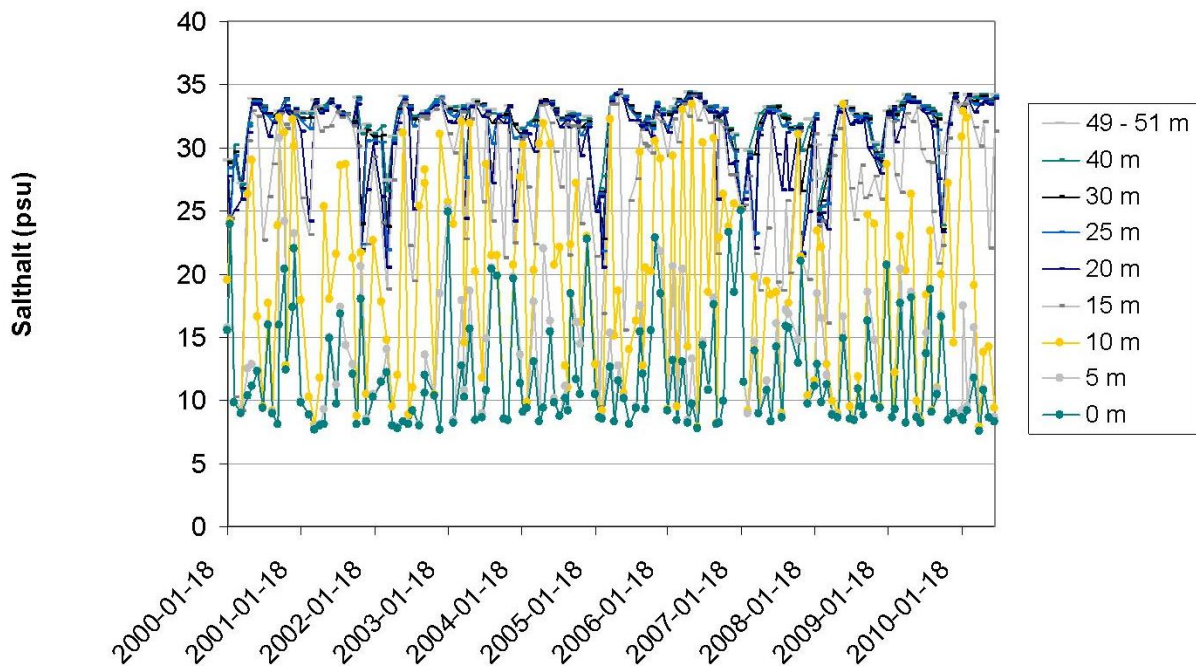
Figur 11. Medelvärde för salthalten vid 0 – 51 m djup (Datakälla: SMHI (2011)).

Medelvärdet för varje månad under en tioårsperiod beräknades för olika djup och illustreras i Figur 11. Ur den kan utläsas att salthalten normalt varierar mellan cirka 10 och 35 psu med ett språngskikt någonstans mellan 10 – 15 m där salthalten ökar. Här är språngskiktet mellan det bräckta vattnet från Östersjön och det salta från Kattegatt. En generell ökning i salthalt kan märkas på våren (maj) och hösten (oktober). Den är dock mest tydlig

<sup>36</sup> NASA

<sup>37</sup> Öresunds Vattenvårdsförbund / SWECO Environment AB (2009)

för djupen i närheten av språngskikten medan salthalten vid mindre och större djup är stabilare. Variationen av salthalten på mellan 5 – 15 m djup syns tydligt i Figur 12, speciellt i data från 10 m djup. Här varierar salthalten kraftigt, mellan cirka 7 och 33 psu.



Figur 12. Variation av salthalten vid 0 – 51 m djup (Dataälla SMHI (2011)).

### 3.5 Vågor

För att höga vågor ska bildas krävs ett öppet havslandskap och långvariga, starka vindar. Vågorna kan då samla mycket kraft vilket skapar goda förutsättningar för vågkraft vid kusterna.<sup>38</sup> På grund av avsaknaden av ett öppet havslandskap, likt Atlanten, är våghöjden i Öresund i genomsnitt låg.

Vågenergi brukar uttryckas i vågmedeleffekt vilket är ett årsmedelvärde för energin uttryckt i Watt per m vågfront.<sup>39</sup> Det är den energimängden som passerar igenom en vertikal yta som är parallell med vågfronten. I en regelbunden sinusformad våg utgörs vågens energi av en potentiell energi  $E_p$ , det arbetet som krävs för att vågens profil ska formas och kinetisk energi  $E_k$ , summan av alla enskilda vattenpartiklarnas rörelse. Den totala energin blir då  $E = E_p + E_k$ .<sup>40</sup>



Mätningar av vågor är begränsade för svenska vatten och då i synnerhet norra Öresund men DMI genomförde mätningar av våghöjden, vid Lappegrund (N 56° 03'6, S 12° 37'8,

) på den danska sidan av sundet mellan 1931 och 1960. Dessa mätningar saknar dock tillhörande vågperiod och vågmedeleffekten i vågorna blir därför svår att kalkylera. Ur sammanställningen av DMI:s mätdata, se Figur 14, kan det uttydas att

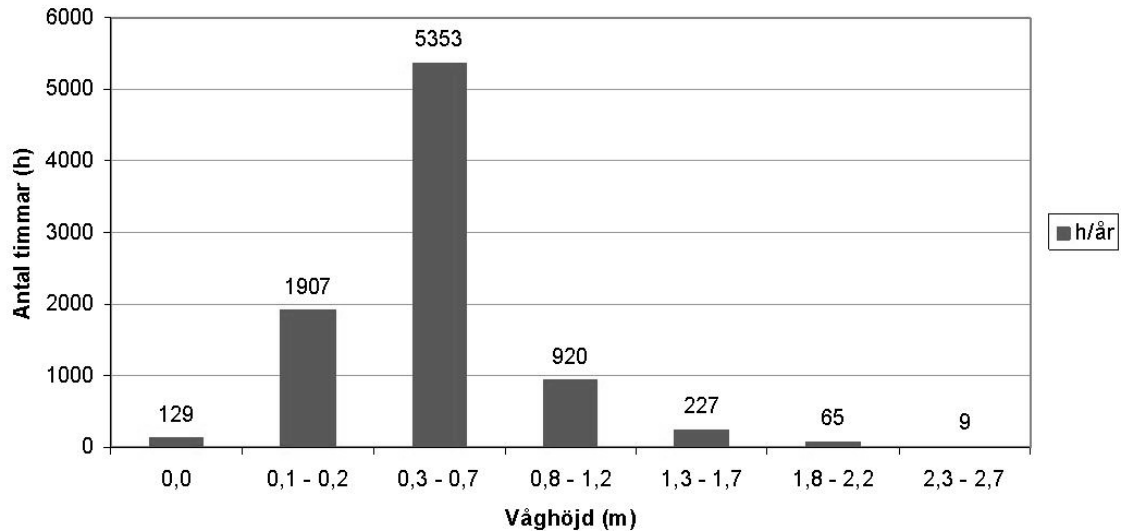
<sup>38</sup> Trinnaman, J., Clarke, A. (2004)

<sup>39</sup> Elforsk (2010)

<sup>40</sup> Claesson, L. (1987)

Figur 13, Lokaliseringen av DMI:s mätstation på Lappegrund i Öresund (DMI (1982)).

våghöjden har ett medelvärde på 0,3 – 0,7 m. Fördelningen under året visar på högre vågor under vinterhalvåret och "lugnare vatten" under vår och sommar.



Figur 14. Fördelning av våghöjd under ett år (Datakälla DMI (1982)).

Innan etableringen av testanläggningen för vågkraft utanför Lysekil gjordes spridda mätningar av våghöjden och vågperioden längst med Sveriges västkust för att finna en lämplig lokalisering. Det genomfördes under åtta års tid på tretton olika mätstationer. En av lokaliseringarna som undersöktes var utanför Falkenbergs kust, ca 12 mil norr om Helsingborg, se

Figur 15.



iggar genom en kombination av vågbojar, våg- och vindmodeller (WAM-model) och tes en genomsnittlig energitransport/vågmedeleffekt på  $2,1 \pm 0,3$  kW/m och ett undraårsperspektiv uppskattas den maximala våghöjden till 6,4 m medan den högst i var 3,7 m.<sup>41</sup> Mätplatsen utanför Falkenberg ligger vid öppnare vatten, se

Figur 15, en förutsättning för höga vågor, och energiinnehållet i vågorna i norra Öresund kan därför antas vara lägre än  $2,1 \pm 0,3$  kW/m.

Mätstationens placering utanför Falkenberg (Google Maps (2011)).

Jon, M. (2009)

### 3.6 Havsmiljön i norra Öresund

Genom diverse kustkontrollprogram i Helsingborg och Landskrona har det marina livet i Öresund studerats med varierande kvalitet och frekvens. Havsmiljön kan delas upp i tre huvudsakliga områden: grund-, språngskikts- och djupområde. Då man rör sig från grundare till djupare havsmiljöer sker en minskning av antalet arter och individtäthet, med de mest frodiga och produktiva områdena där vattendjupet är mellan 0 – 6 m. Det beror till största delen på ljusinsläppet ner till dessa djup. Ljus utav olika färger filtreras bort allt eftersom djupet ökar för att tillslut bara innehålla gröna våglängder. I dessa förhållanden överlever endast rödalger, vid större djup upphör all växtlighet.<sup>42</sup>

Grundområdena karakteriseras av ett stort ljusinflöde och stora, säsongsbetonade svängningar i temperatur, syrehalt, salthalt och vågrörelser. Växter och djur måste därför vara anpassningsbara och tåliga. Vid detta djup ligger individtätheten på ca 50 000 – 100 000 individer per kvadratmeter och kan delas in i tre generella botten typer: vegetationsfria sandbottnar, sandbottnar med inslag av vegetation samt ålgräsängar. Sandbottnarna inhyser en bred variation av mikroorganismer som utgör första steget i näringskedjan. Bottendjuren i dessa områden utgörs av arter från *Macoma*-samhället, bland annat Östersjö-, sand- och hjärtmusslan samt tusensnäck, havsborstmaskar och märlan *Corophium volutator*. Växter, såsom olika arter av nating och nate, trivs också i dessa områden och fungerar som ett skydd för många sediment-levande djur. På friare ytor såsom grusiga botten eller berggrundsbotten, där det finns möjlighet till fäste, lever diverse musslor, bland annat blåmusslan. I grunda vegetationsstäta områden återfinns även smörbultar (samlingsnamn för en fiskgrupp) medan det på vegetationsfria platser är vanligt med sandräkor. Men även lite större plattfiskar såsom skrubbskädda/skrubba, sandskädda, rödspätta och piggvar. Från 1 till 6 meters djup är det vanligt att finna ålgräs (*Zostera marina*) som, förutom att fungera som ett skydd för diverse fiskarter och ett uppväxtområde för musslor etc., minskar risken för erosion i dess vegetationsområden. Inom grundområdet förekommer inga makroalger, på grund av deras, likt musslans, behov av fasta ytor att fästa sig på. På spridda platser kan det dock förekomma brunalger på 1 – 2 meters djup. Dessa brunalger lever ner till ca 15 m djup och ersätts sedan av rödalger.<sup>43</sup>

En annan biotop uppstår i språngskiktet där det bräckta vattnet från Östersjön och det salta vattnet från Kattegatt möts, vid ca 15 meters djup. Här rör sig fiskar som flatfiskar och torsk fritt och söker föda. Individantalet vid dessa djup är i storleksordningen cirka 10 gånger lägre än i grundområden. På de mjuka bottenarna vid detta djup lever bottendjur tillhörande *Abra*-samhället. Hit hör bland annat ärtmusslan, stora islandsmusslan samt kräftdjuret *Diatylis rathkei*.<sup>44</sup>

Med sin höga salthalt och det begränsade vertikala utbyte mellan skikten utgör djuphålorna i Öresund en stabil miljö för salttåliga växter och djur. Generellt ligger temperaturen i denna miljö mellan 4 – 10°C och salthalten på ca 30‰ och är därför bebodd av rent marina djur. Dessa botten kallas för sedimentationsbotten och är mjuka, eftersom de oftast är leriga. Jämfört med de grunda områdena finns här ett större antal olika arter tillhörande *Amphiura*-samhället med färre individer av varje art. *Amphiura*-samhället består till största delen av arter från ormstjärnesläktet bland annat sjöborrar och sjöstjärnor. Här lever även kammusslan samt en variation av havsborstmaskar vars bett kan orsaka stor smärta och svullnad. De fiskarter man kan finna här är en del plattfiskar, ex skrubbskädda, rödspätta och sandskädda samt koljan som specialiserat sig på att finna sin föda i de mjuka sedimenten.<sup>45</sup>

För sportfiskare finns mycket att glädja sig över i norra Öresund. Förutom den stora variationen på plattfiskar finns här även sill, torsk, horngädda, stenbit och havskatt. Sillen är vanligtvis bosatt i djuphålorna i sundet men kan förekomma i grundare vatten upp till fem meters djup. Här finns även torsken som livnar sig på diverse bottendjur och jagar sillstim. När temperaturen stiger under sommarmånaderna drar sig de största fiskarna ner mot kallare temperaturer på större djup. Bland annat horngädda som är en gäst i Öresund under sommaren. Utspridda över alla djup finns plattfiskar som skrubba, sandskädda, lerskädda och rödspätta men dessutom piggvar och diverse tungor. Dessa fiskar lever av maskar, kräftdjur, små fiskar och blötdjur som de finner på diverse djup. Stenbiten, som är eftersökt för sin rom leker i grunda vatten under senvintern för att sedan lägga

<sup>42</sup> Miljöförvaltningen Landskrona kommun / Toxicon AB (1998)

<sup>43</sup> Miljöförvaltningen Landskrona kommun / Toxicon AB (1998)

<sup>44</sup> Miljöförvaltningen Landskrona kommun / Toxicon AB (1998)

<sup>45</sup> Miljöförvaltningen Landskrona kommun / Toxicon AB (1998)

sina ägg. Äggen vaktas sedan av hanen medan honan söker sig till djupare vatten. Havskatten återfinns i djuphålor i sundet, oftast i vrak eller diverse andra konstruktioner. Under specifika perioder under året får Öresund besök av en blandning fiskarter bland annat gråsej, vittling, makrill och under en period på 50-talet: tonfisk. Havsöring och ål är två andra arter som passerar igenom Öresund.<sup>46</sup>

### 3.7 Marina däggdjur

De marina däggdjur som kan förekomma i Öresund är vanligtvis bosatta i Östersjön eller Kattegatt/Nordsjön och orienterar sig till sundet under kortare perioder. Antalet marina djur är begränsade i Östersjön på grund av det bräckta vattnet med varierande salthalt. Anpassningen till salthalten är endast möjlig för ett begränsat antal arter, är energikrävande och leder ofta till att många av de förekommande arterna är små till växten. De vanligast förekommande marina däggdjuren i Östersjön är gråsäl (*Halichoerus grypus*), knobbsäl (*Phoca vitulina*) och vanlig tumlare (*Phocoena phocoena*). Gråsälen drar sig sällan västerut mot Nordsjön från Östersjön men kan förekomma i sundet. Den livnär sig på fisk och lever normalt i flock. Under sommaren drar den sig till holmar och skär för att under vintern söka sig till drivis som gränsar mot öppet vatten. Knobbsäl är den art som är vanligast förekommande i Öresund. Den lever i par eller mindre flockar med bentisk fisk som huvudföda men även skal- och kräftdjur. Vanliga tumlare finns utbredda från Nordsjön ända in till sydligare delar av Östersjön. Även den lever i par eller mindre flockar och livnär sig på torsk, bläckfisk etc.<sup>47,48</sup>

---

<sup>46</sup> Miljöförvaltningen Landskrona kommun / Toxicon AB (1998)

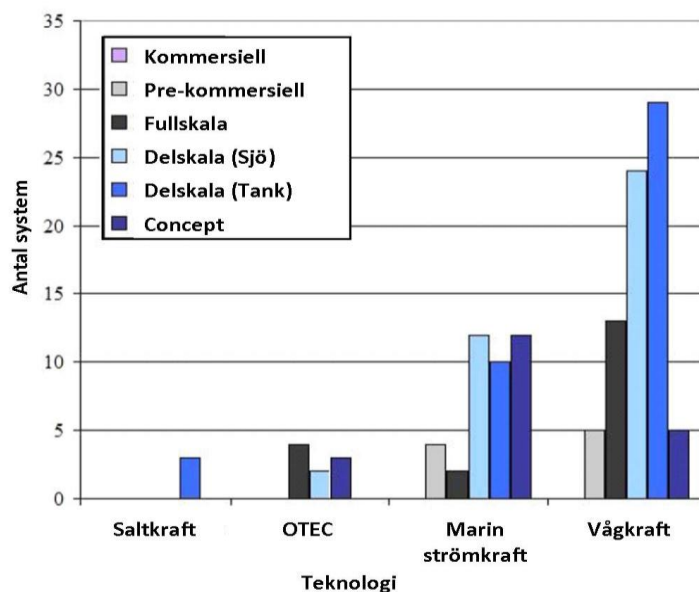
<sup>47</sup> Östersjöportalen

<sup>48</sup> Reijnders P.J.H., Lankester K. (1990)

# 4 Teknologier för utvinning av marin förnyelsebar energi

Pressen är stor på energiproducenter att utveckla nya, hållbara sätt att tillgodose vårt framtida energibehov utan att hindra kommande generationers möjligheter att tillgodose sina. Ett möjligt förnyelsebart alternativ är att använda sig av den till största delen outnyttjade källan: havet. Forskningen kring möjligheterna att använda sig av vågor och tidvattenströmmar har pågått under många år och har på senare år ådragit sig större intresse. Detta främst på grund av att den oron för klimatpåverkan från konventionella energikällor och den påföljande stigande kostnaden för dessa har skapat en större marknad och en ökad lönsamhet för förnybara alternativ. Forskning pågår därför kring möjligheterna att använda sig av vågor, strömmar, saltskillnader, temperaturdifferenser eller källor av kallt vatten för att producera energi. Potentialerna för marin förnybar energi skiljer sig stort mellan länder och forskningen har därför koncentrerats till platser belägna i anslutning till de stora världshaven. The International Energy Agency har en specifik gren, Ocean Energy Systems (IEA – OES) som övervakar utvecklingen inom området och samordnar forskningen. Från och med 2010 är 18 länder medlemmar i samarbetet och kunskapsutbytet.<sup>49</sup> De har skapat ett ramverk för samarbete inom forskning, demonstrationsanläggningar samt en plattform för utbyte av information.

Som illustrerat i Figur 16 är utvecklingsgraden för diverse tekniker varierande. Många enskilda utvecklare har etablerats inom marina ström-, tidvatten- respektive vågkraften men denna industri står ännu utan kommersiella anläggningar. OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion) är under utveckling med några mindre anläggningar i användning. Saltkraften är dock kvar i forskningsstadiet med bland annat en testanläggning i Norge, byggd av norska Statkraft.



Figur 16. Mognadsgrad för diverse havskraftstekniker (Güney, M. S., Kaygusuz, K. (2010))

Förhoppningen är att finna en teknik som lämpar sig för de fysikaliska förutsättningarna givna av Öresund och som kan generera en tillräcklig mängd energi för att vara med att bidra till att öka hållbarheten för Helsingborgs stad och andelen förnybar energi för Öresundskraft AB. Utvärderingen av tekniker för utvinning av förnybar energi inkluderar fem olika tekniker:

- OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion)
- Saltkraft

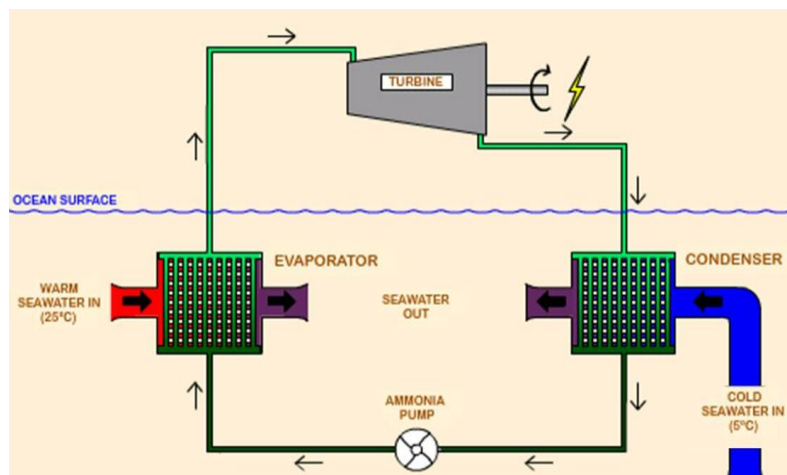
<sup>49</sup> IEA – Energy Technology Network (2011)

- Marin strömkraft
- Vågkraft
- Frikyla

Varje teknik kommer att, i ett första steg, utvärderas utifrån dess möjligheter att användas i Öresund. Det innebär att tonvikten i denna utredning kommer att ligga i att hitta information om de optimala förhållandena för varje enskild teknisk lösning, exempelvis för vilka strömhastigheter som ett strömkraftverk lämpar sig eller för vilken vågmedeleffekt som ett vågkraftverk är optimerat. En viktig aspekt att ta i beaktande är hur de olika teknikerna kan komma att påverka landskapsbilden. För att förenkla tillståndsprocessen bör denna påverkan minimeras i ett försök att minska antalet motståndare till en eventuell etablering. Dessutom bör behovet av underhåll vara begränsat, för att på detta sätt försäkra sig om lönsamheten för projektet.

## 4.1 OTEC – Ocean Thermal Energy Conversion

På utvalda platser i världen återfinns vattenmassor med stora temperaturskillnader ( $\Delta T$ ) i yt- respektive djupskikten. Dessa temperaturskillnader kan, med en lättflyktig vätska i ett slutet system, utnyttjas för att producera energi. Vid Ocean Thermal Energy Conversion värmeväxlas en arbetsvätska, i detta fall ammoniak på grund av dess fysikaliska egenskaper, mot det varma ytvattnet. Vätskan används sedan för att driva en turbin där elektricitet utvinns. Återigen värmeväxlas arbetsvätskan mot det kalla djupvattnet som normalt sett håller en temperatur på 4°C, se Figur 17.



Figur 17. Principskiss Ocean Thermal Energy Conversion (Makai Ocean Engineering (2010))

För att få ett fungerande system krävs generellt en temperaturdifferens på över 20°C, något som bara uppnås i tropiska länder på breddgrader mellan 20° nordlig bredd och 20° sydlig bredd.<sup>50</sup> I dagsläget är kapitalkostnaden det största problemet för Ocean Thermal Energy Conversion. Stora investeringar krävs för en relativt låg avkastning i form av energiutvinning.<sup>51</sup> Därför krävs stora temperaturskillnader och stora volymer vatten för att få ett fungerande system.

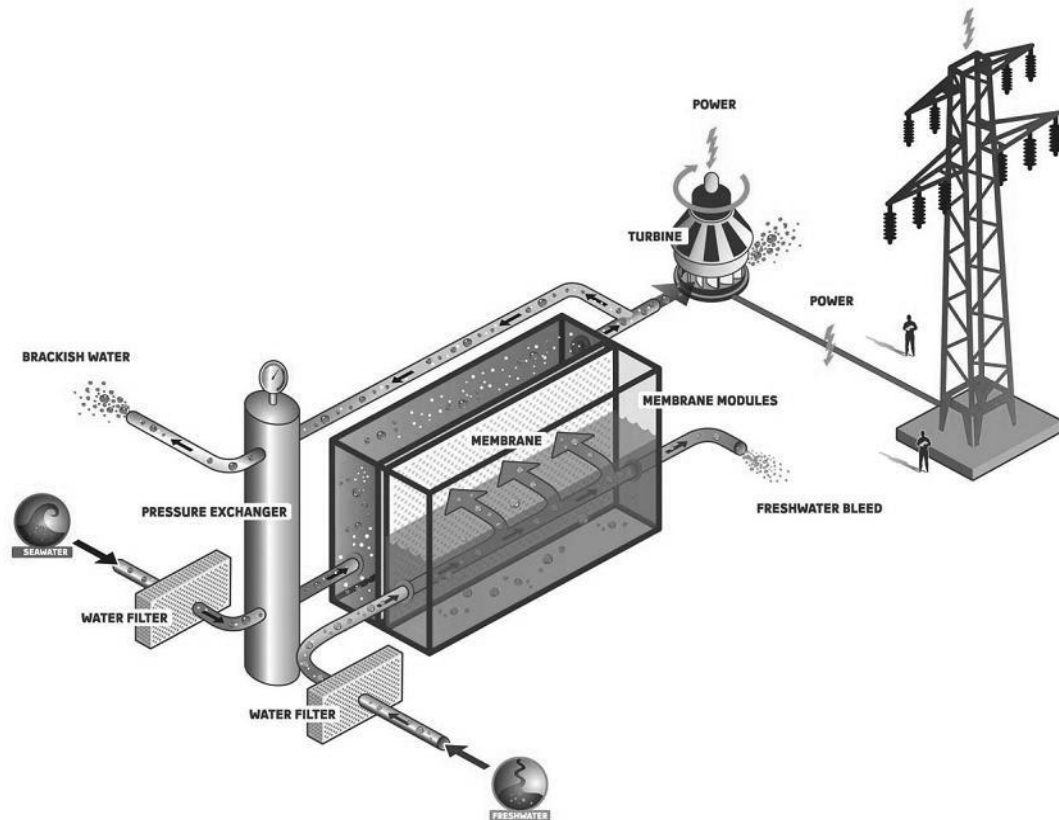
## 4.2 Saltkraft

När sötvatten rinner ut i saltvatten frigörs stora mängder energi då saltkoncentrationen mellan det söta och det salta ska utjämnas. Denna energi kan, på grund av det osmotiska trycket, utnyttjas i ett saltkraftverk för att producera energi. Det salta och söta vattnet renas först i en reningsanläggning innan det pumpas in i anläggningen där de skiljs åt av ett specialutformat membran. Då det salta vattnet drar till sig det söta uppstår en tryckskillnad mellan vattenmassorna och med en fixerad volym saltvatten skapas ett övertryck som kan

<sup>50</sup> Lockheed Martin (2009)

<sup>51</sup> Lockheed Martin (2009)

användas till att driva en turbin som genererar elektricitet, se Figur 18. Detta kräver ungefär dubbelt så stor volym saltvatten som sötvatten. Det teoretiska maximum är 26 bar med ett inflöde av sötvatten och saltvatten med salthalt runt 30-35 psu. Detta tryck motsvarar en vattenkolumn med höjden 270 m. Det optimala trycket vid drift uppges vara mellan 11 – 15 bar  $\approx$  100 – 145 mH<sub>2</sub>O. Man beräknar då att tekniken ger upphov till 1 MW per m<sup>3</sup> sötvatten i ett system med effektivitet på 81 %.<sup>52</sup>



Figur 18. Principskiss för saltkraftverk (Statkraft (2010))

Det norska energibolaget Statkraft är bland de främsta utvecklarna av saltkraft i världen. I testanläggningen i Tofte genereras en tryckskillnad motsvarande en vattenhöjd på 120 m. En pilotanläggning är under utveckling och Statkraft har som målsättning att ha byggt en kommersiell saltkraftanläggning 2015.<sup>53</sup> Med hjälp av beräkningsmetoder baserade på hydrologisk metodik har den totala potentialen för Norge uppskattats till 12 TWh el, ca 10 % av landets årliga elkonsumention.<sup>54</sup> Utmaningen för saltkraft ligger i membranens egenskaper och mycket forskning har därför gått åt för dess utveckling. Membranen behöver goda egenskaper när det gäller genomsläppligheten för vatten och retention av salt. Dess egenskaper bör vara i storleksordningen 5 W/m<sup>2</sup>, vilket motsvarar den energimängden som kan produceras ur varje kvadratmeter membran vid användandet av en sötvattenkälla och tungt, salt havsvatten. I dagläget finns dock endast membran med en kapacitet på ca 3 W/m<sup>2</sup>. För några år sen lyckades forskarna bara uppnå ca 0,1 W/m<sup>2</sup> så man kan se att utvecklingen går snabbt framåt och Statkraft ser ljus på framtiden.<sup>55</sup> Kapitalkostnaden jämfört med andra förnyelsebara energikällor uppges vara hög på grund av det kostsamma membranet. Ett saltkraftverk med en effekt på 25 MW uppskattas behöva 5 miljoner m<sup>2</sup> membran.<sup>56</sup>

Enligt Torbjörn Steen på Statkraft finns det möjlighet att utvinna saltkraft på svenska västkusten. Exempelvis är potentialen vid Göta älvs utmynning beräknat till 1,5 TWh.<sup>57</sup>

<sup>52</sup> Skilhagen, S. E., Dugstad, J. E., Aaberg, R. J. (2007)

<sup>53</sup> Statkraft (2010)

<sup>54</sup> Skilhagen, S. E., Dugstad, J. E., Aaberg, R. J. (2007)

<sup>55</sup> Skråmestø, Ø. S., Skilhagen, S. E., Nielsen, W. K., (2009)

<sup>56</sup> Skilhagen, S. E., Dugstad, J. E., Aaberg, R. J. (2007)

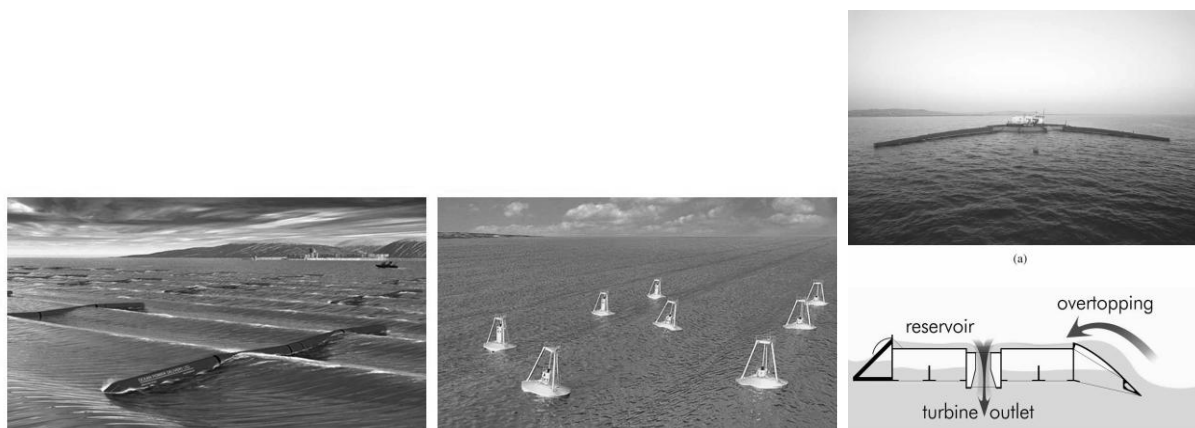
<sup>57</sup> Fröberg, J. (2008)



## 4.3 Vågkraft

Forskningen kring energiutvinning från vågor är vida utbredd då man på utvalda platser i världen har stora resurser. Sverige har inga stora tillgångar till vågenergi (energiinnehållet i svenska vågor skiljer sig åt med en faktor tio jämfört med norska) men forskning pågår för att utveckla tekniker som är anpassade för våra svenska förhållanden med lägre våghöjder. Mats Leijon vid Uppsala universitet, har under många år studerat möjligheterna till en teknik som är anpassad för lägre vågförhållanden. Genom företaget Seabased har en forskningspark och provanläggning upprättats utanför Islandsberg i Lysekil. Tekniken som Seabased använder sig av kräver ett djup på minst 25 m och en flack botten.<sup>58</sup>

Vågor är ett resultat av vindens påverkan på havsytan.<sup>59</sup> Vågorna kan röra sig över långa avstånd utan att förlora några större mängder energi och kan därmed generera energi under längre tid än exempelvis vindkraft.<sup>60</sup> Det beror på vågornas förmåga att fortsätta rulla efter att vinden har upphört.<sup>61</sup> Över 1000 tekniker för energiutvinning ur vågor finns patenterade världen över. De kan delas in i kategorier beroende på lokalisering (på kusten, kustnära och offshore), utformning (*Attenuator* – breder ut sig parallellt med vågens riktning, *Point Absorber* - fångar energin i en punkt och är därmed oberoende av riktningen och *Terminator* – är vinkelrät mot vågens riktning och fångar in hela vågen genom att genskjuta den) samt teknologi (*Submerged Pressure Differential*, *Oscillating Wave Surge Converter*, *Oscillating Water Column*, *Overtopping Device* etc).<sup>62</sup> En sammanfattning av tillgänglig information för alla undersökta vågkraftstekniker finns i appendix Appendix 3. Vågkraftsteknologier.



Figur 19. Exempel på utformning av vågkraftverk. Fr v: Attenuator device: Pelamis Wave Farm, Point absorber: OPT Powerbuoy och Terminator: Overtopping WEC, the Wave Dragon. (Drew, B., Plummer, A. R., Sahinkaya, M. N. (2009))

### 4.3.1 Attenuator

Attenuator är placerad parallellt med vågornas riktning, följer vågornas rörelse och fångar dess innevarande energi med hjälp av en arbetsvätska inuti kraftverket. Genom hydrauliska generatorer utvinns elektricitet ur den trycksatta vätskan. I Figur 19 ser vi ett exempel, Pelamis Wave farm, som är delvis nedsänkt i vatten. Pelamis är uppbyggd av fyra delmoduler och ger en effekt på 750 kW med en effektivitet på 70 %. Den passar lämpligast i vatten med 50 – 70 m djup och en genomsnittlig våghöjd på 6 – 7 m.<sup>63</sup> Ett annat exempel på attenuator är Wave treader från Green Ocean Energy. Detta kraftverk installeras i anslutning till havsbaserade vindkraftverk, har en effekt på 500 kW<sup>64</sup> och uppges fungera optimalt vid våghöjder på minst 0,75 m<sup>65</sup>. Det Göteborgsbaserade företaget Vigor Wave Energy AB:s Vigor Wave Energy Converter är fortfarande under

<sup>58</sup> Seabased (2009)

<sup>59</sup> SMHI (2009b)

<sup>60</sup> Drew, B., Plummer, A. R., Sahinkaya, M. N. (2009)

<sup>61</sup> Uppsala Universitet (2011b)

<sup>62</sup> Drew, B., Plummer, A. R., Sahinkaya, M. N. (2009)

<sup>63</sup> Pelamis Wave Power (2011)

<sup>64</sup> Green Ocean Energy (2010)

<sup>65</sup> Sarkis, Laura (2011)

utveckling och tros, i ett första steg, lämpa sig för våghöjder i storleksordningen 2 – 4 m men förhoppningen är att kunna utveckla tekniken till våghöjder mellan 1 – 1,5 m.<sup>66</sup>

### 4.3.2 Point Absorber

I vattenområden med starkt varierande vågriktningar är det lämpligt med installation av point absorber. Ett exempel på denna typ av teknik är den som utvecklats av Seabased och används utanför Lysekil. Ocean Power Technology har utvecklat Powerbuoy, gjord av en enkel stålkonstruktion som är delvis nedsänkt. Den ger en effekt på 150 kW<sup>67</sup> och passar bäst i vatten med ett energiinnehåll på minst 20 kW/m.<sup>68</sup>

### 4.3.3 Terminator

Genom att genskjuta vågen kan en terminator fånga dess innevarande energi. Wave dragon har utvecklat ett antal olika tekniker, lämpliga för olika förutsättningar och med diverse effekt. Prototypen bestod av sju turbiner med en total effekt på 20 kW, testad i 6 m djupt vatten med ett energiinnehåll på 0,4 kW/m. De kommersiella anläggningarna består av allt från 16 – 24 turbiner med en effekt på mellan 4 till 11 MW och passar i områden med en vågmedeleffekt på 24 – 48 kW/m. Många av dessa tekniker är fasta konstruktioner som placeras på strandkanten, bland annat Limpet av Voith Hydro AS som fungerar bäst med vågmedeleffekter på 15 – 25 kW/m och har en effekt på 500 kW/m.

## 4.4 Marin strömkraft

Energiinnehållet i havsströmmar är hög och marina strömmar ses därför som en lämplig källa för elproduktion. Forskning kring energiutvinning ur strömmar började som försök på tidvatten där dess förutsägbarhet och möjligheten till stora differenser i höjd lockade till teknikutvecklingen. I jämförelse med vind har vatten 832 gånger högre densitet.<sup>69</sup> För samma diameter vattenflöde vid samma hastighet som vinden kan därför en högre produktion uppnås; alternativt så kan en turbin med mindre diameter uppnå produktion i samma storleksordning som ett vindkraftverk.<sup>70</sup> Med dagens välutvecklade vindkrafttekniker kombinerade med forskningsframsteg i utvecklingen av tåliga material för oljeplattformar tros möjligheterna, för energiutvinning ur havsströmmar att bli en av framtidens viktiga alternativa energikällor, ha ökat.

Det finns huvudsakligen två sätt att utvinna energi från marina strömmar. Det första alternativet är att, likt vattenkraft, bygga en barriär för vattnet. Detta är, av naturliga skäl, inte aktuellt för Öresund på grund av platsbristen i sundet och den störning av omgivningarna som det skulle innebära.<sup>71</sup> Istället skulle det, för Öresund, vara mer passande att använda sig av exempelvis en turbin med vilket man kan fånga upp det strömmande vattnets energi.

Marina strömkraftverk omvandlar den kinetiska energin i tidvattenströmmar, strömmar i åar och marina strömmar för att producera elektricitet. Lämpliga lokaliseringar kan därför vara flodmynningar, runt uddar, i smala sund eller vattendrag. Generellt sägs "cut-in" hastigheten för ett marint strömkraftverk vara 1 m/s = 1,95 knop men det är beroende av de tekniska förutsättningarna givna av turbinen.<sup>72, 73</sup>

Forskning kring marina strömkraftverk pågår på en handfull platser över hela världen, främst i länder med stor tillgång till tidvattenströmmar (Storbritannien, Irland, Canada, USA etc)<sup>74</sup>. På grund av vattenströmmars låga

---

<sup>66</sup> Stübner, Christian (2011)

<sup>67</sup> Ocean Power Technologies (2011a)

<sup>68</sup> Ocean Power Technologies (2011b)

<sup>69</sup> Güney, M. S., Kaygusuz, K. (2010)

<sup>70</sup> Atlantis Resource Corporation (2009)

<sup>71</sup> Elghali S. E. B. et al (2007)

<sup>72</sup> Shields, M. A., Dillon, L. J., Woolf, D. K., Ford, A. T. (2009)

<sup>73</sup> Uppsala Universitet (2009)

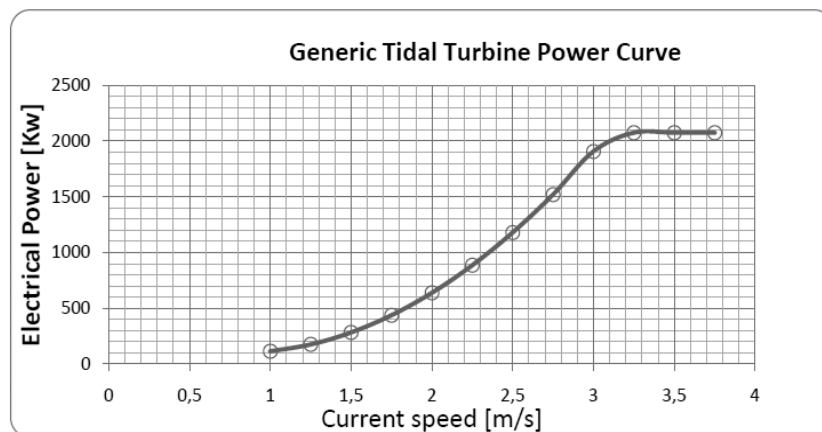
<sup>74</sup> IEA – Energy Technology Network (2011)

hastighet kommer turbinens rotationshastighet vara mycket låg i jämförelse med normalläget för turbiner, till exempel ångturbin, och dessa turbiner måste därför specialutformas för att passa dessa omständigheter.<sup>75</sup>

På grund av den långsamma rotationshastigheten kommer turbinernas inverkan på närmiljön att vara begränsad och är därför ett intressant alternativ utifrån ett hållbarhetsperspektiv.<sup>76</sup> Under normala omständigheter är konstruktionerna i stort sett utsläppsfria om man bortser från utsläpp under tillverkningsprocessen, anläggandet och avvecklingen. Ur ett livscykelperspektiv, i jämförelse med andra energislag, anses klimatpåverkan vara låg.<sup>77</sup> I Tabell 4 och Figur 20, Energiavkastning vid olika strömningshastigheter, Antaget en diameter på 25 m (IEA – OES (2010)) visas den potentiella energiproduktionen vid olika strömhastigheter.

Tabell 4, Marina strömkraftverks kapacitet vid olika strömhastigheter (Güney, M. S., Kaygusuz, K. (2010))

Rotor diameter	2 m/s	3 m/s	4 m/s	
5	32,5	105	250	[kW]
10	130	420	1000	[kW]
15	292,5	945	2250	[kW]



Figur 20, Energiavkastning vid olika strömningshastigheter, Antaget en diameter på 25 m (IEA – OES (2010))

#### 4.4.1 Horisontalaxlade turbiner

I turbiner med horisontell axel är rotationsaxeln parallell med strömriktningen. Konstruktionerna kan vara antingen helt eller delvis nedsänkta under vattenytan, se Figur 21. En viktig aspekt att ta hänsyn till är huruvida turbinen är utrustad med ett rör som rätar upp det inkommande flödet och på så sätt ökar verkningsgraden för kraftverket och därmed det potentiella energiuttaget.<sup>78</sup> Den teoretiskt högsta verkningsgraden för marina strömkraftverk är, precis som för vindkraft, 16/27 det vill säga 59,3%. I praktiken är den dock betydligt lägre men skiljer sig åt mellan tillverkare och strömningsförutsättningar.<sup>79</sup> Turbiner förekommer som, i tester, har visat en verkningsgrad på 45%.<sup>80</sup> Teknikerna är många och varierande. Nedan följer en genomgång av de som är vanligast på marknaden. En sammanfattning av alla teknikutvecklare som har undersökt inom denna studie finns i appendix Appendix 4. Marina havskraftstekniker.

<sup>75</sup> Uppsala Universitet (2011a)

<sup>76</sup> Uppsala Universitet (2009)

<sup>77</sup> Grabbe, M. (2009)

<sup>78</sup> Sweco Grøner (2007)

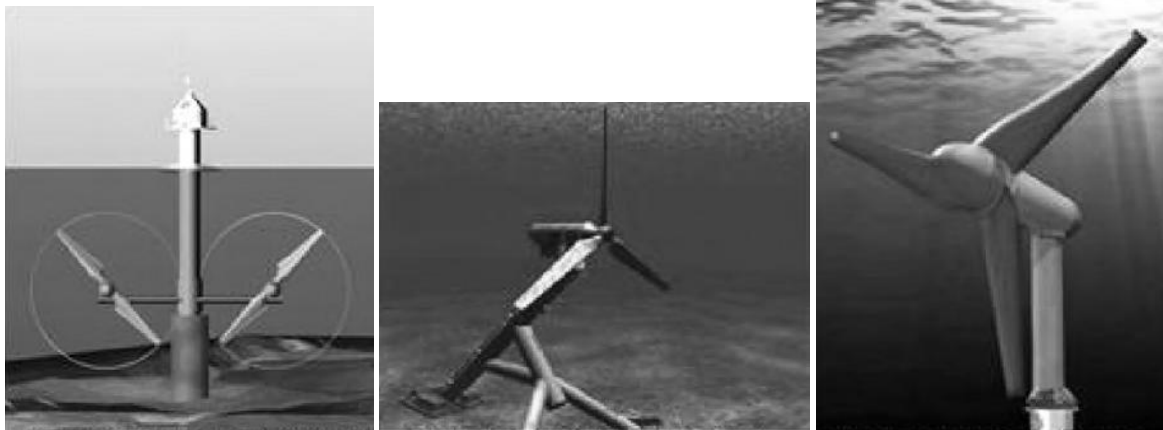
<sup>79</sup> Sweco Grøner (2007)

<sup>80</sup> Natural Resources Canada / Devine Tarbell and Associates Inc. (2008)

### *Tvåbladig turbin*

Tvåbladiga turbiner utvecklades först för att användas i tidvattenströmmar men är applicerbara för marina strömmar. Tekniken kräver generellt en strömhastighet över 2 m/s och med rotorblad med en diameter på 20 m kräver de ett minimum djup på 30 m.<sup>81</sup>

Marine Current Energy har utvecklat en två-bladig turbin, Seagen, som har testats vid testanläggningen vid European Marine Energy Centre (EMEC) i Orkney, Storbritannien. Seagen har en uppmätt effekt på 1,2 MW vid en strömhastighet på 2,4 m/s och kan utformas med en diameter på mellan 14 och 20 meter.



*Figur 21, Tre marina strömkraftsturbiner; Från vänster: tvåbladig turbin från Marine Current Energy, trebladig turbin från Hammerfest och trebladig turbin från Verdant Power. (Güney, M. S., Kaygusuz, K. (2010))*

### *Trebladig turbin*

Trebladiga turbiner har generellt en hög effektivitet för ett större spann av strömningshastigheter. Verdant Power och Hammerfest strøm är bland de främsta utvecklarna av tekniken.<sup>82</sup> Hammerfest strøm erbjuder en teknik (HS300) med en effekt på 300 kW som lämpar sig för strömhastigheter över 2,5 m/s och ett djup på 40 – 100 m.<sup>83</sup> Verdant Power har utvecklat en teknik (Free Flow Kinetic Hydropower System) som lämpar sig bättre för lägre djup (9 m) och lägre strömhastigheter (minimum 1,8 m/s).<sup>84</sup>

### *Multibladig turbin*

Lunar Energy har utvecklat en teknik kallad Rotate Tidal Turbine (RTT) där turbinen är helt nedsänkt under vattenytan och placerad på havets botten. Den är utrustad med 6 rotorblad och har en diameter på 11,5 m. Turbinen är anpassad till att kunna fånga strömmar från två riktningar och har i test visat på en effekt kring 1 MW. Turbinen placeras i röret som en kassett som kan lyftas ur konstruktionen, vilket förenklar underhållet. Tekniken anses vara bäst lämpad för förutsägbara strömmar med höga hastigheter.<sup>85</sup>

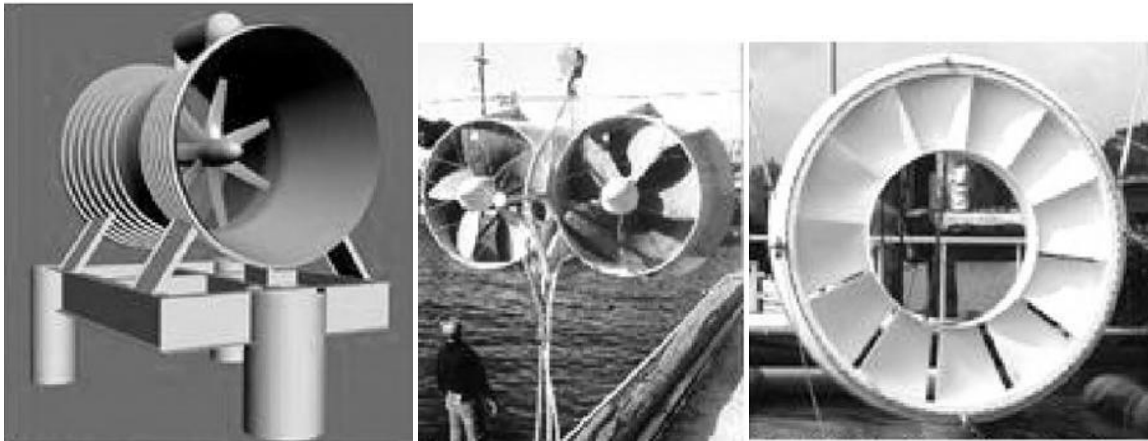
<sup>81</sup> Güney, M. S., Kaygusuz, K. (2010)

<sup>82</sup> Güney, M. S., Kaygusuz, K. (2010)

<sup>83</sup> Hammerfest Strøm (2011)

<sup>84</sup> Taylor, Trey (2010)

<sup>85</sup> Güney, M. S., Kaygusuz, K. (2010)



Figur 22, Multibladiga turbiner, Lunar Energy (RTT), UEK och Openhydro,. (Güney, M. S., Kaygusuz, K. (2010))

UEK (Underwater Electric Kite) Dual Hydroturbine System är designad för att placeras som en fristående turbin och kan utformas efter de lokala förutsättningarna. Tekniken uppges fungera bäst i strömhastigheter mellan 2 – 4 m/s där tvillingturbinerna kan ge en effekt på 2x45 kW med en verkningsgrad på 57.1%.<sup>86</sup> Flee Flow Power Technology's (FFPT) SmarTurbine™ Generator ger i sin version med en diameter på 3 m upphov till 10 kW vid en flödes hastighet på 2,25 m/s respektive 40 kW vid en strömningshastighet på 3 m/s. Multibladiga turbiner förekommer även med öppet mittparti. En av utvecklarna av denna teknik, OpenHydro, anger att en turbin med diametern 3 m kan ge upphov till 15,5 kW.

#### 4.4.2 Vertikalaxlade turbiner

Den stora fördelen för vertikalaxlade turbiner är möjligheten att ha en större diameter än vad som tillåts av det tillgängliga vattendjupet. En horisontalaxlad turbin med en diameter på 20 m kan inte placeras i vatten med ett djup på 15 m medan den diametern är möjlig vid det djupet om turbinen är vertikalaxlad. Vertikal-axlade turbiner har en lägre teoretisk verkningsgrad på mellan 23,5 och 35 %.<sup>87</sup> Generellt sett är denna typ av turbiner anpassade för mindre vattenflöden som åar och vattendrag och utvecklade för att lokalt ge en liten mängd energi.



Figur 23, Vertikalaxlade turbiner. Fr.v. Gorlov Helical Turbine (The Gorlov Helical Turbine [2011-02-07]), Kobold turbine (Ponte di Archimede International S.p.A. (2006)), WPI prototyp Bravo (Water Power Industries AS (2004)).

Alternative Hydro Solutions Ltd har utvecklat Darrieus turbinen som bäst lämpar sig för grundare vatten, exempelvis åar. De anger själva en prestanda – koefficient på ca 0,17.<sup>88</sup> Darrieus uppges fungera bättre vid strömning med lägre hastighet än de övriga alternativen. Med Gorlov Helical turbine (se Figur 23) kan strömmar fångas oberoende av dess riktning. Denna turbin är utformad med två eller tre blad och med en

<sup>86</sup> UEK – Underwater Electric Kite

<sup>87</sup> Sweco Grøner (2007)

<sup>88</sup> Alternative Hydro Solutions (2011)

maximal effektivitet på 0,30. Gorlov Helical Turbine<sup>89</sup> börjar rotera av sig själv vid 0,61 m/s och utvecklas nu i samarbete med Lucid Energy Technologies och Northwest Pipe Company för appliceringar inuti rörledningar.<sup>90</sup>

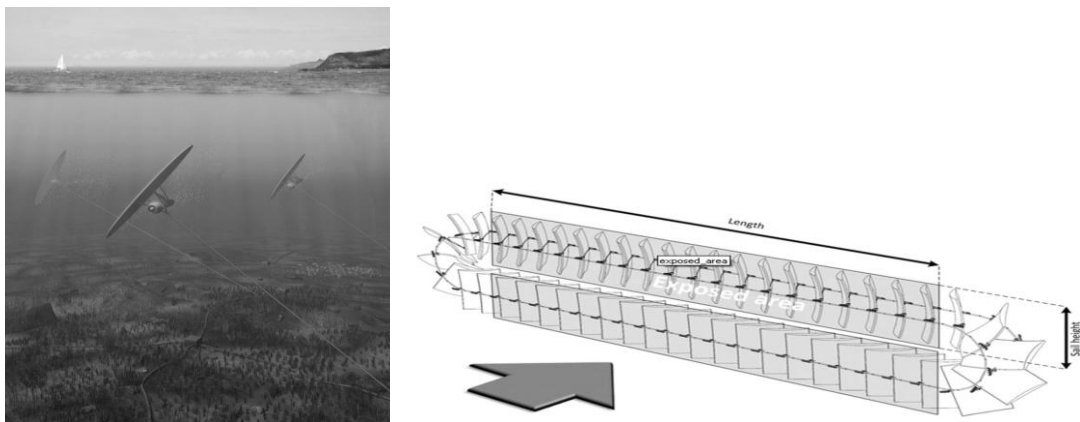
De italienska utvecklarna Ponte di Archimedes har en testanläggning för deras Kobold turbine (se Figur 23) i Messinasundet som är anpassad för de lokala hastigheterna på 2 m/s.<sup>91</sup> Där uppges den nå en effektivitet på 23%.<sup>92</sup>

Det norska företaget Water Power Industries prototyp Bravo, se Figur 23, använder sig också av Darrieus tekniken och har på detta sätt uppnått ett energiutbyte på 50 % för ett brett spann av hastigheter. Den uppges fungera i allt från åar till tidvattenströmmar och marina strömmar.<sup>93</sup>

Energiutvinningen med hjälp av strömmar kan sammankopplas med etableringen av broar genom att rader av turbiner staplas på varandra och kan utgöra basen för bron. Det kanadensiska bolaget Blue Energy utvecklar denna typ av teknik där man använder sig av The Davis Hydro Turbine med en effekt på 125 kW och en cut-in hastighet på 1 m/s.<sup>94</sup>

### 4.4.3 Övrig teknik

Förutom de mer konventionella horisontal- och vertikalaxlade turbiner finns tekniker som närmast kan beskrivas som drakar. Ett exempel på detta är Minesto's Deep Green Technology med en effekt på 500 kW. Havsströmmen påverkar konstruktionen på ett sådant sätt att den automatiskt rör sig i en bana likt en åtta. Tekniken har fördelen att draken rör sig med en högre hastighet än strömmen och turbinen som är fäst under dess vingar kan därmed fånga energi ur en högre hastighet. Exempelvis rör sig draken med en hastighet på 16 m/s när strömmen är 1,6 m/s. Varje drake har en vingbredd på 12 m och tekniken kräver ett djup på mellan 50 och 300 m.<sup>95</sup> Jämfört med de turbiner som tidigare diskuterats så kräver denna typ av konstruktion en större area. Till skillnad från många av de andra tekniker som har diskuterats tidigare kan Deep Green Technology fånga ytströmmen. Då strömhastigheterna oftast är som högst vid ytan kan det vara en stor fördel.



Figur 24, Till vänster: Deep Green Technology (Minesto (2007)) Till höger: Aqua Energy Solutions, (Aqua Energy Solutions (2011))

I Figur 24 visas Aqua Energy Solutions (AES) lösning med paddlar som kan fånga strömmen och vars längd kan anpassas efter de lokala förhållandena. Effekten för kraftverket varierar därmed men uppges ha en effektivitet

<sup>89</sup> The Gorlov Helical Turbine [2011-02-07]

<sup>90</sup> Lucid Energy (2011)

<sup>91</sup> Ponte di Archimede International S.p.A. (2006)

<sup>92</sup> Ponte di Archimede International S.p.A. (2006)

<sup>93</sup> Water Power Industries AS (2004)

<sup>94</sup> Blue Energy (2009)

<sup>95</sup> Minesto (2007)

på 37 %. Cut-in hastigheten förväntas vara ca 0,5 m/s, uppges fungera bäst för strömhastigheter i storleksordning 2,8 m/s men tros kunna fungera för snitthastigheter ner mot 1 – 1,5 m/s.<sup>96</sup>

Det finns många olika sätt att fästa turbinerna på havsbotten för att kunna utvinna energi ur strömmarna. Horisontella turbiner fästs generellt på havsbotten på ett av tre sätt: genom att utnyttja gravitationskrafter och fästa turbinerna på tunga betongblock, pålade ner i berggrunden/sedimentet eller som flytande konstruktioner förankrade på botten av en lina.<sup>97</sup> De kan då antingen konstrueras så att de är synliga ovanför vattenytan eller så att de är nedsänkta. Vertikalaxlade turbiner fästs, i de flesta fall, på en ställning som sträcker sig ovanför vattenytan och orsakar därmed ett större ingrepp i landskapsbilden.

Antalet turbiner i en turbinpark reglerar lönsamheten för en sådan anläggning, där ett ökat antal kan minska kostnaden per kWh. Det är dock viktigt att dessa turbiner placeras så att de interagerar på ett sätt som maximerar det möjliga energiutbytet. Hur det görs på bästa sätt är ännu ett forskningsområde och kommer bero på valet av teknik samt lokalisering.<sup>98</sup>

## 4.5 Frikyla till fjärrkylanätet

Fjärrkyla är ett relativt nytt begrepp inom energibranschen och är tänkt att kunna effektivisera och minimera miljöpåverkan från produktionen av kyla genom att centralisera den. I dagsläget finns ca 30 nät för fjärrkyla i Sverige. Likt fjärrvärme leds kylan in i byggnaden och ersätter behovet av lokala kylmaskiner och i många fall därmed även användandet av miljöfarliga köldmedier. Kylan kan då istället produceras genom exempelvis kompressorkylmaskiner, absorptionsmaskiner och/eller frikyla från sjöar/vattendrag/hav. 2010 gjorde konsultföretaget Capital Cooling Energy Services en utredning åt Öresundskraft AB över möjligheterna att expandera nätet för fjärrkyla i Helsingborg, prognostisera de närmaste årens utveckling, beräkna investerings- och driftkostnader etc.<sup>99</sup>

Fjärrkylanätet i Helsingborg levererar idag en framledningstemperatur om ca 5 grader med en returtemperatur om ca 13 grader.<sup>100</sup> Framledningstemperaturen styrs idag av det avtal man har med McNeil, enligt övriga avtal så har man möjlighet att följa en reglerkurva styrd av omgivande temperatur och då gäller som högsta leveranstemp. 6 grader (sommar) och 10 grader (vinter).<sup>101</sup> För att kunna använda vattnet i Öresund som primakyla måste den därför hålla en temperatur som är maximalt 5 – 5,5°C. Vid för hög temperatur kan frikylan antingen kylas ner ytterligare i kompressorkylmaskinerna eller användas som kondensorkyla vid fjärrkylaproduktionen.<sup>102</sup> En högre frikylatemperatur kan användas om avtal McNeil förändras och då vid baslast vintertid när kravet på framtemperaturen är som lägst 10 grader. Generellt är det vid cirka 8°C inte längre lönsamt att kyla frikylan ytterligare utan den används då endast som kondensorkyla. Detta är dock starkt beroende av dimensioneringen av systemet, belastningen vid det tillfället etc och kan därför inte generaliseras för alla tillfällen och alla system.

Uttaget av frikyla kräver inga invecklade tekniska lösningar utan innebär placeringen av en rörledning i sundet till ett djup med rätt fysikaliska egenskaper, i form av temperatur. Kylaggregaten behöver vara anpassade till det korrosiva, salthaltiga vattnet och en silstation behöver etableras för att undvika intaget av flora och fauna i kylsystemet. Utloppet placeras på lämplig placering för att minimera påverkan på omgivningarna och vattentemperaturen vid inloppet.

---

<sup>96</sup> Torvestad Jan Christian (2011)

<sup>97</sup> Shields, M. A., Dillon, L. J., Woolf, D. K., Ford, A. T. (2009)

<sup>98</sup> Shields, M. A., Dillon, L. J., Woolf, D. K., Ford, A. T. (2009)

<sup>99</sup> Capital Cooling Energy Services (2010)

<sup>100</sup> Capital Cooling Energy Services (2010)

<sup>101</sup> Ödman, Per (2011)

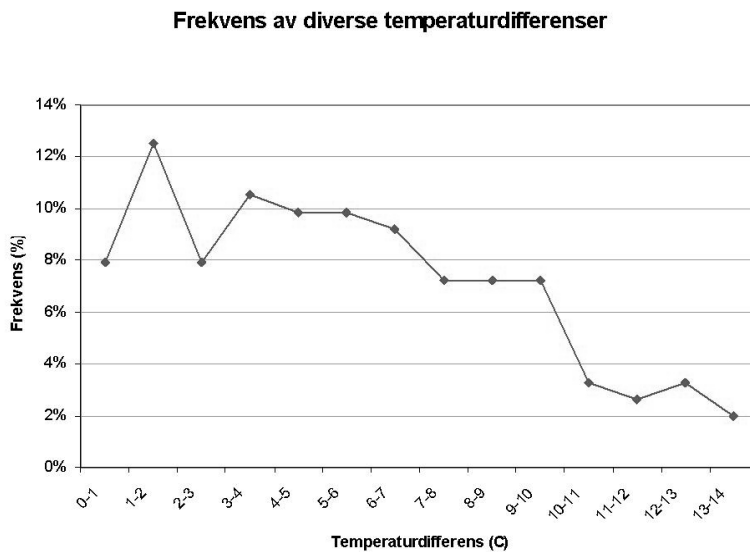
<sup>102</sup> Ödman, Per (2011)

# 5 Utvärdering av marina krafttekniker i Öresund

Efter den översiktliga genomgången av tillgängliga marina krafttekniker kommer de nu utvärderas utifrån vilka som är tekniskt möjliga i Öresunds med dess fysikaliska egenskaper. Därför följer här en diskussion kring de olika teknologiernas möjligheter att utvinna förnybar energi åt Öresundskraft AB.

## 5.1 OTEC

För att kunna ha ett fungerande system för Ocean Thermal Energy Conversion måste två krav uppfyllas: tillgång till stora volymer av havsvatten och höga temperaturdifferenser mellan yt- och djupvatten. Generellt är detta bara möjligt på ett begränsat antal platser på jorden, där solinstrålningens intensitet och de närbelägna djuphaven gör att temperaturskillnaderna är i rätt storleksordning. Med hjälp av data från SMHI och Naturvårdsverket har den maximala temperaturdifferensen mellan olika lager i Öresund beräknats, totalt 151 mätillfällen under en tioårsperiod. Resultatet illustreras i Figur 25. Differensen uppgår stundtals till nästan 14°C men är, ca 70 % av tiden, under 7°C. Vi kan alltså redan nu bortse från OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion) som ett realistiskt alternativ i fallet Öresund.



Figur 25, Fördelning av frekvensen av diverse temperaturdifferenser (Datakälla SMHI (2011)).

## 5.2 Saltkraft

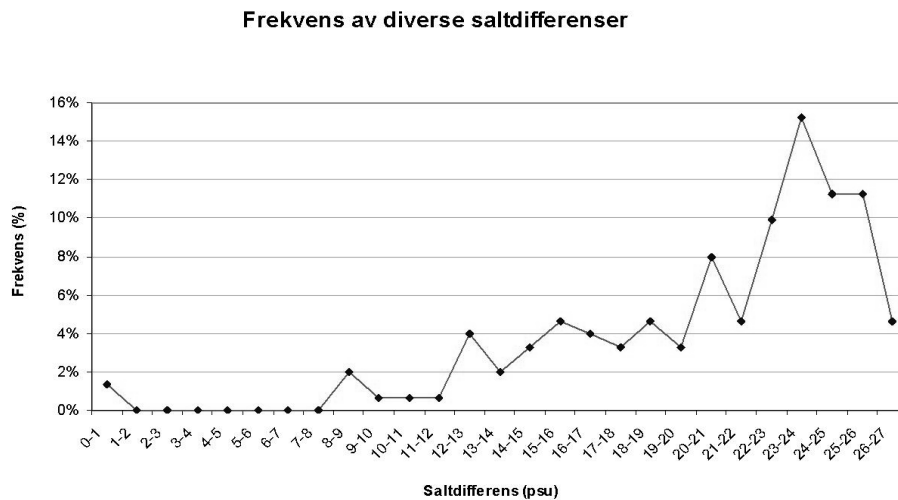
Möjligheten att utvinna energi med hjälp av saltkraft kräver vattenmassor med stora differenser i salthalt. Det finns två möjligheter att åstadkomma det i Öresund: med salt djupvatten och sötvattenutflöden alternativt bräckt ytvatten. Teknikerna som utvecklas i dagsläget är tänkta att placeras vid ett sötvattenutflöde och pumpa upp djupvatten från haven till energiproduktionen. I Öresund finns även den potentiella möjligheten att utnyttja salthaltsskillnaderna i havet, med ytvatten och djupvatten som råvaror.

Tillgången till stora sötvattenutflöden är sparsamma i Öresund. I centrala Helsingborg finns endast Råån vars volymer inte uppgår till den storleksordningen som krävs för att upprätthålla en saltkraftanläggning. Tillgången till sötvatten finns därför inte nära till hands i Helsingborg. Sötvattentillgångar utanför staden övervägs inte



eftersom sträckan mellan kraftverket och vattenkällan är avgörande för projektets lönsamhet. Energiutvinning genom saltkraft med sötvatten anses därför inte vara ett rimligt alternativ.

Det andra alternativet kan tänkas vara att åstadkomma en saltdifferens genom att använda sig av ytvatten i sundet och djupvatten. Utifrån data från SMHI och Naturvårdsverket har de maximala saltdifferenserna mellan olika skikt vid varje mätillfälle beräknats samt vid vilken frekvens de återkommer, se Figur 26.



Figur 26, Fördelningen av frekvens av diverse salthaltsdifferenser. Maximala differens vid 151 olika mätillfällen har identifierats. (Dataälla SMHI (2011)).

Som kan utläsas ur diagrammet är den saltdifferensen mellan olika skikt normalt över 20 psu, stundtals uppåt 26,7 psu.. Saltdifferensen varierar dock stort och kan vid många tillfällen ligga mellan 12 – 20 psu. Då denna bedömning endast är baserad på ett begränsat antal mätdata på endast en punkt i sundet ska resultatet endast uppfattas som en indikation på sundets förhållanden.

Att låta dessa vattenmassor samverka med varandra istället för att använda sig av ett sötvattenutflöde förbättrar tillgången till större volymer. Problemet med detta alternativ är dock att saltdifferensen inte är tillräckligt hög eller tillräckligt pålitlig för att saltkraft ska vara tekniskt möjligt i dagsläget.<sup>103</sup> En saltkraftanläggning i Helsingborg skulle behöva en större membran-area, större volymer vatten alternativt ideala egenskaperna hos membranet, något som ännu inte uppnåtts. Det teoretiskt maximala osmotiska trycket som kan åstadkommas i Öresund är 191 mH<sub>2</sub>O, se beräkningar i appendix Appendix 1. Beräkning av den osmotiska potentialen. Denna beräkning är baserat på antagande om en salthalt på 33,3 psu i djupvattnet och 9,7 psu i ytan, det vill säga en differens på 23,6 psu. Det uppnås cirka 42 % av tiden, mer än 3000 timmar per år. Viktigt att hålla i åtanke är att detta är det teoretiskt maximala värdet, antaget ett "perfekt" membran och är endast baserat på data från 151 mätillfällen under tio års tid. Trycket som uppnås vid denna differens, 191 mH<sub>2</sub>O, kan jämföras med Statkrafts potentiella osmotiska tryck på 270 mH<sub>2</sub>O. Det trycket som bör uppnås vid drift är mellan 100 – 145 mH<sub>2</sub>O, se kapitel 4.2, vilket är möjligt i den norska testanläggningen. Trots att potentialen i Öresund är i denna storleksordning säger Statkraft själva att saltkraft inte kan användas i nuläget. Det blir varken ekonomiskt försvarbart eller tekniskt möjligt.<sup>104</sup>

Eftersom saltdifferensen i sundet inte är i samma storleksordning som i de områden som saltkraften är tänkt för blir möjligheterna begränsade. Men det kan tänkas finnas en potential för Öresundskraft AB att i framtiden kunna använda sig av saltkraft, när tekniken har utvecklats så pass att det blir lönsamt att använda sig av vattenmassor med lägre saltdifferens. Hur utvecklingen av tekniken fortskrider är i första hand beroende av forskningen kring membranets egenskaper, vars kostnad är en avgörande faktor för lönsamheten av en investering. Denna teknik kan bevakas då det kan tänkas att i framtiden, med ett högre elpris, ytterligare

<sup>103</sup> Skilhagen, SteinErik (2011)

<sup>104</sup> Skilhagen, SteinErik (2011)

membran forskning och en exploatering av resurser med högre potentialer, finns möjlighet att kunna utvecklas till att bli en användbar teknik för Öresundskraft AB.

### 5.3 Vågkraft

Energiinnehållet i svenska vågor överlag skiljer sig från exempelvis norska vågor med en faktor tio. Trots de kraftiga vindarna i Helsingborg är den begränsade tillgången till öppna havslandskap och därmed blåssträcka<sup>105</sup> orsaken till att vågenergin i sundet är limiterat. Inuti sundet, i området kring Ven är vågkraft inte aktuellt på grund av skyddet från omkringliggande landområden. Längre norrut, i vattnen norr om Helsingborg är våghöjden högre (i snitt mellan 0,3 – 0,7 m, se Figur 14. Fördelning av våghöjd under ett år (Datakälla DMI (1982))) och energiinnehållet norr om Öresund är, som uppgivits i kapitel 3.5, modellerat till cirka 2,1 kW/m. Dessa värden kan jämföras med de i länder där det satsas mycket på utvecklingen av vågkraften, exempelvis Storbritannien och Norge. Energiinnehållet i dessa vågor är i storleksordningen 70 respektive 50 kW/m.<sup>106</sup>

Gränsen för utbyggnad av vågkraftverk antogs, vid utvecklingens början, gå vid ca 3 kW/m.<sup>107</sup> Tidigare uttalanden från Mats Leijon vid Uppsala Universitet har begränsat utvecklingen av deras teknik till norr om Göteborg, där vågmedeleffekten är i storleksordningen 5 kW/m.<sup>108</sup> Trots att utvecklingen har gått snabbt framåt för vågkraftstekniker så är antalet kommersiella anläggningar få och kunskapen om för vilka vågeffekter som de olika teknikerna fungerar är därmed begränsad. Att dra en gräns för när energiutvinningen från vågor inte är tekniskt möjlig eller ekonomiskt lönsam är därför svårt då det är starkt beroende av tekniken i fråga.<sup>109</sup> Utvecklingen har hittills koncentrerats till områden med stora vågtillgångar och kommersiella anläggningar är därmed anpassade för dessa.

De teknikutvecklare som i dagsläget är av intresse är bland annat Seabased, på grund av deras satsning på utveckling av tekniker som är anpassade för lägre vågförhållanden. 2010 fick företaget tillstånd att uppföra sin första kommersiella anläggning med en beräknad produktionskapacitet på 25 GWh/år. Installationen av de första 42 vågkrafttaggaten kommer att påbörjas under 2011 – 2012.<sup>110</sup> Det kan vara av intresse att följa denna utveckling då sjösättandet av anläggningen kommer att innebära att man får större kunskap om optimala vågförhållandet för seabased-tekniken och därmed även framtida möjligheter i norra Öresund.

### 5.4 Marin strömkraft

Vid en utredning inför etablering av strömkraftverk i Pentland Firth, Skottland, angavs följande parametrar som krav vid sökandet efter en lämplig lokalisering. Endast områden med följande egenskaper: 22 m ifrån transportsträckor för sjöfarten, begränsad sedimentavlagring, minimum strömhastighet på 1 m/s mer än 50 % av tiden var intressanta.<sup>111</sup> Dessa parametrar ger en indikation på vad som måste utvärderas vid sökandet efter en lämplig lokalisering i Öresund och vilka platser som är av intresse. I dagsläget kan detaljerade utvärderingar av strömtillgångarna på utvalda platser inte genomföras på grund av den begränsade tillgången till detaljerade utredningar av strömprofilerna i sundet. Det finns dock en möjlighet att modellera strömningarna i sundet. Strömhastigheterna tros vara som högst vid tre olika lokaler:

- där sundet är som snävast mellan Helsingborg och Helsingör<sup>112</sup>
- kring Ven<sup>113</sup>
- strax norr om Helsingborg utanför Hittarp där sundet är smalt och den norrgående strömmen tvingas i en nordvästlig riktning<sup>114</sup>

<sup>105</sup> SMHI (2009b)

<sup>106</sup> Trinnaman, J., Clarke, A. (2004)

<sup>107</sup> Sigurd, D, Stolt, L, Claesson, L. (1983)

<sup>108</sup> Waters, R., Engström, J., Isberg, J., Leijon, M. (2009)

<sup>109</sup> Stübner, Christian (2011)

<sup>110</sup> Seabased (2010)

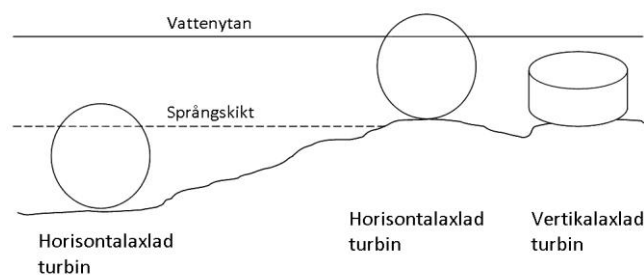
<sup>111</sup> Shields, M. A., Dillon, L. J., Woolf, D. K., Ford, A. T. (2009)

<sup>112</sup> Andersson, Kjell (2011)

<sup>113</sup> Andersson, Kjell (2011)

Innan en diskussion kring lämpligheten för dessa olika lokaliseringar påbörjas bör det nämnas att det råder platsbrist i Öresund. Där djupen är tillräckligt stora för att inhysa en turbin på havsbotten, utan att den når över vattenytan, är farlederna normalt placerade. På grund av den täta trafiken i området och bristen på områden med stort vattendjup är det svårt att finna en lämplig lokalisering som inte står i konflikt med andra näringar. Ovanstående lokaliseringar har valts ut därför att de troligtvis uppfyller det viktigaste kriteriet: hög strömhastighet. Där sundet är som snävast är möjligheterna till exploatering troligen begränsade på grund av den kraftiga trafikeringen. Då djupet på denna plats är mycket hög, skulle man kunna tänka sig att placeringen av en turbin på havsbotten skulle kunna möjliggöra en simultan trafik och energiproduktion. Troligen är dock möjligheterna att få tillstånd begränsade samt strömningsförhållandena vid ett stort djup lågt vilket skulle innebära att etableringen får en låg avkastning. Ett möjligt alternativ är strax söder om Helsingborg, rakt utanför Kemira. Ur avståndssynpunkt är det ett lämpligt alternativ då överföringsledningar inte skulle behövas i någon större utsträckning. Denna lokalisering är dock relativt nära Knähaken, ett marint naturreservat utanför Helsingborg, vilket kan ställa till problem i tillståndsprocessen. Kring Ven blir strömmen starkare då sundet smalnar av och vattnet ska passera ön. Öster om Ven finns en djuphåla och här ligger farleden för fartyg som ska passera. Samma resonemang kan föras här som mellan Helsingborg och Helsingör. På botten av djuphålan skulle en strömturbin kunna placeras utan att farleden störs men troligen skulle tillståndsprövningen utgöra ett hinder samt att strömningen vid detta djup skulle vara låg. En etablering skulle därmed vara optimal söder om ön där vattnet strömmar norrut. Djupet är dock inte tillräckligt här för att det ska vara möjligt. Utanför Hittarp norr om Helsingborg går ytströmmen norrut och tvingas, av landskapet, byta riktning till nordvästlig. I detta område är djupet upp mot 25 meter vilket gör en etablering av strömkraftverk möjlig. Strömdata från DMI ger en indikation på vad strömförhållandena är men dessa data är uppmätta på andra sidan sundet där strömmen troligtvis är lägre eftersom det är "innerkurvan" för vattenmassornas rörelse. Man kan alltså anta ett högre strömningsförhållande utanför Hittarp men det finns inga uppgifter kring i vilken grad.

En viktig fråga i Öresund är vid vilket djup som turbinerna ska placeras. Eftersom det finns ett språngskikt i sundet vid 10 – 12 m där strömmen kan röra sig i olika riktningar är det av yttersta vikt att en detaljerad undersökning av strömprofilen genomförs vid vald lokalisering. På så vis kan placeringen av en turbin på ett djup där strömmen rör sig i två olika riktningar undvikas, se illustration i Figur 27. Det skulle kunna ställa till tekniska problem och förändra verkningsgraden och prestanda för turbinen. Som i de flesta vattenmassor så avtar strömmen med djupet, även om det i Öresund tillfälligt kan vara höga strömhastigheter vid djupare skikt.<sup>115</sup> Det är därför lämpligast att hitta en teknik som kan utvinna energi ur ytströmmen, som kan anses mer pålitlig.



Figur 27. Placeringen av horisontalaxlade respektive vertikalaxlade turbiner vid olika djup. Strömriktningen ovanför språngskiktet går in i bilden och går ut ur bilden nedanför.

Möjligheterna att placera turbiner i områden med mindre djup ökar vid användandet av vertikalaxlade turbiner. Man kan då uppnå en större diameter för en mindre djup än för horisontalaxlade och undviker att turbinen når över vattenytan, se illustration i Figur 27. Dessa kan då placeras på ett djup så de undviker att hamna under språngskiktet och utsätts därmed inte för strömningar i olika riktningar. De vertikalaxlade turbinerna tycks dock inte vara lika långt fram i utvecklingen som de horisontalaxlade. Utifrån den tillgängliga informationen att döma så har utvecklingen av dessa avstannat och det har satsats mer på de horisontalaxlade som i dagsläget är anpassade för energitvinnning i större skala och därmed har större ekonomisk potential. Efter ytterligare utveckling och expansion inom industrin och ökade kostnader för energiproduktion kan det

<sup>114</sup> Göransson, Peter (2011)

<sup>115</sup> Andersson, Kjell (2011)

tänkas att de vertikallaxlade turbinerna kommer att ta större plats på marknaden. I nuläget är vertikallaxlade turbiner anpassade för lägre strömhastigheter i åar och vattendrag, vilket kan vara passande för Öresund. Ett problem kan vara att denna typ av turbin oftast är synlig ovanför vattenytan då de oftast fästs i en ställning ovan vattenytan, något som bör minimeras i största möjliga utsträckning för att inte ha för stor inverkan på landskapsbilden. Vertikallaxlade turbiner är även i högre grad utsatta för kavitation, vilket ökar behovet av underhåll.

Eftersom mätdata från DMI och undersökningar av tillgängliga marina teknologier tyder på en teknisk möjlighet att utvinna energi ur strömmarna uppskattas energipotentien från en marin strömkraftspark. Antaget att strömförhållandena som uppmätts, se kapitel 3.2, gäller för de lokaliseringarna som diskuteras och antaget att denna hastighet för ytströmmen gäller genom hela vattenmassan så kan den teoretiskt potentiella energiproduktionen från marin strömkraft beräknas. Det antogs även att turbinerna kommer att vara horisontalaxlade, för att förenkla beräkningarna. Detaljerad genomgång av beräkningarna återfinns i appendix Appendix 2. Beräkning av energiproduktionspotentialen för ett marint strömkraftverk. Resultatet bygger på antaganden om en diameter på 15 meter och en verkningsgrad på 0,3. och hittas i Tabell 5 nedan.

Tabell 5. Teoretiskt potentiella energin från en marin strömkraftsturbin med en diameter på 15 meter och verkningsgraden 0,3.

Medelhastighet [knop]	Effektuttag [kW]	Timmar /år	Energi / år [MWh]
0,00		38,0	-
0,15		886,5	-
0,50		1623,5	-
1,00		1926,4	-
1,50		1523,6	-
2,00	28,9	1628,7	47,0
2,50	56,4	729,6	41,1
3,00	97,4	343,2	33,4
3,50	154,7	47,5	7,3
4,00	230,9	11,7	2,7
4,20	267,3	1,3	0,4
Årlig energiproduktion			132,0 MWh/år
Antal drifttimmar / år			2762,1 h

Om cut-in hastigheten för turbinen är 1 m/s kommer antalet drifttimmar per år vara cirka 2700. Från en turbin kan det då potentiellt produceras 132 MWh/år, antaget en verkningsgrad på 0,3. Vid installation av flertalet turbiner i turbinpark ökar lönsamheten för projektet och även energiutbytet. Utanför Hittarp kan det potentiellt finnas utrymme för en turbinpark på 131 ha, se Figur 28. Det är den tillgängliga arean med ett djup på ca 20 m och där placering av parken utanför farleder för sjöfarten är möjlig. I detta område finns plats för 3 x 12 = 36 turbiner (förutsatt att de placeras med ett avstånd från varandra på ca 200 m). Dessa turbiner skulle då uppskattningsvis ge en årlig produktion på 4,8 GWh.



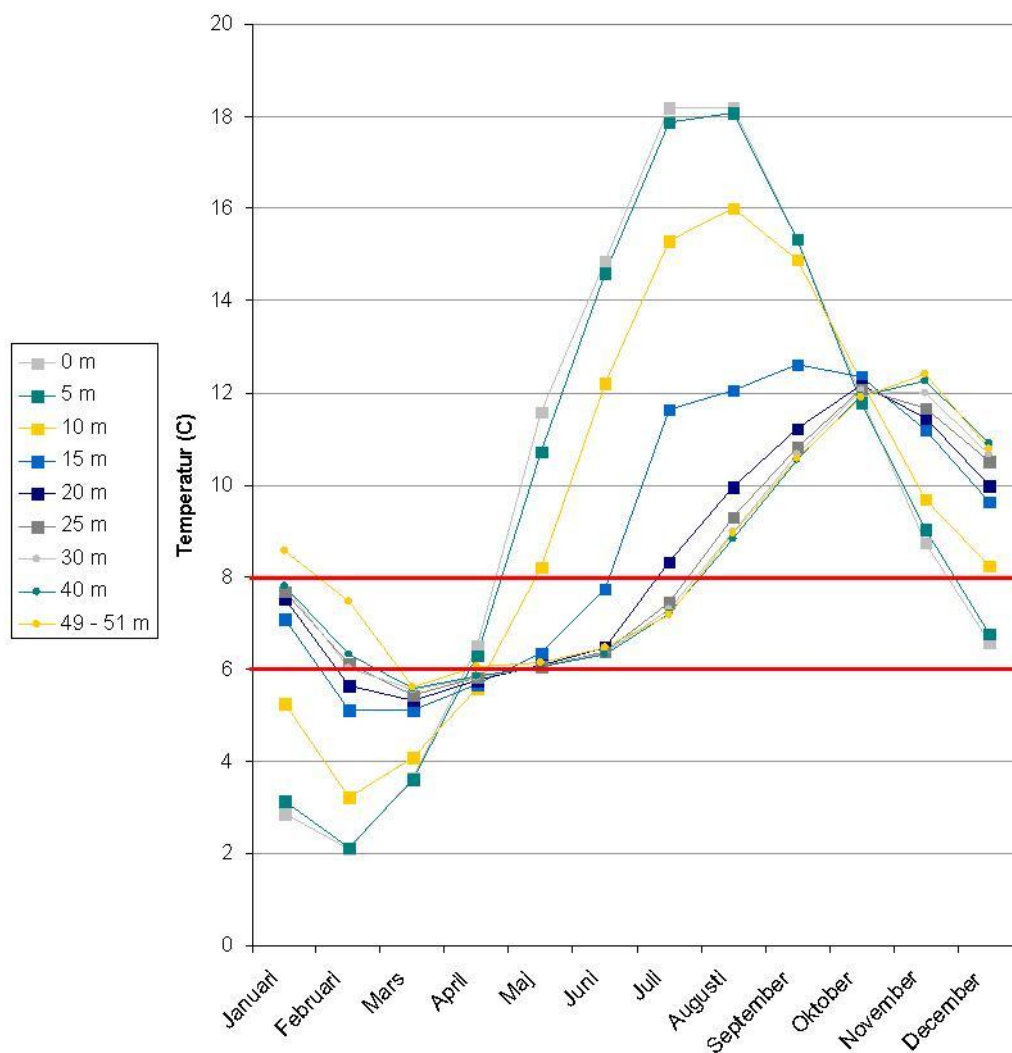
Figur 28. Fiktiv anläggning utanför Hittarp (Eniro (2011))

Rekommendationen för framtiden är att utföra detaljerade mätningar i sundet på intressanta lokaliseringar för att få en bättre uppfattning av potentialerna. Ett samarbete med andra intressenter vid mätningarna kunde även vara aktuellt då de kan få möjlighet att exempelvis uppdatera/utveckla sina modelleringar av strömmarna i sundet. Mätningar sker med hjälp av utrustning som placeras på havsbotten och skickar ut akustiska signaler och kan antingen lagra data eller fjärrövervakas och kontinuerlig ge mätdata.<sup>116</sup>

## 5.5 Frikyla

Möjligheten att använda sig av frikyla från Öresund kommer att variera under året beroende på temperaturen i sundet. I Figur 29 illustreras medeltemperaturen vid olika djup och de tidigare nämnda (se kapitel 3.2) gränsvärdena för användandet av kylan som primäkyla respektive när den kan kylas ytterligare.

<sup>116</sup> Tengberg, Anders (2011)

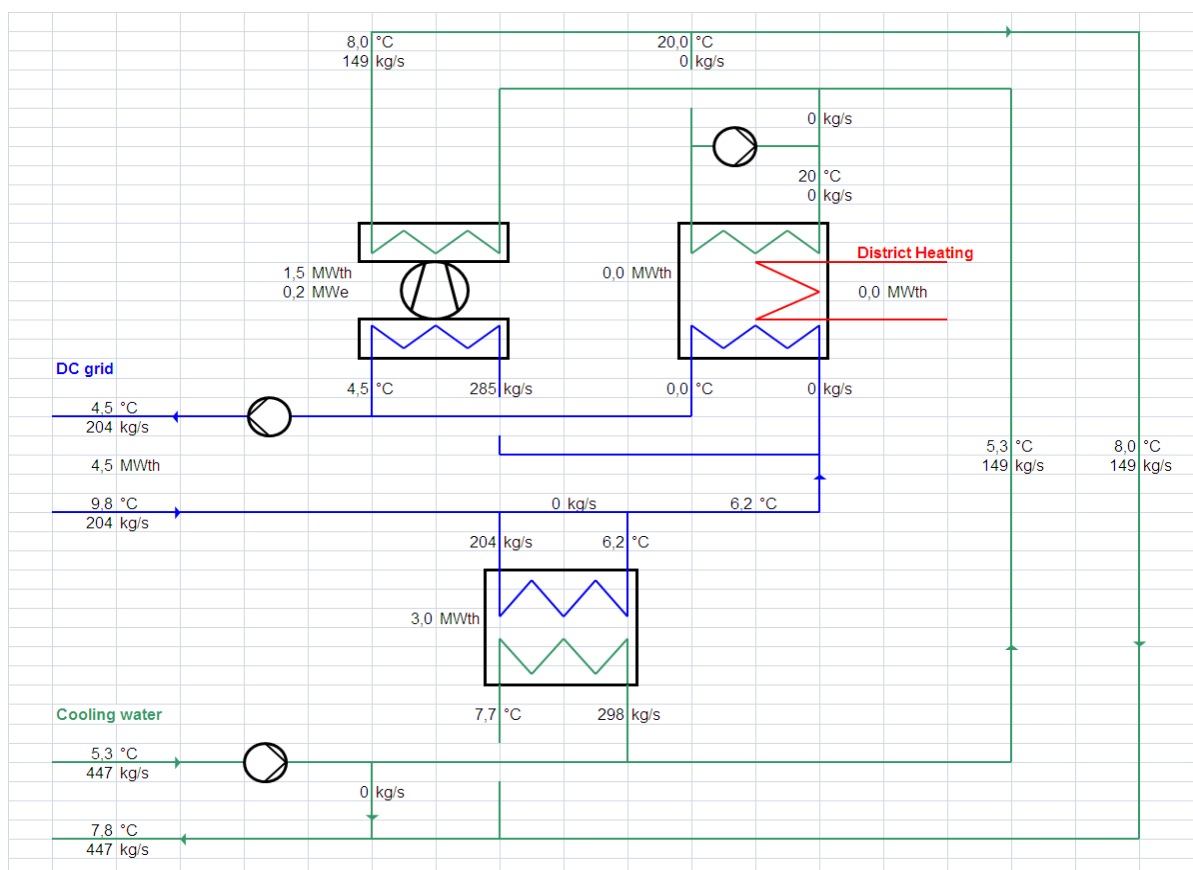


Figur 29. Medeltemperaturen i Öresund för olika djup. (Datakälla SMHI (2011))

Vid olika tider på året kan det vara intressant att använda sig av yt- respektive djupvatten som kylning beroende på dess temperaturvariationer. Under januari – mars är yttemperaturen tillräckligt låg för att kunna användas som primakyla. I april-maj kan vatten från större djup användas istället. Detta vatten kan sedan, när den nått en temperatur över 6°C kylas ytterligare och sedan användas som fjärrkyla. I mitten på sommaren (juli) blir temperaturen normalt för hög för att det ska vara en lönsam strategi att kyla vattnet ytterligare. Flödet kan då istället användas som kondensorkyla och nyttjas därmed ändå. Under sommaren, när behovet är som störst får det istället täckas med hjälp av tillverkning i absorptionskylmaskiner med spillvärme från Fllbornaverket.<sup>117</sup> Tack vare att bränslet till spillvärmeproduktionen är kostnadsfri kan denna kombinerade lösning anses vara lönsam och dessutom till största delen förnyelsebar. Den andel som man kan anse inte vara förnybar är ca 15% av de inkomna restavfallet. Den icke-förnybara delen utgörs mestadels av plast. Framåt slutet på året sjunker yttemperaturen och det kan därmed börja användas som primakyla igen.

Capital Cooling Energy Services (CCO) genomförde en modellering av frikylauptaget i ett typiskt vårfall när djupvattnets temperatur börjar öka till strax under den maximala temperaturen för primakyla, ca 5,3°C. Dessa modelleringar är baserade på andra mätdata än den som används i denna studie. Systemet ser då ut som i Figur 30.

<sup>117</sup> Capital Cooling Energy Services (2010)



Figur 30. Flödesschema vid vårdrift. (Capital Cooling Energy Services (2010)).

I flödesschemat (Figur 30) kommer det in 447 kg frikyla/s (cooling water) vid en temperatur på 5,3°C. 298 kg/s går in i frikylavärmeväxlaren som är kopplad till fjärrkylanätet (DC-grid). Där kyls den inkommande 9,8°C fjärrkylan till 6,2°C. Därefter går frikylan vidare till absorptionsmaskinen som i detta fallet är avstängd. Slutligen nås kompressormaskinen där frikylan används som kondensorkyla och värms ytterligare till 8°C medan fjärrkylan kyls ner till 4,5°C. Dagens system har en verkningsgrad på 3,5. Med frikyla och spillvärmedriven absorptionskyla ökar den till 9,8 och minskar därmed systemets miljöpåverkan till en tredjedel av vad den är idag, se kapitel 2.<sup>118</sup>

Trots den begränsade möjligheten att använda vattnet som prima kyla så kan vattenuttaget vara lönsamt att använda då det kan fungera som en baslast i systemet samt minska kostnaden för produktionen då det används som kondensorkyla. CCO's modelleringar över den framtida produktionsfördelningen i ett 5 respektive 15-årsscenario visar att frikyla kan bidra med 32,5 - 33,3 % av den årliga energivolymer i fjärrkylasystemet.<sup>119</sup>

<sup>118</sup> Capital Cooling Energy Services (2010)

<sup>119</sup> Capital Cooling Energy Services (2010)

# 6 Anläggningsbeskrivningar av utvalda tekniker

---

Efter utvärderingen av de marina teknikernas potential i Öresund analyseras marina strömkraftverk och ett frikylauptag vidare, eftersom det anses finnas möjlig potential för båda dessa tekniker i Öresund. Här följer därför beskrivningar av en fiktiv anläggning för frikyla och för ett marint strömkraftverk. De anläggningar som beskrivs nedan kommer att utgöra utgångsläget för utredningarna av miljöpåverkan i del II.

## 6.1 Marina strömkraftverk

I den fiktiva marina strömkraftsanläggningen som här kommer att beskrivas görs antagandet att etableringen användander horisontalaxlade turbiner. De utgjorde grunden för uppskattningarna av energipotentialen i kapitel 5.4, trots de praktiska problem som kan uppstå vid användningen av dessa. En ökad lönsamhet för marint strömkraftsprojekt uppnås om mer än en turbin placeras ut i sundet, i denna rapport har det antagits till  $3 \times 12 = 36$  stycken, utifrån förutsättningarna vid den valda lokaliseringen. Den fiktiva turbinparken är belägen ungefär 1 km från kusten, nära både Hittarp och Sofiero och sträcker sig över ett område som är  $570 \times 2300$  m stort = 131 ha. Turbinerna har en gemensam energipotential på ca 4,8 GWh. Den totala energiproduktionen kommer dock påverkas av turbinernas samverkan med varandra och förändringarna av den lokala strömmen och turbulensen som anläggningen kommer att innebära.

En transformatorstation kommer att placeras, antingen i direkt anslutning till parken under vatten eller på land. För att förbereda marken där turbinen och överföringsledningarna ska anläggas kommer det krävas muddring i mer eller mindre omfattning beroende på bottensubstrat och batymetri vid den valda lokaliseringen. Turbinerna kommer att placeras på botten med hjälp av till exempel betongvikter alternativt pålas ner i havsbotten.

## 6.2 Frikyla

Frikylan kan, som tidigare diskuterats, användas som en baslast i fjärrkylasystemet och kan, med rätt lokalisering, fungera som primakyla under stora delar av året. Ett kylvattenupptag kommer att krävas på två ställen: i ytvattnet samt vid ett större djup. Upptaget av djupvatten ska vara vid minst 20 m djup men behöver inte nödvändigtvis placeras längre ner än så eftersom temperaturförhållandena är ungefärligen detsamma när 20 m har passerats. Den lokaliseringen som diskuterades i Capital Cooling Energy Systems (CCO) utredning var mätstationen ÖVF2.1, cirka 900 m från Västhamnsverket på 26 m djup. Byggnationen går till så att tjockväggiga polyetenrör (PE-100) monteras på plats, fylls med vatten och sänks med hjälp av betongvikter som klamras fast på rören. Rörets mynning har flera avgreningar som förses med grovmaskiga nätfiler. Flödes hastighet och inloppsarea anpassas för att minimera risken för marina organismer att sugas upp i ledningen. Skydd av rörledningarna krävs på grund av den täta trafiken. Vid lägre djup kommer muddring krävas för att minimera inverkan på det tillgängliga vattendjupet. Vid större djup täcks ledningarna av så kallade betongmadrasser. Lokaliseringen av utsläppet från kylanläggningen måste optimeras för snabb omblandning som inte stör temperaturen vid intagspunkten. I modelleringarna från CCO (se figur Figur 30) är volymen av uttaget beräknat till 447 kg/s.



# DEL II – POTENTIELLA MILJÖKONSEKVENSER

---

Efter studien av Öresunds egenskaper och tillgängliga marina energitekniker kommer de utvalda teknologier, som anses vara av intresse för Öresundskraft AB, analyseras utifrån dess potentiella miljökonsekvenser. Tekniker med stora negativa konsekvenser som kan försämra investeringens miljöprofil ska härmed identifieras. Alternativen kan då utvärderas ytterligare.

## 7 Miljölagstiftning

---

Anläggandet av frikylauptag eller marin strömkraftspark regleras genom viss lagstiftning. Båda anläggningarna omfattas av 6 kap 1§ miljöbalken som säger att en miljökonsekvensbeskrivning (MKB) måste upprättas. En förstudie till MKB utförs därför i denna utredning. Anläggningarna omfattas dessutom av 9 och 11 kap miljöbalken: *Miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd* respektive *Vattenverksamhet*. Nedan följer en genomgång av aktuell lagstiftning för de båda. En viktig fråga att reda ut innan etableringen är vilken aktör som har rådighet över vattnet. Helsingborgs kommun råder över strandområdet genom lagstiftning om strandskyddsområden. Det gäller för land- och vattenområden 100 m från strandlinjen enligt 7 kap 14 § miljöbalken. Längre ut gäller dock annan lagstiftning. Tillstånd kommer att behöva sökas hos länsstyrelsen i Skåne.

### 7.1 Marina strömkraftverk

Eftersom inga liknande anläggningar har upprättats i Sverige finns inga prejudikat som kan vägleda kring vilka rättsliga aspekter som beaktas vid tillståndsprövningar av detta slag. Marina strömkraftverk finns inte listade i bilagan till förordning 1998:899 om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd men kan tänkas täckas av beskrivningen i 9 kap 1§ punkt 1 om "anläggning i ... vattenområden". Samma beskrivning återkommer i 11 kap 2§ punkt 1 miljöbalken som kräver tillstånd för en sådan etablering. Det kan tänkas att flera av de bestämmelser som gäller för frikylauptag (se nedan) även är applicerbara på ett marint strömkraftverk, exempelvis de gällande miljö kvalitetsnormer för fisk- och musselvatten samt gällande bygge- och fiskeavgifter.

### 7.2 Frikyla

Ett uttag av frikyla kan antingen vara tillstånd- eller anmälningspliktigt enligt både 9 kap miljöbalken (miljöfarlig verksamhet) och 11 kap miljöbalken (vattenverksamhet). Anläggningar av denna typ är inte klassade i förordning 1998:899 om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd. Avledandet av ytvatten innefattas av 11 kap miljöbalken och är tillståndspliktigt om uttaget överstiger 600 m<sup>3</sup> per dygn eller 100 000 m<sup>3</sup> per år. Med ett modellerat uttag på minst 447 kg/s så kommer denna gräns att överstigas och tillstånd måste därför sökas. Återförandet av uppvärmt vatten räknas som miljöfarlig verksamhet och regleras därför enligt 9 kap miljöbalken. Om den tillförda effekten av varmt vatten överstiger 10 MW måste tillstånd även sökas för denna aktivitet. Byggnationen, i form av nedläggandet av rör, är klassificerat som vattenverksamhet och är enligt 11 kap miljöbalken anmälningspliktigt. Enligt 21 kap 3 § miljöbalken kan dessa separata aktiviteter slås samman och tillstånd sökas för alla samtidigt.<sup>120</sup>

Ehlin, Ulf et al listar i sin rapport om miljöeffekter av kylvattenutsläpp från kärnkraftverk vilka bestämmelser som är relevanta för kylsystem.<sup>121</sup>

- Förordning om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd, **9 kap** Miljöbalken

---

<sup>120</sup> Capital Cooling Energy Services (2010)

<sup>121</sup> Elforsk, (2009)

- Prövning av tillstånd: Miljödomstol
- Förordning om miljö kvalitetsnormer för fisk- och musselvatten, Förordning **2001:554**
  - Normer för temperatur
- Förordning om miljökonsekvensbeskrivningar, **6 kap** Miljöbalken
  - Skyldighet vid ansökan om tillstånd för miljöfarlig verksamhet
- Förordning om vattenverksamhet, Förordning **1998:1388**
  - Prövning av tillstånd: Miljödomstol
- Förordning om bygde- och fiskeavgifter, Förordning **1998:928**
  - Skada på allmänt fiskeintresse – allmän fiskeavgift
  - Ersätter Vattenlagens bestämmelser om fiskeavgift
  - Avgifter till Fiskeriverket och Länsstyrelsen
- Förordning om verksamhetsutövarens egenkontroll, Förordning **1998:901**
  - Recipientkontroll
    - Kontroll skall bedrivas enligt fastställda villkor i domar
    - Verksamhetsutövaren ska lämna förslag till kontrollprogram till tillsynsmyndigheten
    - Resultat skall dokumenteras
    - Fortlöpande bedömning av risker från hälso- och miljösynpunkt – utvärdering
    - Skyldighet att rapportera till tillsynsmyndighet – miljörapport
    - Tillsynsmyndigheten skall underrättas om driftstörningar etc

# 8 Utredning av miljökonsekvenser

---

Bedömningen av vilka tekniker som kan anses vara lämpliga för Öresund har hittills bara genomförts utifrån de fysikaliska egenskaperna i sundet och en uppskattning av den möjliga energiproduktionen. Förutom de rent tekniska aspekterna av energiproduktionens möjligheter måste en bedömning av andra aspekter genomföras. Den potentiella miljöpåverkan behöver kartläggas för att se till att anläggningen bibehåller sin tilltänkta miljöprofil. Grava konsekvenser för närmiljön innebär att "vinsten" i form av högre andel förnybar energi och minskad klimatpåverkan överskuggas. Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) är ett systematiskt sätt att utreda den potentiella miljöpåverkan från nyproduktioner och en metod att förutse framtida problem och hur dessa kan undvikas. Genom att använda sig av samma tillvägagångssätt som vid en MKB kan effekterna och konsekvenserna av de olika teknologierna identifieras.

Arbetet med miljökonsekvensbeskrivningar är lagstadgat genom 6 kapitlet miljöbalken "Miljökonsekvensbeskrivningar och annat beslutsunderlag", förordning 1998:905 om miljökonsekvensbeskrivningar och EU-direktivet 85/337/EEC. Syftet med en MKB är att det ska fungera som ett beslutsunderlag vid tillståndsprövning och ge en samlad bild av den tänkta verksamhetens miljöpåverkan. Genom MKB vävs arbetet med miljöutredningar in i processen i ett tidigt planeringsstadium vilket öppnar upp möjligheterna att förändra utformningen av anläggningen så att effekterna mildras. Ett annat syfte med MKB är att ge intressenter möjlighet att påverka genom samråd som genomförs under hela processens gång. Arbetet med MKB utförs vanligtvis i ett antal steg med start i en bedömning om huruvida den rättsligt sett är nödvändig. Enligt svensk lagstiftning måste MKB genomföras för all typ av vattenverksamhet (MB 6 kap 1§), inkluderat etableringen av frikylaupptag och marina strömkraftverk. Nästa steg är att ge bakgrundsdata, en förståelse för hur utgångsläget ser ut för att senare kunna bedöma konsekvenserna av etableringen. Därefter presenteras de möjliga alternativen samt nollalternativet; hur utvecklingen av detta område kan se ut om verksamheten uteblir. Resultatet av detta initiala skede presenteras därefter för allmänheten och är tänkt att ge information om verksamheten, alternativ, miljöpåverkan etc och få deras input. Genom en avgränsning tas beslut om vilka miljöaspekter som bör undersökas, vilka alternativ som är intressanta samt hur utredningen ska begränsas i tid och rum. Med dessa förutsättningar kan en identifiering ske av möjliga effekter och konsekvenser vilka sedan ska beskrivas och bedömas. Utifrån identifieringen har man erhållit kunskap om vilka delar av verksamheten som kan få de mest betydande konsekvenserna och åtgärder kan då planeras för att minimera dessa skador alternativt verksamheten kan förändras för att det inte ska ske. All denna information sammanställs sedan i ett dokument som granskas och fungerar som beslutsunderlag i tillståndsprövningen. MKB används i fler än 120 länder i vitt skilda utföranden.<sup>122</sup>

Vid ett beslut om etablering av en marin kraftanläggning/frikylaupptag kommer, som nämnts tidigare, en miljökonsekvensbeskrivning att krävas enligt svensk lag. En fullständig MKB kan rimligen inte genomföras inom ramen för denna studie utan fokus kommer att ligga på identifieringen av miljöeffekter och en översiktlig analys av dess konsekvenser. Det kan därmed utgöra ett underlag för fördjupad analys av verksamheterna i samband med en MKB.

## 8.1 Metod

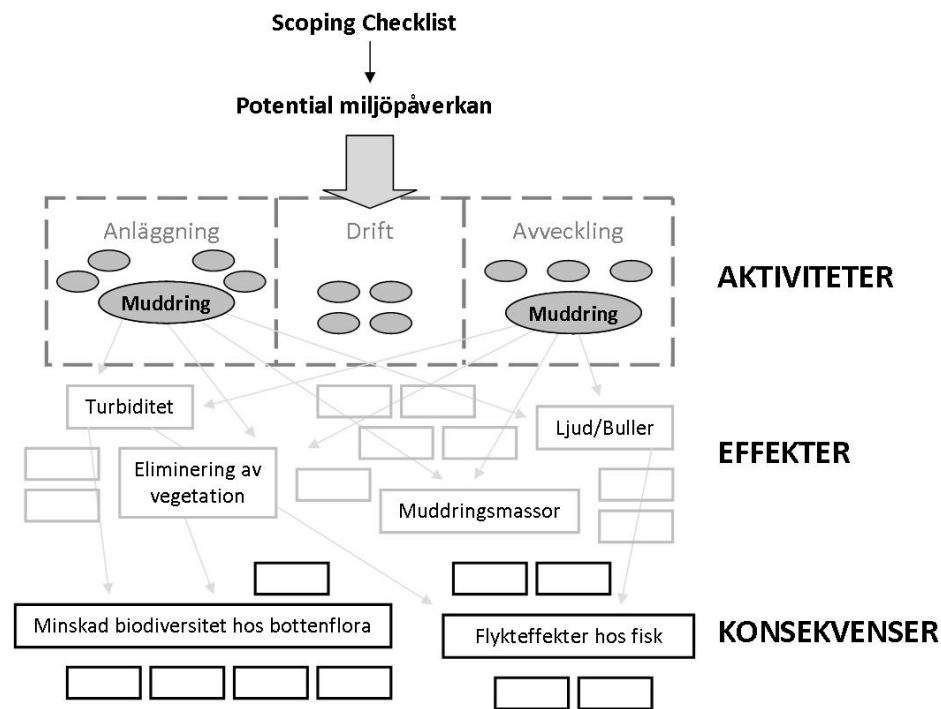
För ökad förståelse för hur arbetet med identifieringen av miljöeffekter gick till följer här en kort beskrivning av metoden. I detta inledande skede och inom ramarna för detta examensarbete ska en första, översiktlig, genomgång göras av de möjliga miljökonsekvenserna för havskraft. En "scoping checklist" är ett hjälpmedel genom vilket miljöpåverkan kan identifieras och därefter studeras närmare. I denna utredning används första delen av en checklista som utvecklats av Europeiska unionen för att användas i samband med miljökonsekvensbeskrivningar.<sup>123</sup> Första delen av checklistan återfinns i sin helhet i appendix Appendix 5. Scoping Checklist. Genom att svara på ett antal frågor om verksamheten kan miljöpåverkan identifieras. Därefter klassificeras konsekvensen som signifikant eller icke signifikant. I detta inledande skede genomförs inte denna klassificering på grund av den begränsade möjligheten att detaljerat studera varje miljökonsekvens.

---

<sup>122</sup> Hedlund, A & Kjellander, C. (2007)

<sup>123</sup> European Commission – Environment (2001)

Antaganden kunde därför inte göras för huruvida den slutliga påverkan kunde anses vara signifikant eller ej. Risken för att försumma en miljökonsekvens som i slutändan kunde visa sig ha betydande påverkan minimerades därmed. En genomgång gjordes av scoping checklist i samråd med Charlotta Klintberg där en kvalitativ bedömning avgränsade de tänkbara möjliga effekterna från en energiproduktion. Resultatet från denna genomgång ses i appendix Appendix 6. Resultat av Scoping Checklist. Denna bedömning är i möjligaste mån tillstyrkt med litteraturhänvisningar men är till största delen baserad på antaganden om anläggandet, energiproduktionen och avvecklingen. Vid djupare analys kan bedömningen behöva utökas med ytterligare effekter alternativt att ett antal effekter kan försummas. I Figur 31 finns en principskiss över tillvägagångssättet och strukturen för genomgången av miljökonsekvenserna i följande avsnitt.



Figur 31. Illustrering av metod för identifieringen av miljöpåverkan.

Efter identifieringen av den potentiella miljöpåverkan genom scoping checklist hade stora mängder information erhållits om de potentiella följderna av en etablering av de två marina teknikerna. En sammanställning av det resultatet återfinns i appendix Appendix 6. Resultat av Scoping Checklist. Denna information omorganiserades sedan utifrån i vilken fas (anläggning/drift/avveckling) och under vilka aktiviteter följderna kunde bli aktuella. Utifrån varje aktivitet analyserades sedan effekterna den kunde medföra (exempelvis leder muddring till ljud/buller, turbiditet, eliminering av vegetation och bottenfauna, muddringsmassor etc). Resultatet av denna kartläggning återfinns i kapitel 8.2 för marina strömkraftverk (Tabell 6) respektive frikyla (Tabell 7). De effekterna som identifierades för varje aktivitet leder till diverse konsekvenser för de marina ekosystemen. Konsekvenserna av varje effekt (exempelvis leder elimineringen av vegetationen till minskad biodiversitet hos bottenflora) analyseras sedan i nästa kapitel. Här identifieras de potentiella konsekvenserna och rekommendationer ges (i den mån det är möjligt) av vilka förmildrande åtgärder som kan vidtas. Avslutningsvis kategoriseras och sammanfattas de olika konsekvenserna i Tabell 8.

I denna utredning av miljökonsekvenser kommer fokus att ligga på den marina miljön eftersom dessa är de mest aktuella i detta sammanhang. Litteraturen kring möjliga konsekvenser är i många fall sparsam vilket påpekas när så är fallet.

## 8.2 Identifiering av miljöeffekter / Scoping

I detta delkapitel identifieras de möjliga effekterna av en etablering i Öresund utifrån resultatet av avgränsningen/scoping checklist. I alla faser (anläggnings-, drifts- och avvecklingsfasen) kan den omgivande marina miljön komma i kontakt med kemikalier. Det kan ske genom direkta utsläpp till vatten, ytbehandlings-, läckage av hydrauliska oljor, kemikalier i byggprocessen. Det är i dagsläget svårt att uttala sig om risken vid dessa utsläpp på grund av dess beroende av vilken teknologi som används och vilka krav som ställs i tillstånd. Dessa konsekvenser kräver uppmärksamhet och bör utgöra ett kriterie vid ytterligare utvärdering av tekniker.

### 8.2.1 Marina strömkraftverk

Nedan, i Tabell 6, summeras resultatet av avgränsningen/scoping utifrån vid vilka aktiviteter i de olika faserna som effekten uppkommer.

Tabell 6, Sammanfattning av de möjliga miljöeffekterna som kan uppkomma vid aktiviteter i anläggnings-, drifts eller avvecklingsfasen av marina strömkraftverk.

<b>ANLÄGGNING</b>		
Aktivitet	Effekt	Kommentarer
Mätningar/utredningar av tänkbara/valda lokalisering/ar	Tillfälligt förändrade trafikleder	Störningar av sjöfarten vid undersökningar av strömförhållanden, sediment, flora och fauna.
Byggnation	Avfall	Byggavfall
	Tillfällig påverkan på sjöfarten	Ökad trafikering i sundet
	Ljud/Buller	
	Kemikalieutsläpp	
Transport av personal och material	Emissioner till luft	Vid mätningar/utredningar samt byggnation
	Ljud/Buller	
Muddring	Suspension av sediment	Ökad turbiditet
	Eliminering av vegetation och bottenfauna	
	Muddringsmassor	
	Ljud/Buller	
	Resuspension av sedimenterade miljögifter	
<b>DRIFT</b>		
Offshore-anläggningar	Påverkan på sjöfarten	Förändrat djup
	Ljud/Buller	Ljud från turbinerna
	Förändrad markanvändning/batymetri	
	Förändrad hydrodynamik	Uttag av kinetisk energi
	Elektromagnetisk strålning	Från överföringsledningar från turbinerna
	Termisk påverkan från sjökabel	
	Kollisionsrisk	Främst marina däggdjur och fisk, exkl. kollisionsrisken för sjöfarten
	Kemikalieutsläpp	

AVVECKLING		
Aktivitet	Effekt	Kommentarer
Avveckling	Avfall	Återanvändning
	Tillfällig påverkan på sjöfarten	Pga tillfälligt ökade transporter
	Förändrad markanvändning/batymetri	Åter till ursprungliga förhållanden
	Förändrad hydrodynamik	
	Kemikalieutsläpp	
Transport av personal och material	Emissioner till luft	
	Ljud/Buller	
Muddring	Suspension av sediment	Ökad turbiditet
	Eliminering av vegetation och bottenfauna	
	Muddringsmassor	
	Ljud/Buller	

### Anläggning

Innan byggnationen påbörjas kommer det att krävas undersökningar av området, såsom utförliga studier av bottensubstrat, lokal flora och fauna samt berggrund för att vidare kunna utvärdera lämplig lokalisering. Troligen kommer tillståndet kräva att ett övervakningsprogram upprättas för att kunna utvärdera konsekvenserna av anläggningen.<sup>124</sup> Mätningar/undersökningar före byggnationen påbörjas krävs därmed för att få kunskap om utgångsläget. Vid en eventuell ytterligare utredning för att granska strömförhållandena (strömprofiler med hastighet och riktning) i sundet kommer en mätstation att behövas på vissa utvalda lokaliseringar. Dessa mätningar kommer att pågå under en längre tid och kan orsaka tillfälliga störningar i den marina miljön men kommer inte leda till någon långvarig, bestående eller signifikant påverkan. Om valet görs att ta data från modelleringar istället för att genomföra mätningar kan dessa konsekvenser undvikas.

Själva byggnationen av det marina strömkraftverket kommer att inducera avfall (i form av överblivet byggnadsmaterial) och muddringsmassor, tillfälligt störa den täta sjöfarten samt öka mängden ljud och buller i området för både eventuellt närliggande landområden samt den marina miljön.

Den ökade transporten av personal och material till och från turbinparkens lokalisering kommer, förutom att begränsa sjöfarten och öka mängden ljud och buller, att emittera en viss andel växthusgaser och försurande ämnen.

Muddring krävs för att förbereda marken för förankring av turbiner, nedläggning av överföringsledningar och eventuell transformatorstation genom borttagande av bottenmaterial. På detta sätt ökas vattendjupet och havsbotten utjämnas. Vanligtvis muddras man genom att spränga, gräva eller suga upp materialet.<sup>125</sup> Det marina strömkraftverket kommer att innebära att en viss bottenyta tas i anspråk. Men behovet av muddring kommer att bero på storleken på turbinparken och sedimentet på lokalen. Denna aktivitet kommer att få konsekvenser för den lokala ljudbilden, den marina miljön (på grund av eliminering av bottenfauna och vegetation), turbiditeten (antalet suspenderade partiklar i den fria vattenmassan<sup>126</sup>) samt inducera större mängder muddringsmassor.<sup>127</sup> Om området som muddras tidigare har varit utsatt för utsläpp av miljögifter finns en risk att dessa resuspenderas vid muddringen. Det måste därför undersökas innan muddringen påbörjas så rätt försiktighetsåtgärder kan vidtas.

<sup>124</sup> Vattenfall (2009)

<sup>125</sup> Naturvårdsverket (2010)

<sup>126</sup> McCoy, W. F., Olson, B. H. (1986)

<sup>127</sup> Hammar, L., Magnusson, M., Rosenberg, R., Granmo, Å. (2009)

För att möjliggöra kopplingen till elnätet i Helsingborg kommer en transformatorstation behöva uppföras, antingen i direkt anslutning till turbinen på havsbotten eller på land. Detta medför en utveckling av den lokala infrastrukturen i en begränsad omfattning men ligger utanför begränsningarna för denna studie.

### *Drift*

Anläggandet av offshore-anläggningar i form av marina strömkraftverk kommer leda till en förändring av markanvändningen på havsbotten. Det kommer att bli en signifikant påverkan på grund av den utsträckning som turbinparken, samt tillhörande elledningar, kommer att ta mark i anspråk. Man kommer att eliminera bottenvegetation vid muddring och anläggning av fundament,<sup>128</sup> och flora och fauna får därför anpassa sig till den förändrade miljön. Beroende på lokalisering, kommer ingreppet att leda till en mer eller mindre omfattande påverkan på sjöfarten. Turbinparken kommer att förändra det tillgängliga vattendjupet och kan komma att påverka säkerhetsmarginaler för sjöfarten men dock inte farlederna då det inte är möjligt att få tillstånd till en placering i dessa områden.

Driften av parken kommer få ett antal konsekvenser. Bland annat kommer den att innebära emittering av visst ljud och buller från turbinerna. Detta störningsmoment kan studeras ur två olika perspektiv: för närboende i området och för det marina livet i havet omkring. Turbinerna i sig innebär en kollisionsrisk för marina däggdjur och fiskar, som dessutom kan trassla in sig i lösa vajrar etc.

Vid etableringen av Öresundsbron diskuterades dess påverkan på strömningsförhållanden och vattenutbytet med Östersjön. En turbinpark förändrar hydrodynamiken lokalt och innebär ett "uttag" av kinetisk energi från strömmarna i sundet. Det kan potentiellt påverka ett stort område, både nedströms och uppströms turbinerna. Dessa förändrade strömprofiler och hastigheter skulle behöva utredas gällande deras påverkan på vattenutbytet med Östersjön (och därmed saltvatteninflödet till Östersjön), den förändrade turbulensen lokala påverkan på sedimentsuspension och erosion, samt påverkan på flora och fauna etc.

Nedläggningen av högspänningskablar från turbinparken leder dessutom till emittering av elektromagnetisk strålning i sundet.

Underhållet av anläggningen vid driften kommer att innebära en trafikering i sundet och ljud och buller. Denna påverkan kan minimeras genom att krafttekniker med litet behov av underhåll prioriteras vid teknikurvalet.

### *Avveckling*

Nedmonteringen av anläggningen kommer att innebära större mängder avfall som eventuellt kan återanvändas eller återvinnas för produktion/etableringen av andra anläggningar. En återanvändning av materialen i turbinparken kommer, sett ur ett livscykelperspektiv, att minska den totala miljöpåverkan betydligt<sup>129</sup> och bör därför genomföras i största möjliga grad.

Som vid anläggning och drift kommer avvecklingen att innebära ny och ökad trafik i sundet. Det kan ha en betydande påverkan på grund av den täta trafiken. Dessa transporter leder dessutom till ökade utsläpp av växthusgaser och ökad mängd ljud/buller.

En eventuell avveckling skulle innebära liknande påverkan som vid konstruktion. Avvecklingen betyder att markanvändningen/batymetrien ännu en gång förändras ifrån det nya nollläget som strömkraftverket innebar tillbaka till dess ursprungsskick. Borttagande av kablage, turbiner och fundament kommer ännu en gång att innebära en suspension av sedimentmaterial i det fria vattnet, eliminering av vegetation och bottenfauna, muddringsmassor samt ökat ljud och buller vid muddring och transport av personal och material. På samma sätt kommer hydrodynamiken förändras än en gång och återgå till situationen vid utgångsläget. Troligen kommer tillstånd för anläggningen innehålla krav på restaurering av området till dess ursprungliga skick.<sup>130</sup> Vid en förundersökning måste man därför ta hänsyn till hur området ska kunna restaureras.

---

<sup>128</sup> Näslund, J., Bruteig I. E. (2011)

<sup>129</sup> Douglas C. A., Harrison, G. P., Chick J. P. (2008)

<sup>130</sup> Klintberg, Charlotta (2011)

## 8.2.2 Frikylaupptag

I Tabell 7 summeras resultatet från avgränsningen utifrån vid vilka aktiviteter i de olika faserna som effekten uppkommer.

Tabell 7 Sammanfattning av de möjliga miljöeffekterna som kan uppkomma vid aktiviteter i anläggnings-, drifts eller avvecklingsfasen av frikylaupptaget.

<b>ANLÄGGNING</b>		
Aktivitet	Effekt	Kommentarer
Mätningar/ utredningar av tänkbara/valda lokalisering/ar	Tillfällig förändrade trafikleder	Tillfälliga störningar av sjöfarten vid undersökningar av sediment, flora och fauna.
Byggnation	Avfall	Byggavfall
	Tillfällig påverkan på sjöfarten	Ökad trafikering i sundet
	Ljud/Buller	
	Utveckling av intilliggande infrastruktur	
	Kemikalieutsläpp	
Transport av personal och material	Emissioner till luft	Vid mätningar/utredningar samt byggnation
	Ljud/Buller	
Muddring	Suspension av sediment	I vilken utsträckning muddring krävs för kylvattenupptaget beror på lokaliseringen av upptagspunkten.
	Eliminering av vegetation och bottenfauna	
	Muddringsmassor	
	Ljud/Buller	
	Resuspension av sedimenterade miljögifter	
<b>DRIFT</b>		
Offshore-anläggningar	Påverkan på sjöfarten	I vilken utsträckning kylvattenupptaget påverkar trafikleder beror på lokaliseringen av upptagspunkten
	Ljud/Buller	
	Förändrad markanvändning/batymetri	Begränsad omfattning
	Förändrad hydrodynamik	Begränsad omfattning
Kylvattenupptag	Förändrad hydrodynamik	Förändrade skiktningar/flöden
	Utsläpp av uppvärmt vatten	Lokalt förändrade temperaturer
	Förlust av biomassa vid kylvattenupptag	
	Kemikalieutsläpp	
<b>AVVECKLING</b>		
Avveckling	Avfall	Återanvändning
	Tillfällig påverkan på sjöfarten	
	Förändrad markanvändning/batymetri	Åter till ursprungliga förhållanden
	Förändrad hydrodynamik	
	Kemikalieutsläpp	
Transport av personal och material	Emissioner till luft	
	Ljud/Buller	
Muddring	Suspension av sediment	
	Eliminering av vegetation och bottenfauna	
	Muddringsmassor	
	Ljud/Buller	



## Anläggning

Innan anläggandet av ett kylvattenupptag påbörjas kommer det att krävas undersökningar av området, såsom studier av bottensubstrat, lokal flora och fauna samt eventuellt berggrund för att vidare kunna utvärdera lämplig lokalisering. På så sätt kan känsliga områden undvikas och de optimala kylvattenförhållandena identifieras. Dessa mätningar kan tillfälligt störa farleder och öka trafiken i området men får inte långvariga eller bestående konsekvenser. Undersökningar krävs dessutom för att kunna utreda effekterna av ett frikylauptag i ett övervakningsprogram. Aspekter som hur ursprungsläget för fisk och dess habitat-, uppväxt- och leksträcker ser ut behöver identifieras i en förundersökning så att en uppföljning kan genomföras.<sup>131</sup>

Själva byggnationen av kylvattenupptaget kommer att inducera byggavfall, tillfälligt störa den täta sjöfarten samt öka mängden ljud och buller i området för både närliggande landområden samt den marina miljön. Huruvida det kommer krävas kemikalier i anläggningsfasen kommer inte analyseras i denna studie utan kan diskuteras vidare längre fram i beslutsprocessen. Denna utbyggnad av fjärrkylanätet kommer kräva ytterligare infrastruktur för att möjliggöra kopplingen in till Västhamnsverket, utsläpp av det använda och uppvärmda vattnet samt en silstation för att behandla det inkommande vattnet. Den ökade kapaciteten för fjärrkyla kan även leda till ett ökat intresse för fjärrkyla i staden och indirekt miljöpåverkan vid utbyggnaden av fjärrkylanätet. Det ligger dock utanför begränsningarna för denna studie och kommer inte att behandlas närmare.

Den ökade transporten av personal och material till och från frikylauptaget kommer, förutom att störa sjöfarten och öka mängden ljud och buller även emittera en viss andel växthusgaser och försurande ämnen.

Muddring krävs för att förbereda marken för förankring av rörledning genom borttagande av bottenmaterial. Vanligtvis muddras man genom att spränga, gräva eller suga upp materialet.<sup>132</sup> Det kommer ej att behövas i någon större utsträckning för frikylauptaget men kan ändå komma att innebära en betydande påverkan. Muddringen kommer få konsekvenser för den lokala ljudbilden, bottenfauna och vegetation, turbiditeten (antalet suspenderade partiklar i den fria vattenmassan<sup>133</sup>) samt inducera avfall i form av muddringsmassor.<sup>134</sup>

Vid muddringen uppstår det avfall i form av muddringsmassor. Mängden muddringsmassor och dess vatteninnehåll kommer troligen begränsas av krav som ställs i tillståndet och efterbehandlingen av dessa kommer bero på dess inneboende egenskaper. Det kan röra sig om stora volymer avfall, beroende på placeringen av upptagspunkten och dess avstånd till Västhamnsverket.

## Drift

Anläggandet av offshore-anläggningarna som krävs för frikylauptaget kommer leda till en förändring av markanvändning, gällande havsbotten, men i begränsad utsträckning. Det tillgängliga djupet i sundet kommer, på grund av frikylauptagets utformning inte förändras i någon större utsträckning. På grundare vatten kommer muddring ske för att minimera inverkan på vattendjupet och på större djup kommer området muddras ifall konstruktionen har för stor inverkan på det djup som krävs på denna lokal.

Frikylauptaget kan komma att innebära emittering av visst ljud och buller på grund av turbulens inuti rörledningen. Detta störningsmoment kan studeras ur två olika perspektiv: för närboende i området och för det marina livet i havet omkring.

Uttaget av kylvatten kommer att påverka vattenflöden i sundet, lokalt kommer det yttra sig som ökad turbulens kring rörledningen och i större skala då uttaget av vatten kommer att påverka flödet i de olika skikten i sundet och dess temperaturer. Det kan potentiellt påverka ett stort område, både nedströms och uppströms uttagspunkten. Detta vattenuttag och de förändrade strömprofiler kan modelleras innan valet av lokalisering som därmed kan utvärderas utifrån dess hydrologiska påverkan. Fjärrkylaproduktionen kommer dessutom att ge upphov till utsläpp av vatten som tidvis har en annan temperatur än omgivande vatten.

---

<sup>131</sup> Vattenfall (2009)

<sup>132</sup> Naturvårdsverket (2010)

<sup>133</sup> McCoy, W. F., Olson, B. H. (1986)

<sup>134</sup> Hammar, L., Magnusson, M., Rosenberg, R., Granmo, Å. (2009)

I silstationen kommer det inkommande vattnet silas och renas om det är nödvändigt. Denna station kommer kräva rengöring som troligen kommer, baserat på erfarenheter av krav ställda i tillstånd för kylsystem i kärnkraftverk, i första hand ske mekanisk men vid tillfälle ske med hjälp av klorerade rengöringsmedel. När, hur och i vilken omfattning dessa rengöringsmedel får användas kommer styras av tillståndet för anläggningen vilket kommer begränsa möjligheterna att använda denna kemikalie.<sup>135</sup>

Turbulens inuti ledningen kan orsaka emittering av ljud till omgivningen beroende på volymen av upptaget.

### *Avveckling*

Nedmonteringen av anläggningen kommer att innebära större mängder avfall som eventuellt kan återanvändas eller återvinnas vid produktion/etablering av andra anläggningar.

Som vid anläggning och drift kommer avvecklingen att innebära ny och ökad trafik i sundet. Det kan ha en betydande påverkan på grund av att den befintliga trafiken är mycket tät och kan dessutom leda till utsläpp av växthusgaser, eventuella kemikalier etc..

En eventuell avveckling skulle innebära liknande påverkan som vid konstruktion. Avvecklingen betyder att markanvändningen/batymetrien ännu en gång förändras ifrån det nya nolläget som strömkraftverket innebar, tillbaka till ursprungsläget. Borttagande av rörledningar och fundament kommer ännu en gång att innebära en suspension av sedimentmaterial i det fria vattnet, eliminering av vegetation och bottenfauna, avfall i form av muddringsmassor samt ökat ljud och buller vid muddring och transport av personal och material. På samma sätt kommer hydrodynamiken förändras än en gång och återgå till situationen vid utgångsläget. Troligen kommer tillstånd för anläggningen innehålla krav på restaurering av området till dess ursprungliga skick.<sup>136</sup> Vid en utredning måste man därför ta hänsyn till hur området ska kunna restaureras.

---

<sup>135</sup> Elforsk, (2009)

<sup>136</sup> Klintberg, Charlotta (2011)

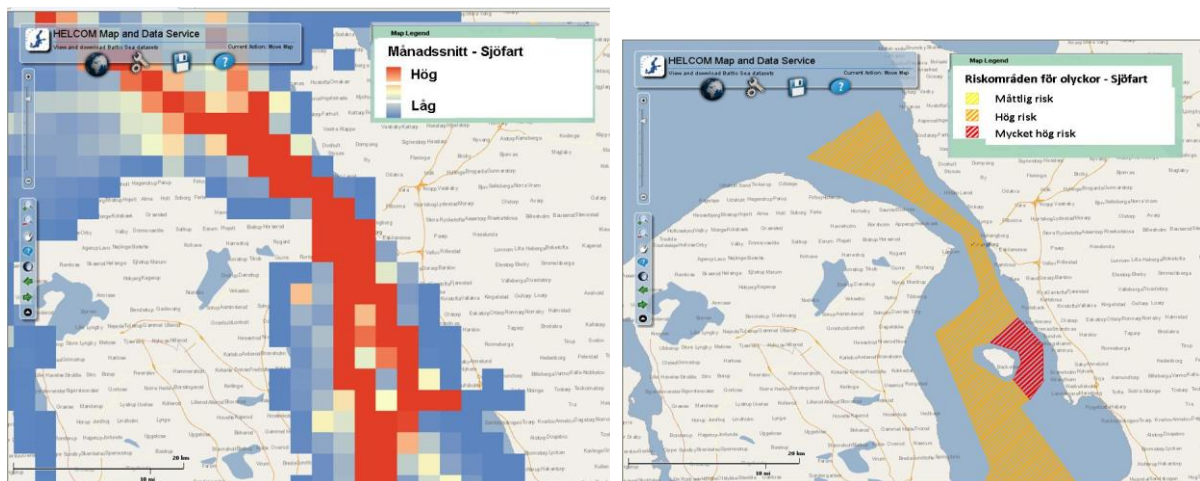
## 8.3 Identifiering av miljökonsekvenser

Utifrån resultatet från avgränsningen följer här en detaljerad genomgång av varje effekt och de potentiella konsekvenserna för ekosystemen och andra näringar i området. Kunskapsläget gällande de olika faktorerna går genom samt eventuella skyddsåtgärder som kan vidtas.

Två potentiella effekter som inte undersöks närmare är påverkan på landskapsbilden samt fiskenäringen. Som tidigare nämnts kommer det, vid valet av teknologi, prioriteras tekniker som inte ger någon större påverkan på landskapsbilden. Därmed kommer tillståndsprocessen troligen förenklas och acceptansen för en etablering bli större. Fiskenäringen är mycket viktig i området. Vilka konsekvenser som kan vara aktuella och i vilken storleksordning är svårt att kvantifiera. Den kommer troligen att bli begränsad för frikylauptaget, se kapitel 8.3.12, men kan få större konsekvenser vid de marina strömkraftverken. Turbinparken kommer att skapa en "frizon" från trålning<sup>137</sup>, något som dock redan är förbjudet i Öresund.

### 8.3.1 Påverkan på sjöfarten

Öresund är ett område med mycket tät trafik, se Figur 32 för månadssnittet, cirka 40 000 fartyg passerar genom sundet varje år.<sup>138</sup> Helsingborg är bland Sveriges fem största hamnar och hanterar, tillsammans med Göteborgs hamn, 70 % av den totala volymen varor som fraktas till Sverige via sjöfarten.<sup>139</sup> Det varierande djupet och den täta trafiken är en orsak till att det krävs en skicklig och uppmärksam navigatör vid passage med större fraktfartyg.<sup>140</sup> Risken för olyckor är hög i sundet, vilket illustreras i Figur 32. Den pågående sjöfarten måste därför tas hänsyn till vid etableringen av ett kylvattenupptag eller marin strömkraftspark i sundet. Den största potentiella påverkan ligger hos marina strömkraften då den, i större utsträckning, kan påverka det tillgängliga vattendjupet i området. Någon djupare analys av denna problematik anses ligga utanför begränsningarna för detta projekt utan kommer endast att behandlas översiktligt här. En vidare diskussion får ske vid senare tillfälle i samråd med de lokala intressenterna.



Figur 32, Till vänster: Trafikdensitet, månadssnitt. (HELCOM (2011)) Till höger: Riskområden för olyckor, (HELCOM (2011))

Vid anläggning och avveckling och tillfälligt vid underhåll kommer den lokala sjöfarten tillfälligt att öka och leda till ökad konkurrens för sjöfarten. Det kommer dock endast ske under kortare tid och kan troligtvis, med kommunikation med rätt myndigheter samordnas på ett lämpligt sätt. Beroende på lokalisering av anläggningen kommer utbyggnaden få mer eller mindre omfattande konsekvenser för sjöfarten. Att få tillstånd till placeringen av ett marint strömkraftverk i en farled är troligen inte genomförbart. Utöver dessa områden är en lokalisering intressant med ett lämpligt djup för placeringen av turbiner. Av de områden med stort djup som

<sup>137</sup> Langhamer, O. (2010)

<sup>138</sup> Ramböll (2006)

<sup>139</sup> VTT (2002)

<sup>140</sup> Ramböll (2006)

inte ligger i farleden, och är intressanta ur en energisynpunkt, kan lokaliseringen antingen omöjliggöra eller tillåta passagen av fritidsbåtar och andra mindre båtar. En sådan påverkan kan leda till ett större motstånd mot en etablering och försvåra tillståndsprocessen. Konsekvenserna av en etablering i sundet kan komma att bli förändrade sjökort och nya riktlinjer för passerande båtar. Fjärrkylanläggningen kommer ha en viss påverkan men den kommer att vara koncentrerad till ett grundare område och en förändring av vattendjupet med konsekvenser för sjöfarten kommer då att kunna undvikas genom att rörledningarna muddras ner i sedimenten.

### 8.3.2 Emissioner till luft

Transporterna vid anläggning, avveckling och underhåll kommer leda till ett visst utsläpp av växthusgaser och försurande ämnen. Sett ur ett livscykelperspektiv är dock denna påverkan begränsad, förutsatt en lång livstid och hög energiproduktion och att etableringen leder till att energiproduktionsmetoder med högre miljöpåverkan substitueras. Storskaliga bidrag till klimatförändringarna är därmed inte att förvänta sig från denna etablering utan mer troligt, och eftersträvat, är att investeringen ska innebära en minskad påverkan genom satsningen på förnyelsebara energikällor.

### 8.3.3 Ljud/buller

Den marina miljön är ur ljudsynpunkt varierande där de marina faunan är beroende av ljud för att finna föda, orientera sig, kommunicera och reproducera sig.<sup>141</sup> I dagsläget är Öresund utsatt för mycket ljud och buller främst på grund av att det är starkt trafikerat.<sup>142</sup> Bullret kommer vara som högst i anläggningsfasen där ökad sjötrafik, konstruktion, grävning och muddringsarbete samt ev. förundersökningar kommer orsaka tillägg till ljudbilden.<sup>143,144</sup> Vid drift kommer rörliga delar, som exempelvis rotorblad i en turbin orsaka den mest långvariga ljudpåverkan men undersökningar av kvantiteten av detta ljud saknas.<sup>145</sup> Vid Scottish Association for Marine Science pågår forskning kring vilka konsekvenser den förändrade ljudbilden kan få för de marina ekosystemen. Forskningen är inriktad mot tidvattensturbiner utanför den skotska kusten och det djurliv som finns där.<sup>146</sup>

Turbinerna kommer att utgöra en störning för "närboende" marina däggdjur, fisk och fåglar. I vilken omfattning och vilka konsekvenser detta buller får är i dagsläget endast undersökt i begränsad utsträckning men de ovannämnda djuren tros kunna höra ljuden och undvika dessa områden. Bullret tros påverka djurs beteende och fysiologi men kan även leda till temporära eller permanenta problem med hörseln. Ljudet från turbinerna kan dock "maskeras" av de naturliga ljuden vid vattenflöden och inte orsaka något signifikant tillägg till den befintliga ljudnivån.<sup>147</sup> Hos torsk har man kunnat se undflyende reaktioner för denna typ av ljud ett tiotal meter ifrån dess källa.<sup>148</sup> Dessa undvikande rörelser minskar interaktionerna mellan individer och arter vilket kan leda till minskad artdiversitet i området.<sup>149</sup>

Trots de negativa effekterna av ljud från turbiner är ljudet viktigt för marina däggdjurs förmåga att upptäcka dem och undvika dem. Ljudet fungerar alltså som en varningssignal för många marina organismer.<sup>150</sup> Resultatet av den förändrade ljudbilden blir därmed en reducerad risk för kollisioner.<sup>151</sup> Å andra sidan finns även risken att vissa djurarter lockas till dessa ljud och därmed ökar risken för kollisioner eller intrassling i lösa kablar.<sup>152</sup>

Ljudbilden antas vara liten från kylvattenuptaget men ingen litteratur har kunnat hittas som bekräftar det.

---

<sup>141</sup> The Scottish Association for Marine Science B

<sup>142</sup> Carlsson, Per (2011)

<sup>143</sup> Boehlert, G. W., Gill, A. B. (2010)

<sup>144</sup> Näslund, J., Bruteig I. E. (2011)

<sup>145</sup> Boehlert, G. W., Gill, A. B. (2010)

<sup>146</sup> The Scottish Association for Marine Science A

<sup>147</sup> Shields, M. A., Dillon, L. J., Woolf, D. K., Ford, A. T. (2009)

<sup>148</sup> Näslund, J., Bruteig I. E. (2011)

<sup>149</sup> Boehlert, G. W., Gill, A. B. (2010)

<sup>150</sup> Shields, M. A., Dillon, L. J., Woolf, D. K., Ford, A. T. (2009)

<sup>151</sup> The Scottish Association for Marine Science A

<sup>152</sup> Boehlert, G. W., Gill, A. B. (2010)

Ljud och buller som når närboende människor kommer vara som störst i anläggnings-, avvecklingsfasen och eventuellt vid underhåll då den ökade trafiken kan orsaka en förhöjd ljudnivå. Litteratur som behandlar vilka konsekvenser kraftverket och kylvattenupptaget kan få på ljudnivån på land har inte hittats men antas vara försumbart på grund av den begränsade tiden som den är signifikant.

### 8.3.4 Suspension av sediment / Förhöjd turbiditet

I den första fasen av brukstiden förbereds den valda lokaliseringen genom muddring, för att eventuellt öka vattendjupet och utjämna havsbotten.<sup>153</sup> Därefter är det möjligt att placera ut kablage för överföringen av elektricitet, förankringen av turbiner till havsbotten samt nedläggningen av rörledningar för kylvattenupptag. Muddringen orsakar en suspension av sediment som kan få geokemiska konsekvenser samt orsaka en lokal ökning i turbiditet.<sup>154</sup> Förändringar hos ekosystemen på grund av grumlingen är synliga flera år efter muddringen skett, då främst i de bentiska ekosystemen. Generellt sett innebär grumlingen en reduktion av ljusstillgången samt en begränsad sikt. I vilken utsträckning som sedimentpartiklarna påverkar kommer att bero på vattnets egenskaper såsom densitet, salthalt, salt- och temperaturskiktningar samt den naturliga turbiditeten, muddringens omfattning, storleken på partiklarna och vattnets rörelser. Sediment som lera och silt kommer ha större påverkan under längre tid än exempelvis grus och sand, på grund av partiklarnas storlek och tyngd. På grund av den höga strömhastigheten i sundet kan sedimentplymen komma att påverka ett stort område, upp till 1 – 2 km nedströms från muddringen. Den naturliga turbiditeten är en indikation för hur anpassat ekosystemet är för suspenderat material och kan ge en förståelse på förhand för hur suspensionen kan hanteras av flora och fauna. Ett område med högre naturlig turbiditet lider inte lika stor skada av suspensionen.<sup>155</sup>

Fytoplankton bedöms inte lida några långvariga skador från resuspensionen om inte det suspenderade materialet består av särskilt ljusabsorberande ämnen, exempelvis skogsavfall. Dock kan suspensionen få större konsekvenser för plankton som är beroende av fotosyntesen. Litteratur kring konsekvenserna för zooplankton är begränsad.<sup>156</sup> Flora och sessil fauna kan på grund av suspensionen täckas av sediment vilket kan få konsekvenser för dess primärproduktion.<sup>157,158</sup>

Omfattningen av konsekvenserna för bentiska organismer är beroende av i vilken utsträckning det finns naturlig grumling i området, under hur lång tid exponeringen sker samt hur hög koncentrationen av partiklar är. Kortare perioder med högre halt suspenderat material har ingen bevisad effekt men grumling under längre tid kan ha påverkan på, framförallt, filtrerande organismer såsom blåmusslan. Finkornigt material som sedimenterar i ett område med grovkornig botten kan potentiellt förändra strukturen hos bottenmiljöer genom att förändra dess habitat.<sup>159</sup>

En hög halt suspenderat material kan skapa undflyende reaktioner hos de flesta fiskarter och leder dessutom till övertäckning av fiskägg och larver. Respirationen kan dessutom försvåras samt sökandet efter föda, för de arter som använder synen vid fångst.<sup>160,161</sup> Beteendet hos predatorer och bytesfiskar i jaktsituationer kan därmed förändras men det finns ingen entydig bild av reaktioner hos fiskar generellt eller ens inom en fiskart. För vissa fiskar kan man inte påvisa några konsekvenser. Ökad turbiditet kan påverka fiskars gälar, membran och ägghinnor och ökar därmed dödligheten för larver och ägg.<sup>162</sup>

Påverkan kan begränsas genom att välja lämpliga tidpunkter på dygnet eller året då muddringen genomförs för att minimera sedimentplymens storlek. Dessutom bör hänsyn tas till vandrings- eller lekperioder för fisk.<sup>163</sup>

<sup>153</sup> "Muddring och hantering av muddermassor" Naturvårdsverket, 2010

<sup>154</sup> Shields, M. A., Dillon, L. J., Woolf, D. K., Ford, A. T. (2009)

<sup>155</sup> Hammar, L., Magnusson, M., Rosenberg, R., Granmo, Å. (2009)

<sup>156</sup> Hammar, L., Magnusson, M., Rosenberg, R., Granmo, Å. (2009)

<sup>157</sup> Näslund, J., Bruteig I. E. (2011)

<sup>158</sup> Hammar, L., Magnusson, M., Rosenberg, R., Granmo, Å. (2009)

<sup>159</sup> Hammar, L., Magnusson, M., Rosenberg, R., Granmo, Å. (2009)

<sup>160</sup> Näslund, J., Bruteig I. E. (2011)

<sup>161</sup> Hammar, L., Magnusson, M., Rosenberg, R., Granmo, Å. (2009)

<sup>162</sup> Hammar, L., Magnusson, M., Rosenberg, R., Granmo, Å. (2009)

<sup>163</sup> Naturvårdsverket (2010)

Valet av muddringsmetod samt eventuella åtgärder såsom avskärmning kan vara fördelaktigt för känslig flora. Vid nedgrävning kan en övertäckning minimera sedimentplymen och genom att strategiskt välja metod (exempelvis att ploga istället för att spola) minskar konsekvensernas omfattning.<sup>164</sup>

### 8.3.5 Resuspension av sedimenterade miljögifter

Om muddringen sker i områden som tidigare varit utsatta för utsläpp av diverse miljögifter finns det en risk att dessa kan återgå till den fria vattenmassan. Miljögifter som är svårnedbrytbara kan binda sig till "lätta" material såsom lera och silt och förbli där. Detta fenomen är dock starkt beroende av miljögiftens fysikaliska egenskaper (vattenlöslighet, sorptionskoefficient) samt sedimentets kvaliteter, om det kommer agera som en källa eller en sänka.<sup>165</sup> Generellt anses risken hög endast i kraftigt kontaminerade områden, vilket är troligt att finna i anknytning till industrier, urbana miljöer, tung sjötrafik och småbåtshamnar.<sup>166</sup> I bästa fall frigörs gifterna under begränsad tid för att sedan återgå till sedimentet men i värsta fall ansamlas gifterna i organismer och sprider sig sedan vidare i näringsväven till predatorer.<sup>167</sup> Ämnen man bör vara uppmärksam på är bland annat TBT (tributyltenn), DDT, PCB, kadmium, arsenik, kvicksilver, dioxiner etc.<sup>168</sup> Enligt Baltic Marine Environment Protection Commission HELCOM (Helsinki Commission) är föroreningsnivån i Öresund måttlig där mätningar har visat spår av bland annat nonylfenoler, kadmium och kvicksilver.<sup>169</sup>

### 8.3.6 Ingrepp i bottenstrukturen/Eliminering av bottensubstrat

Muddringen orsakar avlägsnandet av habitat på botten och får främst konsekvenser för bottendjur och vegetation. Trots elimineringen av bottenvegetationen har tidigare erfarenheter visat att bottensamhällena är återställda, det vill säga har återgått till samma status som innan operationen, relativt snabbt.<sup>170, 171</sup>

En särskilt känslig vegetationstyp är ålgräs, på grund av dess beroende av ett stabilt sediment för att fortleva. Avlägsnandet av vegetation kan orsaka erosion av havsbotten och omöjliggör en återkolonisation av ålgräs. Det är därför komplicerat och de bestående konsekvenserna kommer bero på statusen för det ursprungliga beståndet. Naturvårdsverket rekommenderar bevarandet av bestånden av ålgräs. Ålgräs utgör ett viktigt habitat för diverse fiskarter och elimineringen av dessa kan därmed leda till en habitatreduktion.<sup>172</sup>

Ett område som nyligen muddrats har en lägre abundans och artrikedom. Vilka konsekvenser muddringen får för bottendjuren beror på hydrodynamiken som reglerar hur snabbt bestånden kan återhämta sig. Studier visar på att återhämtningen har skett efter 1 – 3 år. Elimineringen av bottenfauna får indirekta konsekvenser för fisk vars tillgång till föda reduceras.<sup>173</sup> På grund av starka strömförhållanden i Öresund kan området återhämta sig snabbt efter ingreppet.

Utredningar innan anläggandets början kommer identifiera fiskars habitat-, uppväxt- och lekområden och dessa arealer kan därmed undvikas och beskyddas från antropogen påverkan. Turbinparkerna även fungera som ett konstgjort rev och utgör därför ett nytt habitat för fisk med nya lek- och uppväxtområden. Det kommer dock att attrahera rovfisk till området och ökar därmed risken för kollisioner.<sup>174</sup>

Genom att minimera omfattningen av muddringen samt att undvika områden med särskilt känslig flora och fauna kan konsekvenserna lindras. Troligen kommer det ingå i tillståndskraven att restaurera området till dess

---

<sup>164</sup> Näslund, J., Bruteig I. E. (2011)

<sup>165</sup> Näslund, J., Bruteig I. E. (2011)

<sup>166</sup> Hammar, L., Magnusson, M., Rosenberg, R., Granmo, Å. (2009)

<sup>167</sup> Näslund, J., Bruteig I. E. (2011)

<sup>168</sup> Naturvårdsverket (2010)

<sup>169</sup> HELCOM (2011)

<sup>170</sup> Carlsson, Per (2011)

<sup>171</sup> Näslund, J., Bruteig I. E. (2011)

<sup>172</sup> Hammar, L., Magnusson, M., Rosenberg, R., Granmo, Å. (2009)

<sup>173</sup> Hammar, L., Magnusson, M., Rosenberg, R., Granmo, Å. (2009)

<sup>174</sup> Shields, M. A., Dillon, L. J., Woolf, D. K., Ford, A. T. (2009)

ursprungliga skick efter avveckling<sup>175</sup> och att alla rimliga åtgärder ska vidtas för att möjliggöra en restaurering efter avveckling.

### 8.3.7 Muddringsmassor

Muddringen leder till att stora volymer muddermassor måste omhändertas. Mängden muddringsmassor och dess vatteninnehåll kommer troligen begränsas av krav som ställs i tillståndet och efterbehandlingen av dessa kommer bero på dess inneboende egenskaper. För att få en känsla för storleksordningen fanns det, vid anläggandet av Lillgrund, direktiv att det muddrade materialet inte fick överstiga 200 000 m<sup>3</sup> för vindkraftsparken och 100 000 m<sup>3</sup> för installationen av kablar.<sup>176</sup> Det kan alltså röra sig om stora volymer avfall, beroende på parkens storlek och bottensubstratet vid den valda lokalen. Lillgrund sträcker sig över en area på 6 km<sup>2</sup><sup>177</sup> vilket kan jämföras med den fiktiva strömkraftanläggningen utanför Hittarp på 1,3 km<sup>2</sup>, se avsnitt 6.

Vilken metod som är lämplig för omhändertagandet är beroende av renhetsgraden av massorna ifråga. Rena muddringsmassor kan återvinnas och användas vid vägarbete eller annat anläggningsarbete, alternativt som täckning på deponier. Om så inte är fallet kan massorna dumpas, läggas upp på land eller deponeras. Dumpning är förbjudet enligt 15 kap 31 § MB men dispens kan tilldelas enligt 15 kap 33 § MB om det inte medför någon olägenhet för miljön eller människors hälsa. Genom dispensen regleras tid, plats, dumpningsmetod och mängden muddermassor. Deponering eller uppläggning kräver tillstånd eller anmälan enligt 9 kap 6 § MB. Om föroreningsrisken från muddermassorna är ringa krävs anmälan till kommunala nämnden (C-ärende, SNI-kod 90.007-2), medan deponering annars är tillståndspliktigt till länsstyrelsens miljöprövningsdelegation (B-ärende, SNI-kod 90.007-1).<sup>178</sup> Förorenade muddringsmassor kräver behandling innan det slutförvaras alternativt måste omhändertas på en deponi med särskilt tillstånd.<sup>179</sup>

Omhändertagandet av muddringsmassorna kommer inte analyseras i detalj men nämnas bör att en föräning om förorenade vattenmassor bör leda till att provtagningar görs på förhand innan muddring påbörjas. Om muddringsmassorna, efter givet tillstånd, dumpas i sundet kommer det att innebära samma typ av konsekvenser som vid muddringen med ökad grumlighet, ny exponerad bottenyta (då den föregående täcks), risk för spridning av föroreningar etc. Valet av tidpunkt för dumpning är därför av yttersta vikt för att minimera dess konsekvenser.<sup>180</sup> De bottenjur som har bäst chans att hantera dumpningen är de som uppehåller sig i gångar i botten eftersom de kan gräva sig fram till den nya bottenytan.<sup>181</sup> För djupare analys se avsnitt 8.3.6 och 8.3.4.

### 8.3.8 Förändrad markanvändning/batymetri

Den fysiska störningen som anläggningen innebär har en påverkan som är begränsad till närområdet kring rörledningar, kablar och turbiner. Detta kommer att innebära en fundamental förändring av habitatet och därmed påverkan främst på flora och sessila djur (immobila organismer).<sup>182</sup> Dessa organismer växer oftast långsamt och det kan därför dröja innan de återhämtar sig. Uppföljning efter anläggandet av en kabelanslutning i Yttre Stengrund, Östersjön, visade att vegetationen hade återhämtat sig efter tre år.<sup>183</sup>

Den förändrade bottenstrukturen som anläggningen innebär kan fungera som ett rev och därmed förändra artsammansättningen i området. En ökning av hårbottenarter är trolig som i sin tur attraherar nya fiskar till området.<sup>184</sup> Vid anläggandet av test-anläggningen för vågkraft utanför Lysekil gjordes utförliga undersökningar av parkens påverkan på ekosystemen i området. På grund av immobiliteten hos makrobentiska organismer brukar undersökningar av detta slag fokusera på dem då de ger en god indikator för statusen av miljön. Den

<sup>175</sup> Klintberg, Charlotta (2011)

<sup>176</sup> Vattenfall (2009)

<sup>177</sup> Lindoe Offshore Renewables Centre (2011)

<sup>178</sup> Miljösamverkan Sverige & Länsstyrelserna (2006)

<sup>179</sup> Naturvårdsverket (2010)

<sup>180</sup> Naturvårdsverket (2010)

<sup>181</sup> Hammar, L., Magnusson, M., Rosenberg, R., Granmo, Å. (2009)

<sup>182</sup> Boehlert, G. W., Gill, A. B. (2010)

<sup>183</sup> Näslund, J., Bruteig I. E. (2011)

<sup>184</sup> Näslund, J., Bruteig I. E. (2011)

förändrade topografin av havsbotten och hydrodynamiken för omkringliggande vatten ledde till en förändrad struktur hos bentiska samhällen och attraktionen av bentisk fisk. Anläggningen skapade dessutom en "frizon" från trålning och gynnade därmed fisksamhällena i närheten.<sup>185</sup>

Om etableringen innebär en struktur ovanför vattenytan kan migrationsmönster störas för fågelarter som gärna uppehåller sig på vattenytan.<sup>186</sup> Vid valet av teknik föreslås därför att prioritera strukturer som är helt nedsänkta under vattenytan för att minimera denna påverkan.

### 8.3.9 Förändrad hydrodynamik

Etableringen av turbiner kan ha hög påverkan på strömmarna där den placeras. Konsekvenserna är märkbara efter turbinerna men kan även vara synliga uppströms från anläggningen, till skillnad från vindturbiner.<sup>187</sup> Turbinparkerna kan dessutom förändra strömnings- och sedimentationsmönster i havsområdet. Uttaget av kinetisk energi genom turbinparken och avledningen av vatten som frikyla, leder till förändrade rörelsemönster för vattnet, potentiellt nya språngskikt och lokal turbulens. Under driftfasen förändras distributionen av sediment på grund av den ökade turbulensen. Detta kommer påverka bentiska organismer genom förändrad primärproduktion och en ökad koncentration av näringsämnen som frigörs.<sup>188</sup> Strukturerna för de lokala ekosystemen kan komma att förändras då föda och bytesdjur förändrar sina rörelsemönster. Strömmarnas förändring kan även ha en påverkan på transport av sediment och dess fördelning.

Turbiner kan orsaka en lokal ökning i turbulens som i sin tur kan påverka närmiljön. På grund av den kraftiga nuvarande turbulensen i sundet, på grund av den varierande batymetrien, kan turbinerna inte tänkas medföra signifikant ökning i turbulensen som kan medföra negativa konsekvenser.<sup>189</sup>

Något som diskuterades i stor omfattning vid etableringen av Öresundsförbindelsen var om etableringen skulle påverka utbytet av saltvatten mellan Kattegatt och Östersjön.<sup>190</sup> Som tidigare nämnts är utbytet mellan Kattegatt och Östersjön mycket viktigt för bland annat syresättningen av bottenarna i Östersjön. Måttliga till mycket kraftiga saltvatteninbrott kan ske var tionde år till endast ett par gånger varje århundrade.<sup>191</sup> Vid utvärdering av denna påverkan i det här fallet är det viktigt att skilja på om etableringen sker under språngskiktet på stort djup eller nära ytströmmen. Ett frikylauttag skulle troligtvis placeras på ett stort djup vid sundet och därmed fånga upp saltvatten från Kattegatt. Detta uttag kan tänkas påverka vattenfördelningen i sundet vilket kan få konsekvenser för saltvatteninflödet till Östersjön. Hur uttaget påverkar flöden kan modelleras för att förutse framtida problem. Turbinparken kommer å andra sidan troligen placeras närmare ytan, på lägre djup och kommer därmed inte innebära några betydande konsekvenser för den sydgående strömmen vid större djup. Nära ytan går strömmen norrut och utvinningen av kinetisk energi här har alltså inte lika stor påverkan. Placeringen av en turbin på botten, under språngskiktet, skulle få större konsekvenser men är inte trolig på grund av den låga strömhastigheten vid dessa djup.

### 8.3.10 Elektromagnetisk strålning

De nödvändiga överföringsledningarna från turbinparken emitterar strålning i form av elektriska och magnetiska fält. Storleksordningen på dessa beror på valet av teknik, kabel och mängden elektricitet som överförs. Med dagens teknik kan de elektriska fälten skärmis bort eller dämpas men detsamma gäller inte magnetiska fälten. Magnetfältets styrka är beroende av valet av teknik för överföringen. Likströmskablar som HVDC (High Voltage Direct Current) orsakar ett kraftigare magnetfält än växelström HVAC (High Voltage Alternating Current) vars magnetfält kan minskas ytterligare i styrka om kablarna tvinnas eller flätas samman.<sup>192</sup> Den magnetiska strålningen från kablagen vid havsbotten kan leda till att det marina livet antingen undviker dessa områden eller attraheras till dem. Fälten kan dessutom förändra beteendet hos många marina

<sup>185</sup> Langhamer, O. (2010)

<sup>186</sup> Boehlert, G. W., Gill, A. B. (2010)

<sup>187</sup> Grabbe, M. (2009)

<sup>188</sup> Shields, M. A., Dillon, L. J., Woolf, D. K., Ford, A. T. (2009)

<sup>189</sup> Carlsson, Per (2011)

<sup>190</sup> Den svenska Öresundsdelegationen (1987)

<sup>191</sup> SMHI (2009a)

<sup>192</sup> Näslund, J., Bruteig I. E. (2011)



djurarter då de använder sig av jordens naturliga magnetfält för migrering, orientering och för att detektera bytesdjur. De arter man vet kan detektera magnetiska fält är bland annat havssköldpaddor, fiskar (framförallt broskfisk) och kräftor.<sup>193</sup> Arter som är känsliga för elektriska fält förväxlar dem med bioelektriska fält, genererade av bytesdjur.<sup>194</sup>

Sverige har för närvarande fem överföringsledningar för elektricitet till Gotland och mellan Sverige och Danmark, Finland, Tyskland och Polen. Under slutet på 1990-talet/början av 2000-talet gjordes undersökningar för att utreda miljöeffekter på den polska sidan av SwePol-Link, en HVDC ledning mellan Sverige (Karlshamn) och Polen (Ustka). Testerna skulle ge svar på huruvida anläggandet av denna ledning hade påverkat migrationsmönstren för fisk i området, specifikt de arter som använder sig av jordens magnetfält för att orientera sig. Erfarenheter från överföringsledningen till Gotland och mellan Sverige och Finland hade inte visat på någon negativ påverkan på fiskbestånden eller fisket.<sup>195</sup> Utredningar av blankålen migrationsmönster längs med Baltic Cable mellan Sverige och Tyskland påvisade en känslighet hos arten för elektromagnetiska strålningen då den i perioder valde att följa ledningens riktning istället för sin egna inbyggda kompass. Slutsatsen från denna undersökning blev att det ett år efter anläggandet av SwePol-link inte fanns några synliga förändringar på havsbotten.<sup>196</sup>

Liknande undersökningar av bottenfauna och bottenflora längs med Baltic Cable genomfördes från mars 1994 till april 1999 och påvisade ingen minskande trend för abundans, biomassa eller antal arter utan endast naturliga variationer.<sup>197</sup>

Mätningarna av den elektromagnetiska strålningen längs med SwePol link visade att placeringen av två ledningar på två meters avstånd från varandra där strömmen går i var sin riktning minskar strålningen betydligt. Detta är i jämförelse med överföringsledningar som använder sig av elektroder för att åstadkomma växelströmmen. Strålningen från ledningarna kan uppmätas 20 m ifrån kablarna, alltså sprider sig den elektromagnetiska strålningen i ett 40 m brett område.

Kunskapen är begränsad när det gäller effekterna av elektromagnetisk strålning på fauna. Det finns ett begränsat stöd för att elektromagnetisk strålning skulle ha negativ påverkan på *benfiskar*. Utredningar på lax och öring visar att påverkan inte existerar. Blankål *Anguilla anguilla* använder sig av jordens magnetfält för att orientera sig, men en utredning kring påverkan från en 130 kV ledning i Kalmarsund visade på att blankålen behövde 40 minuter ytterligare tid för att förflytta sig en sträcka på 4 km. Denna tid kan tyckas försumbar då ålens totala ressträcka uppgår till 7000 km. Denna extra tid kan även bero på havsbottens förändrade topografi, kabelns fysiska struktur eller andra hinder.<sup>198</sup>

*Broskfiskar* är generellt känsligare för elektromagnetisk strålning än *benfiskar*, upp till 10 000 gånger känsligare. Till skillnad från *benfiskar*, som främst använder sig av kemiska och optiska faktorer för att lokalisera sina bytesdjur är *broskfiskar* beroende av elektriska receptorer. Man har av denna anledning hittat bitmärken från broskfisk på vissa elledningar. Samtidigt uppvisar vissa broskfiskarter tendenser att undvika dessa områden med förhöjd strålning. Ur det begränsade antalet studier har man dock inte kunnat påvisa någon signifikant negativ påverkan eller förändring i fiskarnas rörelsemönster.<sup>199</sup>

Det är känt sedan innan att *däggdjur* såsom valar orienterar sig efter jordens magnetiska strålning men man har inga experimentella bevis för påverkan från elledningar. Det finns heller inga bevis för att sälar skulle vara känsliga.<sup>200</sup>

När det gäller effekter på *mjukbottenfauna* finns begränsat med litteratur gällande negativa effekter från elektromagnetisk strålning. Studier har gjorts på kräftdjur och blåmussla i kraftigt statiska magnetfält men de

<sup>193</sup> Näslund, J., Bruteig I. E. (2011)

<sup>194</sup> Shields, M. A., Dillon, L. J., Woolf, D. K., Ford, A. T. (2009)

<sup>195</sup> Andrulewicz, E., Napierska, D., Otremba, Z. (2003)

<sup>196</sup> Andrulewicz, E., Napierska, D., Otremba, Z. (2003)

<sup>197</sup> Andrulewicz, E., Napierska, D., Otremba, Z. (2003)

<sup>198</sup> Näslund, J., Bruteig I. E. (2011)

<sup>199</sup> Näslund, J., Bruteig I. E. (2011)

<sup>200</sup> Näslund, J., Bruteig I. E. (2011)

har inte kunnat påvisa några effekter på djurens hälsa eller överlevnad. Det finns dock bevis för att många kräftdjursarter navigerar efter jordens magnetfält och därmed skulle påverkas negativt.<sup>201</sup>

Det finns alltså inga definitiva slutsatser som kan dras om elektromagnetiska strålningens påverkan på diverse organismer i dess närhet. Det krävs mer forskning om konsekvenserna av människans etablering på havsbotten och tillförseln av nya magnetiska fält. Det är dock klart att många arter använder sig av magnetismen för att orientera sig och navigera.

Konsekvenserna av den elektromagnetiska strålningen kan förmildras genom diverse åtgärder. I förundersökningar kan området med särskilt ömtåliga arter och långsamt växande växter identifieras och undvikas. Genom valet av teknik kan magnetfältet minskas, bland annat genom att välja exempelvis tvinnade trefas växelströmskablar istället för likström.<sup>202</sup> Vid användande av likströmskablar kan dock magnetfältet minskas genom att placera ut parallella kablar i var sin riktning istället för en enskild likströmsledning med elektroder som möjliggör transporter i varje riktning.<sup>203</sup>

### 8.3.11 Termisk påverkan från sjökabel

Kablar som anläggs på havsbotten kommer att innebära en förhöjd temperatur i dess närområde vilket kan ha en påverkan på den närliggande havsmiljön. Kunskapsläget är dåligt även inom detta forskningsområde men temperaturförändringarna tros få störst konsekvenser för intilliggande bottensamhällen. Internationellt finns riktlinjer för tillverkare av kablage att temperaturen inte får öka mer än 2K 20 cm ifrån kabeln. Den slutgiltiga temperaturförändringen kan dock regleras till viss del vid valet av kabeltyp och effekt och varierar med belastningen på kabeln. Området som påverkas av temperaturökningen kan minskas genom att gräva ner kabeln eller se till att använda sig av en tjockare ledare med mindre värmeemission.<sup>204</sup>

### 8.3.12 Förlust av biomassa vid kylvattenupptag

Då frikylan leds in i kylsystemet riskerar större mängder organiskt material som flora och fauna sugas upp i systemet med diverse konsekvenser. Större organismer skyddas från kylvattenupptaget tack vare filter monterade vid intaget. Risken är större för plankton, mindre fiskarter, larver, ägg etc. Dessa organismer kan skadas på grund av temperatur och tryckskillnader med även till följd av mekaniska skador. Mindre organismer kan passera rakt igenom kylsystemet utan problem, exempelvis visar utredningar vid liknande anläggningar inga stora effekter på plankton, men det är beroende av tryck, temperatur, längden på systemet etc. Djurplankton riskerar att nå sin letala gräns i systemet om intagstemperaturen överstiger 20°C. Det finns även möjlighet för dessa organismer att frodas i systemet då de kan etablera samhällen av filtrerfauna som lever på inkommande organismer. Det är dock kraftigt beroende av kylsystemets längd, och gynnas av längre system. Denna tillväxt kan dock föra med sig problem vid drift av anläggningen som kan hindras. Dödligheten av små larver och ägg har inte undersökts i någon större utsträckning men tros vara relativt hög. Jämfört med det totala antalet producerade ägg är dock dessa förluster små. Vid kylsystemen för kärnkraftverk pågår ständiga kontroller av inkommande organiskt material. Exempelvis finns riktlinjer vid Barsebäck att noteringar av större mängder ål ska leda till ett utsläpp av silmassorna till havet. Den svenska sidan av Öresund är en viktig vandringsled för diverse ål och kontroller har därför länge pågått vid kärnkraftverket för att reglera mängden. Förlusten är bland annat beroende av masktätheten vid intagspunkten, vilket kan sortera ut större ålar.<sup>205</sup>

### 8.3.13 Kollisionsrisk

En kollision definieras som interaktionen mellan en turbin och organism och kan få varierande konsekvenser som sträcker sig från ingen påverkan till dödliga skador. Studier har genomförts av The Scottish Association for Marine Science (SAMS) av marina däggdjur, fiskar och fåglars risk att kollidera med diverse utrustningar för utvinning av marin förnybar energi. I denna undersökning delas reaktionerna på turbinerna in i två olika

<sup>201</sup> Näslund, J., Bruteig I. E. (2011)

<sup>202</sup> Näslund, J., Bruteig I. E. (2011)

<sup>203</sup> Andrulewicz, E., Napierska, D., Otremba, Z. (2003)

<sup>204</sup> Näslund, J., Bruteig I. E. (2011)

<sup>205</sup> Elforsk (2009)

kategorier: undvikande och undgående. Det innebär att anläggningen antingen kan upptäckas i ett tidigt skede och undvikas eller att det inte upptäcks vilket leder till en undgående reaktion i sista minuten. Möjligheten för diverse marina organismer att undvika en kollision beror på dess sensoriska förmågor, socialt beteende, metoder för födosök, nyfikenhet, habitat, kvickhet, kroppsstorlek etc. En annan viktig faktor är åldern på vertebraten där en högre ålder innebär mindre risk på grund av större erfarenhet. Dessutom spelar omgivningens egenskaper en stor roll, exempelvis kan strömhastigheten och turbiditeten påverka möjligheterna att upptäcka anläggningen i tid. En hög strömhastighet leder till en hög ansatshastighet och kortare reaktionstid. Faktorer som säsong (som har en påverkan på populationstäthet, livsstadie, ljus- och näringstillgång etc) och tid på dygnet påverkar också avstånd för upptäckande. Anläggningen i sig, till exempel färgen, formen och ljud kommer att påverka möjligheterna att upptäcka den i tid. Möjligheten att upptäcka exempelvis kedjor, överföringsledningar, och kablar är, mer begränsade, på grund av dess begränsade area och risken är därför större för interaktioner med dessa. Risken finns därför för intrassling.<sup>206</sup>

Marina däggdjur är beroende av ljud medan fiskar reagerar på ljud genom att de känner av tryckförändringar och partikelförflyttningar i vattnet. Det är en viktig aspekt att ta hänsyn till vid undersökningar av deras förmåga att upptäcka turbinerna. Observationer har gjorts av fiskar som uppehåller sig framför turbiner tills de blir slutkörda. Modelleringar genomförda vid SAMS beräknade interaktionerna mellan marin utrustning och vertebrater till 2 % av torsk populationen. Detta resultat är dock starkt kopplat till ett antal antaganden om bland annat populationstäthet, dess vertikala fördelning, storlek på turbinen och att djuren varken undvek eller attraherades till området.<sup>207</sup>

Utredningar av konsekvenserna av kollisioner är undersökta i begränsad omfattning. Vid en etablering kan/bör forskningsprogram därför etableras för att få större förståelse för dess konsekvenser. Varningsystem har utvecklats för att öka möjligheterna för marina organismer att upptäcka anläggningar men de riskerar att störa habitat i högre grad än anläggningarna själva och bör därför undersökas vid miljökonsekvensbeskrivningen. För skotska förutsättningar, där strömförutsättningarna är högre än för Öresund anges att en rotortipp kan röra sig med en hastighet med 12 m/s. En första åtgärd för att minska risken för interaktioner med dödligt resultat är att prioritera valet av en turbin som är placerad inuti en rörledning.<sup>208</sup>

### 8.3.14 Utsläpp av uppvärmt vatten

Utsläppet av uppvärmt vatten kan innebära en stor påverkan på närmiljön och dess ekologi. Som tidigare nämnts så bör en placering väljas som premierar en snabb omblandning av det uppvärmda vattnet i sundet. Dessutom ska valet av upptagspunkt vara utom påverkan från detta utlopp. Vilka konsekvenser som utloppet får kommer bero på volymen vatten som används samt dess temperatur vid intag och utsläpp. Denna analys av utsläppets konsekvenser baseras på resultat från undersökningar av kylsystem på kärnkraftverk. Det rör sig därför om mycket större volymer vatten (exempelvis använder Ringhals ca 165 m<sup>3</sup>/s, jämfört med det prognostiserade 446 kg/s  $\approx$  0,446 m<sup>3</sup>/s) och ska därmed tolkas som en indikation för de möjliga konsekvenserna. Temperaturen i ett vattenområde har stor påverkan på tillväxthastigheten och innebär diverse konsekvenser för ekologin. Många fysiologiska funktioner påverkas vid en förhöjd temperatur. Anlockning i förhöjd temperatur under längre tid ger effekter hos tillväxt, fortplantning och energilagring. Hos många arter noteras en omfördelning av energin i kroppens olika funktioner. Abborren är bland de arter som kan omfördela energin och på så sätt motverka negativa konsekvenser när exempelvis fisken blir köns mogen tidigare. En positiv aspekt av ett utlopp av uppvärmt vatten är att den ger fisken en möjlighet att välja vilken temperatur den trivs bäst i.<sup>209</sup>

Kylvattenutsläppet kommer att innebära diverse konsekvenser för *plankton*. Växtplankton kommer att påverkas av att den förhöjda temperaturen ger en snabbare mineralisering som ger en ökad primärproduktion. Dessa effekter är dock små i öppna recipienter med höga strömhastigheter som ger en kraftig omblandning.

<sup>206</sup> Wilson, B., Batty, R. S., Daunt, F. och Carter, C. (2007)

<sup>207</sup> Wilson, B., Batty, R. S., Daunt, F. och Carter, C. (2007)

<sup>208</sup> Wilson, B., Batty, R. S., Daunt, F. och Carter, C. (2007)

<sup>209</sup> Elforsk (2009)

Nära utsläppet kommer djurplankton-samhällena att förändras på grund av förluster av organismer i kylsystemet.<sup>210</sup>

För *bottenlevande organismer* som växter, alger och bentisk fauna är effekterna inte lika välstuderade. Fastsittande påvisar tydliga effekter, speciellt nära utsläppet i fråga. För bentisk fauna som ryggradslösa djur är temperaturpreferensen sämre undersökt men tillväxthastigheten tros öka och man ser ett skifte från långlivade arter till kortlivade arter. Generellt är de lokala effekterna begränsade. Blomningen för mikroalger som kiselalger tidigareläggs vid ökad temperatur och sker istället under vinterhalvåret och medan grönalger och rödalger ökar i sin utbredning minskar mängden brunalger.<sup>211</sup>

Utsläppet tros leda till anlockande eller skyende effekter hos *fiskar*. Bland annat strömming lockas till värmen under vårens lek. Varmvattenarter lockas till dessa områden med undantag för när temperaturen blir för hög. Andelen av denna typ av fisk ökar därmed i dessa områden medan skyende effekter är synliga för kallvattenarter som undviker dessa områden, främst på sommaren. De kan dock anlockas under senhöst, vintern och tidig vår. Inga större konsekvenser har kunnat påvisas för ålen. På grund av den begränsade arealen som ett utsläpp påverkar begränsas effekterna på en beståndsnivå och storskaliga negativa konsekvenser är inte att förvänta.<sup>212</sup>

Hypoteser kring en förhöjd risk för sjukdomar och parasiter med högre temperatur har inte kunnat bekräftas genom tester. Vid höga temperaturer riskerar det dock att letaltemperaturen nås. Rädslan för att dessa områden skulle locka ett stort antal invasiva arter som kunde utgöra ett hot mot de inhemska har inte heller kunnat bekräftas på grund av att områdena ifråga är begränsade i storlek med instabila temperaturförhållanden.<sup>213</sup>

### 8.3.15 Kemikalieutsläpp

Risken för utsläpp för kemikalier är inte mycket större för marina kraftverk än för andra marina strukturer. Det finns en viss risk för utsläpp i alla faser för båda typer av anläggningar men den är starkt beroende av valet av teknologi. Kraftverk som använder sig av hydraulisk vätska samt konstruktioner som är ytbehandlade för att motverka påväxt av organismer löper större risk för att påverka sin närmiljö genom kemikalieutsläpp.<sup>214</sup>

Rengöringen av silstationen för vattenuttaget kommer vid ett begränsat antal tillfällen att kräva klor. I övrigt är det troligt att rengöringen kommer att ske mekaniskt.<sup>215</sup> Sannolikt kommer detta att regleras genom tillstånd för anläggningen och påverkan på omgivande ekosystem kommer minimeras.

De potentiella konsekvenserna från denna effekt är betydande och bör analyseras närmare längre fram i beslutsprocessen.

---

<sup>210</sup> Elforsk (2009)

<sup>211</sup> Elforsk (2009)

<sup>212</sup> Elforsk (2009)

<sup>213</sup> Elforsk (2009)

<sup>214</sup> Boehlert, G. W., Gill, A. B. (2010)

<sup>215</sup> Elforsk (2009)

## 9 Utvärdering av miljökonsekvenser

Första delen av denna rapport fokuserade på de tekniska möjligheterna att utifrån de fysikaliska egenskaperna i Öresund producera energi. Slutsatserna blev att vissa tekniker inte var lämpliga för Öresund och att endast marina strömkraftverk och ett upptag av frikyla kunde vara intressanta att studera vidare. I andra delen låg fokus på att studera miljökonsekvenserna av en etablering och att utifrån dessa eventuellt utesluta vissa tekniker på grund av stora negativa konsekvenser. Studien visade dock att detta inte förekommer i någon större grad. Inga av effekterna ger så stor påverkan att det leder till storskaliga negativa miljökonsekvenser. De effekter som etableringen innebär kommer vägas upp av de positiva aspekterna med större andel förnybar energi. Det bör dock påpekas att den tillgängliga litteraturen kring många av de potentiella konsekvenserna som diskuteras i utvärderingen är knapp. Det är därför svårt kunna kvantifiera påverkan på ett tillfredställande sätt. En etablering, främst av marina strömkraftverk, kan komma att innebära genomförandet av studier parallellt för att få större kunskap om de negativa aspekterna. En sammanställning av den möjliga konsekvenserna finns i Tabell 8.

Tabell 8. Sammanfattande matris över möjlig miljöpåverkan från frikylauptag respektive marina strömkraftverk i dess olika faser.

\* Tillfälligt förändrade trafikleder syftar på konsekvenserna av tillfälliga mätstationer.

\*\* Tillfällig påverkan på sjöfarten syftar på konsekvenserna av en ökad trafikering i sundet vid anläggande och avverkning.

		Marina strömkraftverk			Frikylauptag		
		Byggnation/Anläggande	Drift	Avveckling	Byggnation/Anläggande	Drift	Avveckling
Avfall	Byggavfall	x		x	x		x
	Muddringsmassor	x		x	x		x
Ekologi	Ljud/Buller	x	x	x	x	x	x
	Suspension av sediment	x		x	x		x
	Eliminering av vegetation och bottenfauna	x		x	x		x
	Elektromagnetisk strålning		x				
	Kollisionsrisk		x				
	Termisk påverkan från sjökabeln		x				
	Utsläpp av uppvärmt vatten					x	
	Förlust av biomassa vid kylvattenupptag					x	
	Fysiska förändringar	Förändrad markanvändning/batymetri		x	x		x
Förändrad hydrodynamik			x	x		x	x
Sjöfart	Tillfälligt förändrade trafikleder *	x			x		
	Tillfällig påverkan på sjöfarten **	x		x	x		x
	Påverkan på sjöfarten		x			x	
Övrigt	Resuspension av sedimenterade miljögifter	x			x		
	Emissioner till luft	x		x	x		x
	Utveckling av intilliggande infrastruktur				x		
	Kemikalieutsläpp	x	x	x	x	x	x

Många av de konsekvenserna som har diskuterats återkommer för båda teknikerna och i flera av faserna, som kan ses i Tabell 8. Identifieringen ska ses som en indikation på vilka faktorer man bör vara uppmärksam på när man fortsätter i etableringsprocessen. För marina strömkraftverk kan det bli särskilt viktigt att i tillståndsprocessen vid framtida satsningar kan utvärderingen av miljökonsekvenserna fungera som en vägledning för vidare analys i samband med genomförandet av miljökonsekvensbeskrivning.

De miljöpåverkansaspekterna som kan tänkas få de mest betydande konsekvenserna i den marina miljön är:

- förändringar av ljudbilden
- förlust av biomassa på grund av kollisionrisken och vid kylvattenupptag
- elektromagnetisk strålning
- utsläpp av uppvärmt vatten
- påverkan på sjöfarten
- resuspension av sedimenterade miljögifter

Dessa bör man därför vara extra uppmärksam på och analysera djupare vid framtida satsningar.

I kapitel 3.6 och 3.7 återfinns en genomgång av den marina miljön i sundet. Inga särskilt skyddsvärda arter påträffades vid denna genomgången men Öresund utgör dock en unik marin miljö och skyddsåtgärder måste därför vidtas. En art som omnämns i många sammanhang är torsken och konsekvenserna för bestånden i Öresund måste därför analyseras djupare. Innan valet av lokalisering måste även förekomsten av ålgräs undersökas eftersom rekommendationer finns om att skydda denna art, se kapitel 8.3.6. Fördelen med att göra denna typ av satsning utanför Helsingborg är den goda tillgången till ekologisk data från kommunens miljöförvaltning.<sup>216</sup> Tack vare kunskapen om utgångsläget kan konsekvenserna lättare upptäckas och åtgärdas.

---

<sup>216</sup> Tengberg, Anders (2011)

# 10 Diskussion

---

Öresund är en lättillgänglig och naturlig resurs som kan användas för att utvinna marin förnyelsebar energi. Därmed kan miljöpåverkan från energiproduktionen minska och satsningen kan vara ett bidrag till marina energiteknikers utveckling. Kunskapen om Öresunds energitillgångar i form av vågor och strömmar är knappa och likaså vilka konsekvenser en utvinning kan få. Satsningen på marina strömkraftverk är inte självklar utifrån förutsättningarna i sundet: strömhastigheten är låg och utrymmet är begränsat. Men med ytterligare teknisk utveckling och ett högre elpris kan satsningen bli intressant.

Möjligheten till marin förnybar energi ska inte uteslutas men i dagsläget kan det tänkas vara mer aktuellt att samarbeta med utvecklare av havskraftsteknologier och skapa en testanläggning. Öresundskraft kan därmed vara med och bidra till utvecklingen av denna marknad och anpassningen av marina krafttekniker till svenska, generellt lägre, förhållanden.

Denna utredning har visat på att möjligheterna är som störst för marin strömkraft och frikyla. Eventuellt kan vågkraftstekniker bli aktuella men anses vara så långt i framtiden att marin strömkraft främst är av intresse för elproduktion. Ett antal parametrar måste dock undersökas ytterligare när det gäller marin strömkraft.

Eftersom kunskaperna om strömhastigheten i sundet är begränsade är ett första steg att etablera en mätstation för att genomföra detaljerade studier. Detta kan troligen genomföras i samarbete med andra intressenter såsom universitet eller företag. Rekommenderat kan denna mätstation uppföras utanför Hittarp där strömmarna tros vara höga och där risken för potentiella konflikter med sjöfarten är lägre än inne i sundet. En detaljerad utvärdering av möjliga lokaliseringar finns i kapitel 5.4. Frågan är under hur lång tid dessa mätningar behöver pågå. Mätdata från DMI ger en uppfattning av ytströmmens variation under året och kan därmed kombinera med mätningar under kortare tid vilket ger en uppfattning om strömmens variationer. Detta gäller dock bara ytströmmen. Kunskaper kring hur strömmen förändras med djupet och hur strömmen eventuellt byter riktning eller ökar i hastighet ovan och under språngskiktet. Det behöver undersökas noggrant för att säkerställa att en turbin inte placeras i språngskiktet, vilket kan ställa till problem för driften av anläggningen. I tidigare diskussioner i denna rapport har det antagits att strömmen minskar med djupet och att strömmen har en lägre hastighet under språngskiktet än ovan. Det finns dock många olika uppfattningar om egenskaperna hos strömmarna i Öresund. Vissa påstår att strömmarna kan vara starka på botten och att det därmed kan vara lönsamt att satsa på placeringen av en turbin på större djup. Andra påstår dock att man bör fokusera på ytströmmen och att energiutvinning från en turbin på 40 – 50 m inte är möjlig. I underlagsrapporterna till Öresundsbron gjordes mätningar av salthalt och ström vid enstaka tillfällen under ett fåtal dagar. Dessa visar på att strömmen kan vara starkare under språngskiktet än i ytan.<sup>217</sup> Vilka slutsatser som kan dras av dessa mätningar är dock oklart eftersom dess omfattning är begränsad.

Ett alternativt sätt att uppskatta strömhastigheten är att med hjälp av AIS-verktyg (exempelvis [www.marinetraffic.com](http://www.marinetraffic.com)) titta på fraktfartygens hastighet när de färdas genom Öresund. De fartyg som passerar med en hastighet mellan 5 – 10 knop saktar normalt inte ner mellan Helsingborg och Helsingör. Därför kan fartygens hastighet i sundet jämföras med den i områden där det inte är lika strömt och en uppskattning kan då göras av hastigheten. Metoden är godtycklig men kan ge en indikation av förhållandena utanför Hittarp, där de norrgående fartygen passerar.

Sjöfarten är det största hindret till etableringen av marina strömkraftverk i sundet. Där djupet tillåter en turbin med en diameter uppåt 15 – 20 m är farlederna normalt belägna. Dessa områden är även de som är mest intressanta om man ser till strömmens hastighet. För att inte hamna i konflikt med sjöfarten skulle turbinerna behöva placeras norr om Helsingborg. Hastigheten minskar dock troligen då avståndet till sundet ökar. Placeringen av en turbinpark i närheten av Kullaberg har troligen en lägre energipotential än exempelvis utanför Hittarp.

Det beräknade energiproduktionen från en turbinpark är baserat på ett par antaganden som kan anses vara mer eller mindre rimliga. Uppskattningen är baserad på data som inte gäller vid den föreslagna lokaliseringen,

---

<sup>217</sup> Den svenska Öresundsdelegationen (1987)

strömhastigheten kan tänkas vara högre utanför Hittarp. Verkningsgraden är antagen till 30 %. Denna är starkt beroende av valet av teknik men kan tänkas vara högre, närmare 45 %, se avsnitt 4.4.1 om tvåbladiga horisontalaxlade strömkraftverk. Dessa parametrar kan innebära att parken har en högre potentiell energiproduktion. Å andra sidan leder några av beräkningens antaganden till att energiutbytet kan vara lägre. Turbinens diameter är antagen till 15 m, vilket är orimligt för flera lokaliseringar och kan därmed tvingas bli mindre. Speciellt om turbinen ska undvika att placeras nära språngskiktet på 10 – 12 m djup. Det är även antaget att strömhastigheten i ytan gäller över hela djupet. Det antagandet är orimligt men gjordes på grund av den begränsade tillgången på data. I verkligheten är det troligare att strömhastigheten minskar med djupet och så gör då även energipotentialen. Möjligheten att utvinna energi ur ytströmmen är därav av intresse då det skulle ge större avkastning. Dessa tekniker kräver generellt endast en fästpunkt som pålas ner i botten på vilket anordningen sedan fästs. Det skulle ge positiva effekter på miljöpåverkan då det skulle innebära ett mer begränsat ingrepp i bottenstrukturen och ett mindre behov av muddring inför anläggandet.

Uppskattningen av potentialen för energiproduktion från turbinparken indikerade energiutvinning i storleksordningen 4,8 GWh. Det kan jämföras med en annan förnybar energiresurs, vindkraft. Den årliga produktionen från det havsbaserade vindkraftsparken Lillgrund är ca 330 GWh.<sup>218</sup> Räknat per km<sup>2</sup> ger det en avkastning på 55 GWh/km<sup>2</sup>. Motsvarande siffra för den fiktiva turbinparken är 3,6 GWh/km<sup>2</sup>. Trots att det i denna jämförelse inte rör sig om samma produktionsmetod kan dessa siffror ge en indikation på energipotentialen. Om samma area som är uppskattat för turbinparken skulle användas till att producera havsbaserad vindkraft skulle avkastningen vara ungefär tio gånger större.

Som tidigare diskuterats kan strömförhållandena tänkas vara högre vid en annan lokalisering än Lappegrund. Det kan observeras i ekvationen för effektpotentialen (se Appendix 2. Beräkning av energiproduktionspotentialen för ett marint strömkraftverk) att effekten är kubiskt beroende av hastigheten ( $v^3$ ) och en liten förändring av strömhastigheten kan därmed ge stora utslag på effektuttaget. En överslagsräkning för den dubbla hastigheten finns i Appendix 2. Det visar på att en dubbelt så stor hastighet, men fortfarande en maximalhastighet på 4 knop, kan ge 580 MWh/år (jämfört med 132 MWh/år) och energiproduktionen från en turbinpark blir därmed 21 GWh/år (jämfört med 4,8 GWh/år). Jämfört med potentialen i Lappegrund är turbinparkens produktion 4 gånger större. Det innebär ännu en motivering till varför detaljerade mätningar av strömmar på andra platser kan vara av intresse.

Uttaget av frikyla från sundet är ett rimligt och tekniskt möjligt sätt att försäkra sig om en bibehållen miljöprofil för fjärrkyla vid framtida ökning av kapaciteten. Trots att temperaturen inte tillåter att uttaget används som primakyla året om så leder överskottet av fjärrvärme under sommarmånaderna till att frikylan blir användbar även vid högre temperaturer. En eventuell förflyttning av reningsverket vid etableringen av nya bostadsområdet H+ leder till att det vattenflöde som används därifrån i dagsläget inte längre är möjlig. Den bristen kan då täckas med hjälp av frikyla från sundet. Investeringskostnaden för frikylauttaget (i form av 160 m intag och utloppsledning på land och i vatten, 900 m intagsledning till havsbotten, muddring nära land, intagskonstruktion vid 26 m djup och nödvändig skyddstäckning) uppskattades av CCO till 13 600 000 kr.

Temperaturdata som användes för uppskattningarna av potentialen för frikyla av Capital Cooling Energy Systems är inte i samma storleksordning som det data som använts i denna rapport. De data som redovisas där indikerar en lägre temperatur vilket möjliggör att frikylan kan användas som primakyla under en längre period. Det visar på osäkerheten i mätdata. Det bör även nämnas att temperaturgränserna som är uppsatta, se kapitel 4.5, är mycket godtyckliga och kan variera stort i fjärrkylasystemet. Speciellt gränsen på 8°C är flexibel och kan troligen förändras.

När det gäller övriga marina tekniker som diskuteras i kapitel 4 kan de bli intressanta efter vidare framsteg på marknaden. Vågkraften kan bli aktuell för sundet när teknikerna har utvecklats och de lokaliseringarna med större potential har exploaterats. Allt eftersom nya anläggningar etableras blir kunskapen om tekniken större och tänkbart då även hur de på bästa sätt kan anpassas till låga vågförhållanden. Våghöjden i Öresund ligger normalt sett mellan 0,3 – 0,7 m och kan vara intressant i framtid efter att diverse kommersiella anläggningar ger större förståelse för teknikernas möjligheter. Seabased kan vara av särskilt intresse då deras mål är att utvinna energi från lägre vågförhållanden. Deras anläggande av en kommersiell vågkraftspark ger större

---

<sup>218</sup> Vattenfall (2011)



förståelse för teknikens möjligheter och kan därmed undersökas ytterligare vid ett senare tillfälle när det finns djupare kunskaper om tekniken. En etablering av vågkraft i Öresund skulle innebära samma miljökonsekvenser som för marina strömkraftverk, bortsett från kollisionsrisken som då är mindre.

Statkrafts utveckling av saltkraften kan vara av intresse att följa då den skulle kunna bli möjlig för Öresund i framtiden. Möjligheten att använda sig av ett sötvattenutflöde finns dock inte utan differensen mellan de olika lagren i sundet skulle då vara aktuellt. Detta kräver dock ytterligare utveckling av membranets egenskaper och en anpassning av tekniken till en lägre saltdifferens. Om ett frikylauptag har etablerats när saltkraften blir aktuell kan en samordning av dessa uttag vara en möjlighet.

Identifieringen av miljökonsekvenser kan fungera som en förstudie till en miljökonsekvensbeskrivning. Denna utredning visade på kunskapsluckor som kommer fyllas de närmaste åren genom pågående forskning eller som kan fyllas med hjälp av bevakningsprogram i samband med en marin anläggning i Öresund. Studien bygger på antaganden om anläggningens utformning och konsekvenserna under dess livstid. Vissa effekter kan tänkas vara av mindre betydelse medan andra kan ge större följder än vad som uppskattades från början. Det måste därför kompletteras vid genomförandet av en MKB. Under undersökningens gång identifierades dock inga betydande konsekvenser som potentiellt kan överskugga miljövinsten från investeringen i förnyelsebar energi. De flesta konsekvenserna kan mildras genom diverse åtgärder vid anläggning, val av teknik eller detaljerade utredningar vid val av lokalisering.

# 11 Slutsats

---

Öresund har en varierande miljö med saltvatten som strömmar in från Kattegatt och bräckt vatten från Östersjön. Det ger unika förhållanden för den marina ekologin som behöver vara anpassad för ständiga variationer i salthalt och temperatur. Dessa vattenflöden ger ett språngskikt i sundet på mellan 10 – 12 m djup där salthalten ovanför är 10 – 15 psu medan den vid större djup kan vara uppåt 35. Temperaturvariationerna skiljer sig också åt mellan de olika skikten med en lägre variation och fördröjd uppvärmning under 20 m. Ytvattnet är ett par grader varmt i början av året för att sedan nå upp till 20°C på sommarhalvåret. Djupskikten blir sällan mindre än 4°C varmt och håller lägre temperatur längre in på sommaren för att sedan under sensommar/höst värmas upp till 12 – 13°C. På grund av den begränsade tillgången till ett öppet havslandskap är våghöjderna i Öresund låga, i medeltal mellan 0,3 – 0,7 m. Strömmen är dock bland de högsta i Sverige med en hastighet som kan variera från 0,1 – 1,2 m/s, stundtals högre än så.

Dagens marknad för marina energitekniker är främst inriktade mot: Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC), saltkraft, vågkraft, marin strömkraft och kyla/värme. Dessa tekniker undersöktes därför utifrån dess möjligheter att utvinna energi ur Öresund. Generellt har utveckling av de elproducerande teknikerna varit fokuserat till länder som angränsar till de stora världshaven och teknikerna har därför varit anpassade till dessa förhållanden. Marin strömkraft har främst utvecklats för tidvattenströmmar med en högre strömhastighet än de som är givna i Öresund. Vågkraft är anpassad för områden med en vågmedeleffekt som skiljer sig med en faktor tio från de i Öresund. Den finns ännu inget kommersiellt saltkraftverk men det kommer, i första generationens anläggningar, att kräva ett större sötvattenutflöde än vad som finns tillgängligt i Helsingborg. OTEC är endast tekniskt möjligt för temperaturdifferenser som överstiger 20°C, vilket inte uppnås i Öresund.

Marina strömkraftstekniker kan vara aktuella för Öresund men tillgången till detaljerad data är begränsad, speciellt för hur strömmarna förändras med djupet och strömhastigheten ovanför och under språngskiktet. De data som finns att tillgå gäller endast ytströmmen och är inte uppmätt där strömmen tros vara som starkast. En intressant lokalisering är utanför Hittarp där den lokala floran, faunan och bottenstrukturen tyder på starka strömmar. Uppskattningarna av produktionspotentialen visar på relativt låg energiavkastning men kan, i ett område med högre hastighet och på grund av energiproduktionens kubiska beroende av hastigheten, öka kraftigt. Etableringen av marin strömkraft är därför inte självklar men tekniker finns att tillgå som, med ytterligare utveckling, kan vara/bli tekniskt möjliga i Öresund.

Investeringen i ett frikylauptag skulle förbättra den totala effektiviteten i fjärrkylaproduktionen och fungera som ett komplement i den nuvarande produktionen. Upptaget av vatten är inte tekniskt svårt och behöver inte, enligt data som använts i rapporten, placeras djupare än 20 – 25 m eftersom temperaturvariationerna vid större djup i stort sett är densamma.

Saltkraft och vågkraft kan komma att bli aktuella men dessa tekniker bedöms ligga längre i framtiden.

Identifieringen av potentiell miljöpåverkan från de olika teknikerna påvisar inga betydande miljökonsekvenser som förringar miljövinsten av en investering. Det finns dock några konsekvenser som antingen behöver utredas ytterligare på grund av begränsad kunskap i området eller som bedöms vara en större risk än de övriga. För marina strömkraftverk gäller det bland annat elektromagnetisk strålning från överföringsledningar, förlust av biomassa på grund av kollisioner med turbinerna, ljud och buller vid drift samt påverkan på sjöfarten. Frikylauptaget kommer främst att innebära utsläpp av uppvärmt vatten och förlust av biomassa på grund av att organismer "sugs upp" i systemet. Både anläggningarna kan, vid förberedande muddring, leda till en resuspension av sedimenterade miljögifter vilka kan identifieras i inledande undersökningar vid valet av lokalisering.

# 12 Källor

---

- Alternative Hydro Solutions (2011) *Turbine Theory*, Tillgänglig: [www.althydrosolutions.com/theory.html](http://www.althydrosolutions.com/theory.html) [2011-05-12]
- Andersson, Kjell (2011) *Forskningsingenjör*, Lunds Tekniska Högskola, [kjell.andersson@tg.lth.se](mailto:kjell.andersson@tg.lth.se)
- Andrulewicz, E., Napierska, D., Otremba, Z. (2003) *The environmental effects of the installation and functioning of the submarine SwePol Link HVDC transmission line: a case study of the Polish Marine Area of the Baltic Sea*, Journal of Sea Research, vol 49, nr 4, s 337 - 345
- Atlantis Resource Corporation (2009) *Tidal Current Power*, Tillgänglig: <http://www.atlantisresourcescorporation.com/marine-power/tidal-current-power.html> [2011-06-05]
- Aqua Energy Solutions (2011) *Technology*, Tillgängligt: <http://www.aquaenergy.no/technology/> [2011-06-09]
- Blue Energy (2009) *Blue Energy Technology*, Tillgänglig: [www.blueenergy.com/Technology.htm](http://www.blueenergy.com/Technology.htm) [2011-05-13]
- Boehlert, G. W., Gill, A. B. (2010) *Environmental & Ecological Effects of Ocean Renewable Energy Development*, Oceanography, vol 23, nr 2, s 68 – 81
- Boyle, G. (2004) *Renewable Energy – Power for a Sustainable Future*, 2a uppl, Oxford: Oxford University Press
- Capital Cooling Energy Services (2010) *Öresundskraft Fjärrkyla – Förstudie*, CCO-rapport: Dok.nr. 1411PC002
- Carlsson, Per (2011) *Docent*, Lunds Universitet, 2011-05-06, [per.carlsson@biol.lu.se](mailto:per.carlsson@biol.lu.se)
- Chang, R. (2006) *General Chemistry: The Essential Concepts*, 4e uppl, New York: McGraw-Hill
- Claesson, L. (1987) *Energi från havets vågor*, Stockholm: Stockholm allmänna förlag
- COWI/DHI/LIC (1990) *Miljökonsekvensbeskrivning för fast förbindelse över Öresund. Underlagsrapport 1, Östersjöns vattenmiljö*, Malmö: SVEDAB
- Den svenska Öresundsdelegationen (1987) *Miljökonsekvensbeskrivning för fast förbindelse över Öresund. Underlagsrapport 10, Hydrografiska undersökningar i Öresund : mätningar och modellberäkningar*, Malmö: SVEDAB
- Det Danske Meteorologiske Institut, DMI (1982) *The Climate of Denmark – Summaries of Observations From Light Vessels II*, Köpenhamn: DMI
- Douglas C. A., Harrison, G. P., Chick J. P. (2008) *Life cycle assessment of the Seagen marine current turbine*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part M Journal of Engineering for the Maritime Environment, vol 222, nr 1, s 1-12
- Drew, B., Plummer, A. R., Sahinkaya, M. N. (2009) *A review of wave energy converter technology*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy, vol 223, nr 8, s 887-890
- Elforsk, (2009) *Miljöeffekter av stora kylvattenutsläpp – Erfarenheter från de svenska kärnkraftsverken*, Elforsk; Elforsk-rapport 09:79
- Elforsk (2010) *Wave Resources and Wave Power Potential*, The Development of Wave Power - a newsletter from Elforsk, Electricity and Heat Production, nr 2, s 1
- Elghali S. E. B. Et al (2007) *A Simulation Model for the Evaluation of the Electrical Power Potential Harnessed by a Marine Current Turbine*, IEEE Journal Of Oceanic Engineering, vol 32, nr 4, s 786 - 787
- Energimyndigheten (2010) *Energiläget 2010* [Elektronisk], Tillgänglig: <http://webbshop.cm.se/System/TemplateView.aspx?p=Energimyndigheten&view=default&cat=/Broschyrrer&id=6792e3736ce045c4a41f2c397b1eff97> [2011-06-08]
- Eniro (2011) *Eniro-sjökort*, sökord: Hittarp. Tillgänglig: <http://kartor.eniro.se/> [2011-06-09]
- European Commission – Environment (2001) *Scoping Checklist* [Elektronisk] Tillgänglig: [http://ec.europa.eu/environment/eia/eia-guidelines/scoping\\_checklist.pdf](http://ec.europa.eu/environment/eia/eia-guidelines/scoping_checklist.pdf) [2011-06-09]
- Fröberg, J. (2008) *Saltkraft outnyttjad energikälla*, E24, Publicerad 19 mars

The Gorlov Helical Turbine, *GCK Technology*, Tillgänglig: <http://www.gcktechnology.com/GCK/pg2.html> [2011-02-07]

Grabbe, M. (2009) *Marine Current Energy Conversion – Resource and Technology* [Elektronisk], Tillgänglig: <http://www.el.angstrom.uu.se/Seminar/Lic%20avhandling%20M%C3%85rten%20Grabbe.pdf> [2011-02-07]

Green Ocean Energy (2010) *Wave Treader*, Tillgänglig: <http://www.greenoceanenergy.com/index.php/wave-treader> [2011-03-29]

Google Maps (2011) *Google Maps*, Sökord: Falkenberg. Tillgänglig: <http://maps.google.com> [2011-06-09]

Güney, M. S., Kaygusuz, K. (2010) *Hydrokinetic Energy Conversion Systems: A Technology Status Review*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol 14, nr 9, s 2996-3004

Göransson, Peter (2011) *Miljösekreterare*, Miljöförvaltningen Helsingborg, 2011-05-11, [peter.goransson@helsingborg.se](mailto:peter.goransson@helsingborg.se)

Hammar, L., Magnusson, M., Rosenberg, R., Granmo, Å. (2009) *Miljöeffekter vid muddring och dumpning*, Naturvårdsverket; Naturvårdsverkets rapport 5999

Hammerfest Ström (2011) *HS300*, Tillgänglig: <http://www.hammerfeststrom.com/products/tidal-turbines/hs300/> [2011-05-12]

Hansson, D. (2009) *Ocean Climate Variability over Recent Centuries Explored by Modelling the Baltic Sea*. Diss. Göteborgs Universitet. Göteborg.

Hedlund, A & Kjellander, C. (2007) *MKB – Introduktion till miljökonsekvensbeskrivning*, Malmö: Studentlitteratur

HELCOM (2011) *HELCOM Map and Data Services*, Tillgänglig: <http://maps.helcom.fi/website/mapservice/index.html> [2011-05-31]

Helsingborg (2010) *Energistrategi 2035* [Elektronisk], Tillgänglig: [http://www.helsingborg.se/ImageVaultFiles/id\\_727/cf\\_2/Energistrategi\\_2035.pdf](http://www.helsingborg.se/ImageVaultFiles/id_727/cf_2/Energistrategi_2035.pdf) [2011-06-08]

IEA – Energy Technology Network (2011) *Annual Report 2010 – Implementing Agreement on Ocean Energy Systems* [Elektronisk], Tillgänglig: [http://www.iea-oceans.org/fich/6/2010\\_Annual\\_Report.pdf](http://www.iea-oceans.org/fich/6/2010_Annual_Report.pdf) [2011-03-29]

IEA – OES (2010) *Annex II Extension. Development of recommended practices for testing and evaluating ocean energy systems* [Elektronisk]. Tillgänglig: [http://www.iea-oceans.org/fich/6/Annex\\_II\\_Summary\\_report\\_\(August\).pdf](http://www.iea-oceans.org/fich/6/Annex_II_Summary_report_(August).pdf) [2011-06-09]

Jomaa, Adam (2011) *Processingenjör*, Kemira Kemi – Industry Park of Sweden, 2011-02-15, [Adam.Jomaa@industrypark.se](mailto:Adam.Jomaa@industrypark.se)

Jonsson, Peter (2011) *Universitetsadjunkt*, Lunds Tekniska Högskola, 2011-04-20, [peter.jonsson@tg.lth.se](mailto:peter.jonsson@tg.lth.se)

Klintberg, Charlotta (2011) *Koncernsamordnare - Strategi & Omvärld*, Öresundskraft AB, 2011-03-02, [charlotta.klintberg@oresundskraft.se](mailto:charlotta.klintberg@oresundskraft.se)

Langhamer, O. (2010) *Effects of wave energy converters on the surrounding soft-bottom macrofauna (west coast of Sweden)*, *Marine Environmental Research*, vol 69, nr 5, s 374 – 381

Lindoe Offshore Renewables Centre (2011) *Datasheet for site: Lillgrund Offshore Wind Farm*, Tillgänglig: <http://www.lorc.dk/Knowledge/Offshore-renewables-map/Offshore-site-datasheet/Lillgrund-Offshore-Wind-Farm/000027> [2011-06-09]

Liungman, Olof (2011) *Verksamhetsområdesansvarig*, DHI Sverige AB, 2011-04-20, [olof.liungman@dhi.se](mailto:olof.liungman@dhi.se)

Lockheed Martin (2009) *Large Scale Distribution of OTEC Thermal Resources*, Tillgänglig: <http://www.lockheedmartin.com/data/assets/ms2/images/OTECResourceMap2009.jpg> [2011-01-21]

Lucid Energy (2011) *Northwest Powerpipe*, Tillgänglig: [www.lucidenergy.com/water/northwest-powerpipe](http://www.lucidenergy.com/water/northwest-powerpipe) [2011-05-13]

Makai Ocean Engineering (2010) *OTEC – Ocean Thermal Energy Conversion*, Tillgänglig: <http://www.makai.com/e-otec.htm> [2011-02-08]

- Marine Current Turbines, *Advantages*, Tillgänglig: [http://www.marineturbines.com/21/technology/24/technical\\_advantages/](http://www.marineturbines.com/21/technology/24/technical_advantages/) [2011-03-24]
- McCoy, W. F., Olson, B. H. (1986) *Relationship among turbidity, particle counts and bacteriological quality within water distribution lines*, Water Research, vol 20, nr 8, s 1023 - 1029
- Miljöförvaltningen Landskrona kommun / Toxicon AB (1998) *Landskrona havsmiljö*, Toxicon AB rapport 1998:8
- Miljösamverkan Sverige & Länsstyrelserna (2006) *Vägledning för muddring och kvittblivning av muddringsmassor* [Elektronisk], Tillgänglig: <http://www.miljosamverkansverige.se/projekt/Rapport%20Muddring/V%C3%A4gledning%20f%C3%B6r%20muddring%20och%20kvittblivning%20av%20muddringsmassor.pdf> [2010-05-30]
- Minesto (2007) *Deep Green*, Tillgänglig: [www.minesto.com/technology-4/deep-green-technology-37](http://www.minesto.com/technology-4/deep-green-technology-37) [2011-05-13]
- NASA, *Glossary:Practical Salinity Unit*, Tillgänglig: <http://science.nasa.gov/glossary/practical-salinity-unit/> [2011-02-22]
- Nationalencyklopedin (2011) *Havens kemi – Lösta oorganiska föreningar*, Tillgänglig: [www.ne.se](http://www.ne.se), Sökord: Hav/Havets kemi [2011-06-21]
- Natural Resources Canada / Devine Tarbell and Associates Inc. (2008) *Review of Marine Energy Technologies and Canada's R&D Capacity* [Elektronisk], Tillgänglig: [http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-rncan.gc.ca/fichier/80634/NRCan\\_Marine\\_Energy\\_Technology.pdf](http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-rncan.gc.ca/fichier/80634/NRCan_Marine_Energy_Technology.pdf) [2011-03-29]
- Naturvårdsverket (2010) *Muddring och hantering av muddermassor*, Tillgänglig: [http://www.naturvardsverket.se/upload/07\\_verksamheter\\_med\\_miljopaverkan/vattenverksamhet/Vagledning\\_om\\_muddring\\_o\\_hantering\\_av\\_muddermassor/Hela\\_rapporten\\_muddring\\_och\\_hantering\\_av\\_muddermassor\\_ej\\_bilagor.pdf](http://www.naturvardsverket.se/upload/07_verksamheter_med_miljopaverkan/vattenverksamhet/Vagledning_om_muddring_o_hantering_av_muddermassor/Hela_rapporten_muddring_och_hantering_av_muddermassor_ej_bilagor.pdf) [2011-05-12]
- Naturvårdsverket (2011a) *Sveriges klimatpolitik*, Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/sv/Start/Klimat/Klimatpolitik/Sveriges-klimatpolitik/> [2011-06-08]
- Naturvårdsverket (2011b) *Tvågradersmålet*, Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/sv/Start/Klimat/Global-utmaning/Vaxthusgasutslappen-maste-minskas/Tvagradersmalet/> [2011-06-08]
- Norrenergi (2005). *Det är grönt - Miljöredovisning Norrenergi 2004*, Solna: Intellecta
- Näslund, J., Bruteig I. E. (2011) *Möjliga effekter på den marina miljön vid anläggning och drift av sjökabelanläggning i Hardangerfjorden*, AquaBiota Notes 2011:02
- Ocean Power Technologies (2011a) *Applications*, Tillgänglig: <http://www.oceanpowertechnologies.com/app.htm> [2011-03-29]
- Ocean Power Technologies (2011b) *Global Resources*, Tillgänglig: <http://www.oceanpowertechnologies.com/res.htm> [2011-03-29]
- Pelamis Wave Power (2011) *Pelamis Wave Power*, Tillgänglig: <http://www.pelamiswave.com/wp-content/uploads/2011/05/PWP-brochure-online.pdf> [2011-03-29]
- Ponte di Archimede International S.p.A. (2006) *Kobold*, Tillgänglig: [www.pontediachimede.it/lanugage\\_us/news\\_det.mvd?RECID=17&Cat=003&SUBCAT=&MODULO=Comunicati ENG&returnpages=&pade\\_pd=d](http://www.pontediachimede.it/lanugage_us/news_det.mvd?RECID=17&Cat=003&SUBCAT=&MODULO=Comunicati ENG&returnpages=&pade_pd=d) [2011-05-12]
- Ramböll (2006) *Navigational safety in the Sound between Denmark and Sweden (Öresund)* [Elektronisk], Tillgänglig: [http://www.dma.dk/SiteCollectionDocuments/Publikationer/Navigational\\_safety\\_Oresund.pdf](http://www.dma.dk/SiteCollectionDocuments/Publikationer/Navigational_safety_Oresund.pdf) [2011-05-12]
- Reijnders P.J.H., Lankester K. (1990) *Status of marine mammals in the North Sea*, Netherlands Journal of Sea Research, vol 26, nr 2-4, s 427 - 435
- Rosenberg R., Nilsson H.C. (2004). *Bottenmiljön i Kattegatt/Öresund och tre fjordar i Skagerrak analyserad genom fotografering av sedimentprofiler (SPI) 2004* [Elektronisk], Tillgänglig:

[http://www.naturvardsverket.se/upload/02\\_tillstandet\\_i\\_miljon/Miljoovervakning/rapporter/hav/bottenmiljo\\_n\\_i\\_kattegat.pdf](http://www.naturvardsverket.se/upload/02_tillstandet_i_miljon/Miljoovervakning/rapporter/hav/bottenmiljo_n_i_kattegat.pdf) [2011-06-09]

Sarkis, Laura (2011) *Project Administrator*, Green Ocean Energy Ltd, 2011-04-14, [Laura.Sarkis@greenoceanenergy.com](mailto:Laura.Sarkis@greenoceanenergy.com)

The Scottish Association for Marine Science A, *Acoustic Impact of Tidal Turbines*, Tillgänglig: <http://www.sams.ac.uk/commercial/commercial/acoustic-impact-of-tidal-turbines> [2011-05-30]

The Scottish Association for Marine Science B, *Acoustic Impact And Collision Risk Of Renewable Energy Devices* [Elektronisk], Tillgänglig: [http://www.sams.ac.uk/commercial/commercial/01\\_ACOUSTIC%20IMPACT.pdf](http://www.sams.ac.uk/commercial/commercial/01_ACOUSTIC%20IMPACT.pdf) [2011-05-09]

Sayin, E., Krauss, W. (1995) *A numerical study of the water exchange through the Danish Straits*, *Tellus A*, vol 48, nr 2 s 324 - 341

Seabased (2009) *Teknisk lösning – Vågkraftaggregat*, Tillgänglig: [http://www.seabased.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=61&Itemid=75](http://www.seabased.com/index.php?option=com_content&view=article&id=61&Itemid=75) [2011-02-07]

Seabased (2010) *Vågkraft I Sotenäs*, Tillgänglig: [http://seabased.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=74&Itemid=84](http://seabased.com/index.php?option=com_content&view=article&id=74&Itemid=84) [2011-06-08]

Seymour, R. J. (1992) *Ocean Energy Recovery*. I Vega, L. A., *Economics of Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)*, New York: American Association of Civil Engineers (ASCE), s 152-181

SGU (2009) *Maringeologiska kartan* [Elektronisk], Beställd: <http://maps2.sgu.se/kartgenerator/sv/maporder.html> [2011-03-03]

She, J., Berg, P., Berg, J. (2007) *Bathymetry impacts on water exchange modelling through the Danish Straits*, *Journal of Marine Systems*, vol. 65, nr 1 - 4, s 450-459

Shields, M. A., Dillon, L. J., Woolf, D. K., Ford, A. T. (2009) *Strategic priorities for assessing ecological impacts of marine renewable energy devices in the Pentland Firth (Scotland, UK)*, *Marine Policy*, vol 33, nr 4, s 635 – 642

Sigurd, D, Stolt, L, Claesson, L. (1983) *Solceller och vågkraft*, Stockholm: Energiforskningsnämnden

Skilhagen, S. E., Dugstad, J. E., Aaberg, R. J. (2007) *Osmotic Power – Power Production Based on the Osmotic Pressure Difference Between Waters With Varying Salt Gradients*, *Desalination*, vol 220, nr 1 – 3, s 476-482

Skilhagen, Stein Erik (2011) *Head of Osmotic Power*, Statkraft, 2011-02-23, [SteinErik.Skilhagen@statkraft.com](mailto:SteinErik.Skilhagen@statkraft.com)

Skråmestø, Ø. S., Skilhagen, S. E., Nielsen, W. K., (2009) *Power Production based on Osmotic Pressure* [Elektronisk], Tillgänglig: [http://www.statkraft.no/Images/Waterpower\\_XVI\\_-\\_Power\\_production\\_based\\_on\\_osmotic\\_pressure\\_tcm10-5100.pdf](http://www.statkraft.no/Images/Waterpower_XVI_-_Power_production_based_on_osmotic_pressure_tcm10-5100.pdf) [2011-06-04]

SMHI (2009a) *Inflöden till Östersjön*, Tillgänglig: <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/oceanografi/infloden-till-ostersjon-1.4203> [2011-06-09]

SMHI (2009b) *Vindvågor*, Tillgänglig: <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/oceanografi/vindvagor-1.1748> [2011-06-04]

SMHI (2011) *Svenskt HavsARKiv*, Tillgänglig: [http://www.smhi.se/oceanografi/oce\\_info\\_data/SODC/download\\_sv.htm](http://www.smhi.se/oceanografi/oce_info_data/SODC/download_sv.htm) [2011-06-09]

Statkraft (2010) *Osmotic Power*, Tillgänglig: [http://www.statkraft.com/Images/Osmotic%20Nov%202009%20ENG\\_tcm9-11474.pdf](http://www.statkraft.com/Images/Osmotic%20Nov%202009%20ENG_tcm9-11474.pdf) [2011-01-21]

Stübner, Christian (2011) *Vigor Wave Energy AB*, 2011-04-14 [christian.stubner@VigorWaveEnergy.com](mailto:christian.stubner@VigorWaveEnergy.com)

Sweco Grøner (2007) *Potensialstudie av havenergi i Norge*, Sweco Grøner Rapport nr 154650-2007.1

Taylor, Trey (2011) *Co-founder and President*, Verdant Power Inc, 2011-03-24, [ttaylor@verdantpower.com](mailto:ttaylor@verdantpower.com)

Tengberg, Anders (2011) *Scientific Advisor/Manager*, Aanderaa Data Instruments AS, 2011-05-11, [anderste@chem.gu.se](mailto:anderste@chem.gu.se) and [anders.tengberg@itt.com](mailto:anders.tengberg@itt.com)

Torvestad Jan Christian (2011) *Founder/Technical Advisor*, Aqua Energy, 2011-05-14, [janchristian@aquaenergy.no](mailto:janchristian@aquaenergy.no)

- Trinnaman, J., Clarke, A. (2004) *2004 Survey of Energy Resources*, 20. uppl, Oxford: Elsevier
- UEK – Underwater Electric Kite, *UEK System Specifications*, Tillgänglig: <http://uekus.com/specifications.html> [2011-05-12]
- Uppsala Universitet (2009) *Undervattenkraft*, Tillgänglig: <http://www.teknat.uu.se/forskning/program.php?vetenskapsid=1&forskomsr=7&id=9&lang=sv> [2011-02-04]
- Uppsala Universitet (2011a) *Pågående forskningsprojekt – Marin strömkraft*, Tillgänglig: <http://www.el.angstrom.uu.se/forskningsprojekt/Marin%20Stromkraft.html> [2011-03-24]
- Uppsala Universitet (2011b) *Vågkraftsprojekt – Lysekilsprojektet*, Tillgänglig: <http://www.el.angstrom.uu.se/forskningsprojekt/WavePower/Lysekilsprojektet.html> [2011-03-04]
- Vattenfall (2007) *Miljökonsekvensbeskrivning av Kriger flaks vindkraftspark* [Elektronisk], Tillgänglig: [http://www.vattenfall.se/sv/file/Miljokonsekvensbeskrivning\\_11335575.pdf](http://www.vattenfall.se/sv/file/Miljokonsekvensbeskrivning_11335575.pdf) [2011-06-05]
- Vattenfall (2009) *Environmental Monitoring - Lillgrund Offshore Wind Farm* [Elektronisk], Tillgänglig: [http://www.vattenfall.se/sv/file/41\\_Environmental\\_monitoring\\_11336761.pdf](http://www.vattenfall.se/sv/file/41_Environmental_monitoring_11336761.pdf) [2011-05-13]
- Vattenfall (2011) *Fakta om Lillgrund*, Tillgänglig: <http://www.vattenfall.se/sv/fakta-om-lillgrund.htm> [2011-06-09]
- VTT (2002) *Statistical Analyses of the Baltic Maritime Traffic*, VTT Research Report nr Val34-012344
- Water Power Industries AS (2004) *WPI*, Tillgänglig: [www.wpi.no/index.php?resource=turbine](http://www.wpi.no/index.php?resource=turbine) [2011-05-13]
- Waters, R., Engström, J., Isberg, J., Leijon, M. (2009) *Wave climate off the Swedish west coast*, *Renewable Energy*, vol 34, nr 6, s 1600 – 1606
- Wilson, B., Batty, R. S., Daunt, F. & Carter, C. (2007) *Collision Risks Between Marine Renewable Energy Devices And Mammals, Fish And Diving Birds, Report to the Scottish Executive*. Scottish Association for Marine Science, Oban, Scotland, PA37 1QA.
- Ödman, Per (2011) *Produkt och försäljningsansvarig*, Öresundskraft AB, 2011-05-19, [per.odman@oresundskraft.se](mailto:per.odman@oresundskraft.se)
- Öresunds vattenvårdsförbund / SMHI (2007) *Undersökningar i Öresund 2006 – hydrografi*, ÖVF-rapport 2007:2
- Öresunds Vattenvårdsförbund / SWECO Environment AB (2009) *ÖVFs undersökningar i Öresund 2008* [Elektronisk], Tillgänglig: [http://www.oresunds-vvf.se/Dokument/Analystabeller\\_2008.pdf](http://www.oresunds-vvf.se/Dokument/Analystabeller_2008.pdf) [2011-02-11]
- Öresundsvattensamarbetet (2011), *Öresund/Natur*, Tillgänglig: [www.oresundsvand.dk/svenska/html/the-sound.html](http://www.oresundsvand.dk/svenska/html/the-sound.html) [2011-01-19]
- Östersjöportalen. *Östersjöportalen: Allmän information om tumlare*, Tillgänglig: [www.itameriportaali.fi](http://www.itameriportaali.fi) [2011-04-18]

# Appendix

---

## Appendix 1. Beräkning av den osmotiska potentialen

Det potentiella osmotiska trycket kommer beräknas för ett mättilfälle vid W Landskrona, se kapitel 3.4. Vid detta tillfälle var de fysikaliska förutsättningarna följande i yt- respektive djupvatten (datakälla: SMHI (2011)):

	Salthalt [psu ≈ ‰]	Temperatur [°C]	Temperatur [K]
Ytvatten	9,7	19,4	292,5
Djupvatten	33,3	6,2	279,3

Densiteten i ytvattnet antas till 1000 kg/m<sup>3</sup> respektive 1025 kg/m<sup>3</sup> i djupvattnet. Med salthalten och densiteten kan vikten för vattnets saltinnehåll beräknas. I ytvattnet blir saltets vikt

$$9,7\% = 0,0097 * 1000 \frac{kg}{m^3} = 9,7 kg$$

Vikten för djupvatten beräknas på samma sätt till 34,2 kg.

Det osmotiska trycket ( $\pi$ ) beräknas med hjälp av  $\pi = MRT$  (Chang, R (2006)) där

- M = molariteten för jonerna i lösningen [mol/L]
- R = allmänna gaskonstanten  $[L \cdot atm / K \cdot mol] = 0,0821$
- T = temperatur [K]

Enligt Nationalencyklopedin är den kemiska sammansättningen av havssalt, i havsvatten med en salthalt på cirka 35 psu, följande (Nationalencyklopedin (2011)):

Havets sammansättning av salter, 1m <sup>3</sup> havsvatten vid 35 psu			
		kg	% andel
NaCl	natriumklorid	28,01	77,9
MgCl <sub>2</sub>	magnesiumklorid	3,81	10,6
MgSO <sub>4</sub>	magnesiumsulfat	1,75	4,9
CaSO <sub>4</sub>	kalciumsulfat	1,28	3,6
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	kaliumsulfat	0,82	2,3
CaCO <sub>3</sub>	kalciumpkarbonat	0,12	0,3
KBr	kaliumbromid	0,10	0,2
Sr[SO <sub>4</sub> ]	strontiumsulfat	0,03	0,08
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	borsyra	0,03	0,08
		35,96	100%

Utifrån ovanstående tabell beräknas molariteten för yt- respektive djupvattnet med hjälp av molvikten för varje kemiskt ämne och saltets vikt i vardera skiktet. Det görs genom att först multiplicera den procentuella andelen för varje kemiskt ämne (från ovanstående tabell över saltsammansättningen) med saltets vikt i yt- respektive djupskikt (9,7 respektive 34,2 kg). Det ger vikten av varje kemiskt ämne i en kubikmeter vatten. Denna vikt divideras sedan för molmassan [kg/mol] för varje kemiskt ämne vilket ger molariteten i [mol/L]. En summering av molariteten för yt- och djupvatten ger molariteten som kan användas för att beräkna det osmotiska trycket.



	% andel	Ytvatten [kg]	Djupvatten [kg]	Totala molmassan för varje kemiskt ämne [kg/mol]	Ytvatten [mol/liter]	Djupvatten [mol/liter]	
NaCl	77,9	7,586038	26,6	0,06	0,13	0,46	
MgCl <sub>2</sub>	10,6	1,032269	3,62	0,10	0,01	0,04	
MgSO <sub>4</sub>	4,8	0,474432	1,67	0,12	0,004	0,01	
CaSO <sub>4</sub>	3,6	0,347429	1,22	0,14	0,003	0,009	
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2,3	0,22105	0,78	0,17	0,001	0,004	
CaCO <sub>3</sub>	0,3	0,033053	0,12	0,10	0,0003	0,001	
KBr	0,3	0,027421	0,10	0,12	0,0002	0,0008	
Sr[SO <sub>4</sub> ]	0,08	0,007812	0,03	0,18	4,25E-05	0,0001	
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0,08	0,007496	0,03	0,06	0,0001	0,0004	
Summa:		9,7	34,17	Summa =	0,15	0,52	mol/liter

Det osmotiska trycket beror inte på antalet mol av de olika saltämnena utan av dess joner när de är dissocierade i vatten. Ett antagande görs om att varje ämne kommer dissociera till 100% i dessa vatten vid dessa temperaturer och därmed kan koncentrationen multipliceras med antalet joner i varje sammansättning.

	Antal joner	Ytvatten	Djupvatten		
		antal mol joner/liter	antal mol joner/liter	antal mol joner/liter	
NaCl	2	0,13	0,27	0,46	0,91
MgCl <sub>2</sub>	3	0,01	0,03	0,04	0,11
MgSO <sub>4</sub>	2	0,004	0,008	0,01	0,03
CaSO <sub>4</sub>	2	0,003	0,005	0,009	0,02
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3	0,001	0,004	0,004	0,01
CaCO <sub>3</sub>	2	0,0003	0,0007	0,001	0,002
KBr	2	0,0002	0,0005	0,0008	0,002
Sr[SO <sub>4</sub> ]	2	4,36E-05	8,72E-05	0,0001	0,0003
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	7	0,0001	0,0009	0,0004	0,003
			0,32		1,09 mol/liter

Med tidigare nämnd ekvation för det osmotiska trycket  $\pi = MRT$ , temperaturerna angivna ovan för de olika skikten och summan av molariteten i ovanstående diagram beräknas det osmotiska trycket för varje skikt till

Ytvatten	$\pi =$	7,65 atm
Djupvatten	$\pi =$	26,21 atm

Differensen vattenmassorna emellan blir  $26,2 - 7,7 \text{ atm} = 18,5 \text{ atm} = 18,8 \text{ bar} = 191 \text{ mH}_2\text{O}$ .

## Appendix 2. Beräkning av energiproduktionspotentialen för ett marint strömkraftverk

Energiproduktionen beräknas utifrån följande data från DMI om frekvensen för diverse hastigheter per månad.

Hastighet [knop]	Frekvens %											
	Jan	Feb	Mars	April	Maj	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dec
0	0,3	0,4	0,5	0,6	0,5	0,5	0,4	0,3	0,5	0,7	0,2	0,3
0,1-0,2	8,1	9,4	9,2	9,6	11,6	12,8	12,4	9,9	10,3	9,9	8,9	9,3
0,3-0,7	16,7	16,5	15,6	18,1	19,0	23,0	21,8	20,6	19,9	17,8	16,2	17,1
0,8-1,2	19,7	19,8	22,4	23,3	24,7	25,4	25,6	23,8	22,1	19,4	17,9	19,6
1,3-1,7	15,3	17,9	15,6	19,4	17,9	17,4	20,7	19,8	16,7	15,0	17,3	15,8
1,8-2,2	21,9	20,1	22,6	17,5	17,8	14,4	14,1	17,7	18,2	19,0	19,6	20,2
2,3-2,7	11,1	9,2	9,4	8,1	6,3	4,9	4,0	6,0	7,7	10,9	11,5	10,9
2,8-3,2	5,9	6,0	4,2	2,9	1,9	1,3	0,9	1,7	4,0	5,7	7,0	5,7
3,3-3,7	0,8	0,5	0,4	0,4	0,3	0,1	0,1	0,1	0,6	1,1	1,0	1,1
3,8-4,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,4	0,3	0,1
> 4,2	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Effekten från ett marint strömkraftverk beräknas på samma sätt som potentialen för ett vindkraftverk med följande ekvation (där hastigheten som ovan är angiven i knop omvandlas till m/s) (Boyle, G. (2004)):

$$P = \eta \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot (0,5144 \cdot v)^3$$

P = effekt [W]

$\eta$  = verkningsgrad

$\rho$  = densitet [kg/m<sup>3</sup>]

A = area [m<sup>2</sup>]

v = hastighet [knop]

Följande parametrar antas:

Verkningsgraden =	0,3
Densitet =	1000 kg/m <sup>3</sup>
Diameter =	15 m
Area =	176,7 m <sup>2</sup>

Cut-in hastigheten för turbinen antas till 1 m/s = 1,94 knop.

Antalet timmar som strömmen håller en viss hastighet beräknas med hjälp av frekvenserna ovan och summeras för varje intervall. Effekten [kW] beräknas med hjälp av ovanstående ekvation. Genom att multiplicera dessa och summera resultatet kan den årliga energiproduktionspotentialen beräknas [MWh].





Medelhastighet				
[knop]	[m/s]	Effektuttag [kW]	Timmar /år	Energi / år [MWh]
0,00	0		38,0	-
0,15	0,07716		886,5	-
0,50	0,2572		1623,5	-
1,00	0,5144		1926,4	-
1,50	0,7716		1523,6	-
2,00	1,0288	28,9	1628,7	47,0
2,50	1,286	56,4	729,6	41,1
3,00	1,5432	97,4	343,2	33,4
3,50	1,8004	154,7	47,5	7,3
4,00	2,0576	230,9	11,7	2,7
4,20	2,16048	267,3	1,3	0,4
Årlig energiproduktion				132,0 MWh/år
Antal drifttimmar / år				2762,1 h



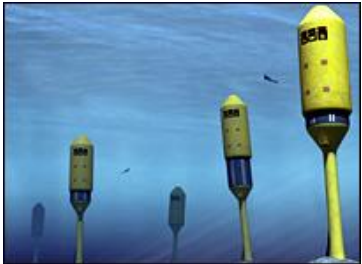
Den årliga produktionen är därmed uppskattad till 132 MWh.


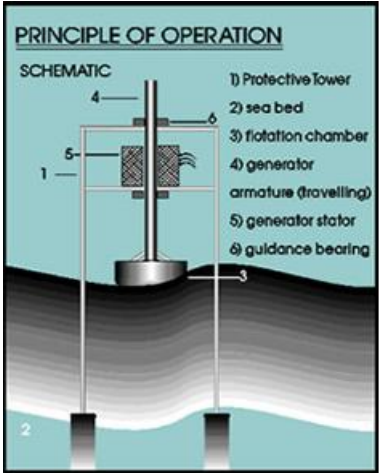
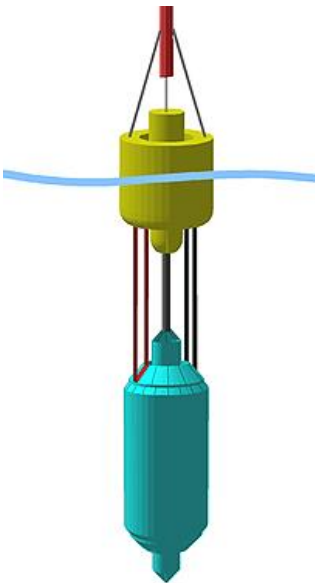
Vid en annan lokalisering kan strömhastigheten antas vara högre. Om man antar ovanstående tidsfördelning med antalet timmar/år men den dubbla hastigheten (men med en maximal hastighet på 4 knop) blir effektuttaget och den årliga energiproduktionen istället 580 MWh/år, se nedanstående diagram.

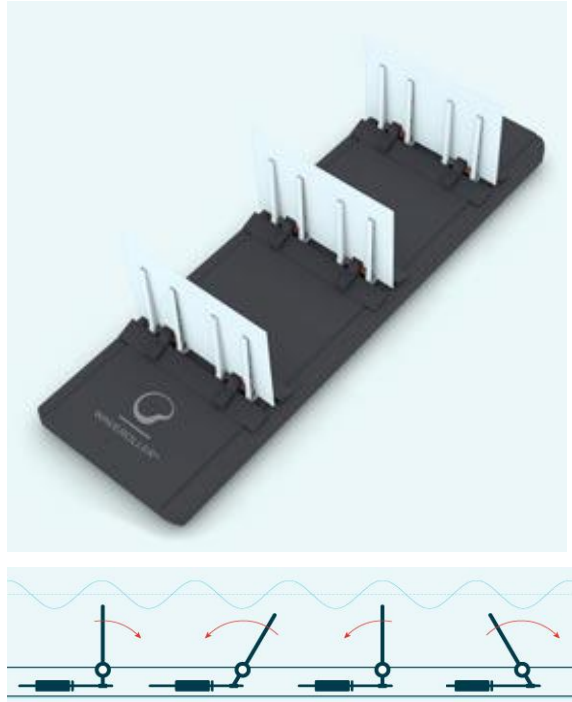
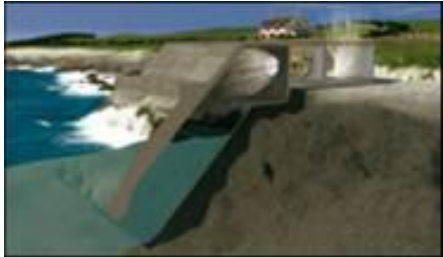
Medelhastighet				
[knop]	[m/s]	Effektuttag [kW]	Timmar /år	Energi / år [MWh]
0,00	0,0		38,0	-
0,30	0,2		886,5	-
1,00	0,5		1623,5	-
2,00	1,0	28,9	1926,4	55,6
3,00	1,5	97,4	1523,6	148,4
4,00	2,1	230,9	1628,7	376,1
Årlig energiproduktion				580,1 MWh/år
Antal drifttimmar / år				2762,1 h

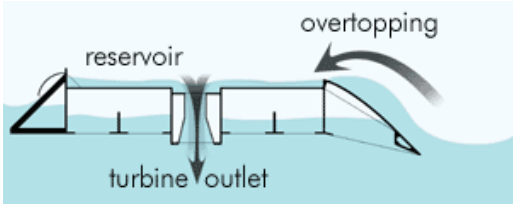

### Appendix 3. Vågkraftsteknologier

	Attenuator			
Företag	Pelamis Wave Power	Green Ocean Energy	Vigor Wave Energy AB	Checkmate
	Pelamis	Wave Treader	Vigor Wave Energy Converter	Anaconda
Djup	50 – 70 m			
Effekt	750 kW (4 del-moduler)	500 kW		
Verknings-grad	25 – 40 %			
Optimal våghöjd	min 6 – 7 m	min 0,75 m	2 – 4 m / 1 – 1,5 m	
Optimal vågmedel-effekt				
		I anslutning till havs-baserad vindkraft	Under utveckling	Begränsad mängd information – inget svar från Checkmate om optimala våg-förhållanden
				
	<a href="http://www.pelamiswave.com/">http://www.pelamiswave.com/</a>	<a href="http://www.greenoceanenergy.com/">http://www.greenoceanenergy.com/</a>	<a href="http://www.vigorwaveenergy.com/">http://www.vigorwaveenergy.com/</a>	<a href="http://www.checkmateuk.com/seaenergy/">http://www.checkmateuk.com/seaenergy/</a>

	Point Absorber		
Företag	Ocean Power Technology	Embley Energy Ltd	AWS Ocean Energy
	Powerbuoy	Sperboy	Archimedes Wave Swing III
Djup		20 – 30 m	
Effekt	150 kW		2,4 – 4 MW
Verknings-grad			
Optimal våghöjd			
Optimal vågmedel-effekt	20 kW/m	~60 kW/m	
			Inget svar från AWS Ocean Energy om optimala vågförhållanden
			
	<a href="http://www.oceanpowertech.com/index.htm">http://www.oceanpowertech.com/index.htm</a>	<a href="http://www.sperboy.com/index.html?ret=return">http://www.sperboy.com/index.html?ret=return</a>	<a href="http://www.awsocan.com/Pages/Producer.aspx">http://www.awsocan.com/Pages/Producer.aspx</a>

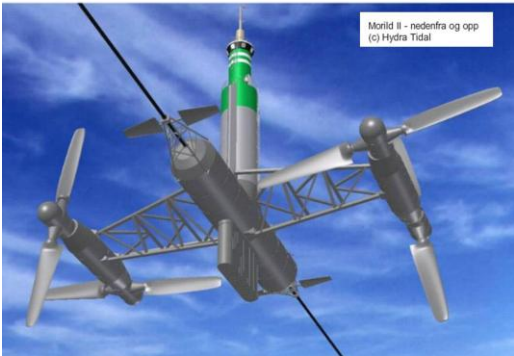
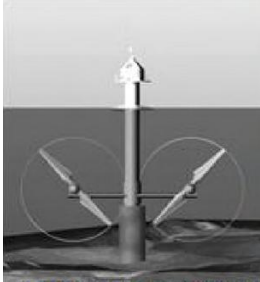


	Point Absorber		
Företag	Ocean Navitas	Trident Energy	WaveBob
	Aegit Dynamo		WaveBob
Djup	min 20 m **		
Effekt	45 kW / 200 kW / 600 kW / 1200 kW		> 500 kW
Verknings-grad	86 % *	> 80 %	
Optimal våghöjd			Anpassad till förhållanden i Stilla Havet och Atlanten
Optimal vågmedel-effekt			
	* gäller för 45 kW-modell ** gäller för 200 & 600 kW modell  Inget svar från Ocean Navitas om optimala våg-förhållanden	Inget svar från Trident Energy om optimala våg-förhållanden	
		<p><b>PRINCIPLE OF OPERATION</b></p> <p><b>SCHEMATIC</b></p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>1) Protective Tower</li> <li>2) sea bed</li> <li>3) flotation chamber</li> <li>4) generator armature (travelling)</li> <li>5) generator stator</li> <li>6) guidance bearing</li> </ul>	
	<a href="http://www.oceannavitas.com/">http://www.oceannavitas.com/</a>	<a href="http://www.tridentenergy.co.uk/">http://www.tridentenergy.co.uk/</a>	<a href="http://www.wavebob.com/">http://www.wavebob.com/</a>

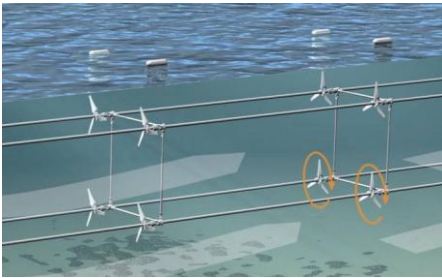
	Terminator	
Företag	Wave-Roller	Voith Hydro AS
	Wave-Roller	Limpet
Djup	10 – 25 m	
Effekt	600 – 800 kW	500 kW
Verknings-grad		
Optimal våghöjd		
Optimal vågmedel-effekt		15 – 25 kW/m
	Placeras nära kusten för att fånga energin när vågorna närmar sig land.	Onshore
		
	<a href="http://www.aw-energy.com/">http://www.aw-energy.com/</a>	<a href="http://www.wavegen.co.uk/">http://www.wavegen.co.uk/</a>

	Terminator	
Företag	Wave dragon	Aquamarine Power
		Oyster – prototyp
Djup		
Effekt	4 – 11 MW	350 kW
Verknings-grad		40 – 70 %
Optimal våghöjd		
Optimal vågmedel-effekt	24 – 48 kW/m	
		Kunde inte ge mig svar om optimala vågförhållanden
		
	<a href="http://www.wavedragon.net/">http://www.wavedragon.net/</a>	<a href="http://www.aquamarinepower.com/">http://www.aquamarinepower.com/</a>

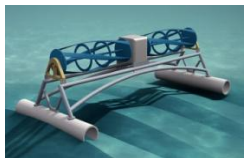
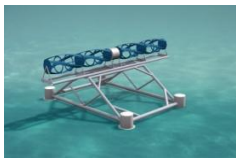
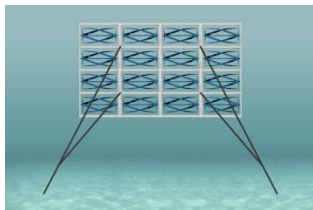
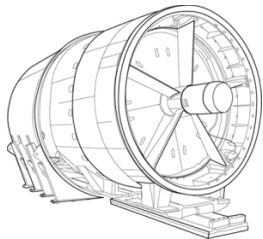


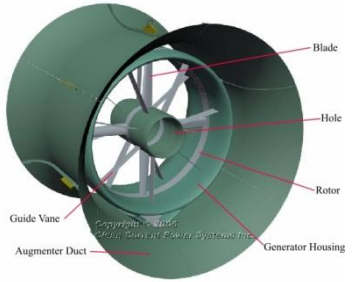


## Appendix 4. Marina havskraftstekniker





	Horisontell axel			
	Tvåbladiga		Trebladiga	
Företag	Hydra Tidal	Marine Current Turbines	Verdant Power	Hammerfest ström
	MORILD II	Seagen	Free Flow Kinetic Hydropower System	HS300
Djup			min 9 m	40 – 100 m
Effekt	1,5 MW	1,2 MW		300 kW
Verknings-grad				
Rotordiameter	23 m	14 – 20 m		
Minimum strömhastighet		2,4 m/s	1,8 m/s	2,5 m/s
Antal rotorblad	4 x 2	2 x 2	3	3
				
	<a href="http://www.hydratidal.com">http://www.hydratidal.com</a>	<a href="http://www.marineturbines.com/">http://www.marineturbines.com/</a>	<a href="http://www.verdantpower.com">http://www.verdantpower.com</a>	<a href="http://www.hammerfeststrom.com/">http://www.hammerfeststrom.com/</a>



	Horisontell axel
	Trebladig
Företag	Fri-El Sea Power
Djup	
Effekt	20 MW / 4,8 MW (vid 2,5 m/s)
Verknings-grad	
Rotordiameter	23 m / 16 m
Minimum strömhastighet	(> 1,5 m/s)
	Kommer innebära utplacering av fartyg som kraftverket där energin lagras I utvecklingsstadiet men arbetar för att tekniken ska fungera >1,5 m/s.
	
	<a href="http://www.fri-el.it/en/sea-power/fri-el-sea-power/who-we-are">http://www.fri-el.it/en/sea-power/fri-el-sea-power/who-we-are</a>

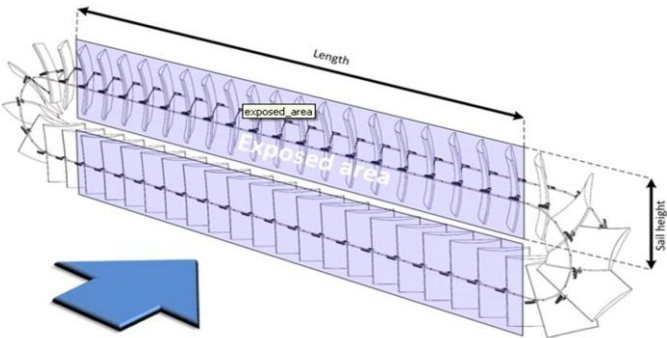
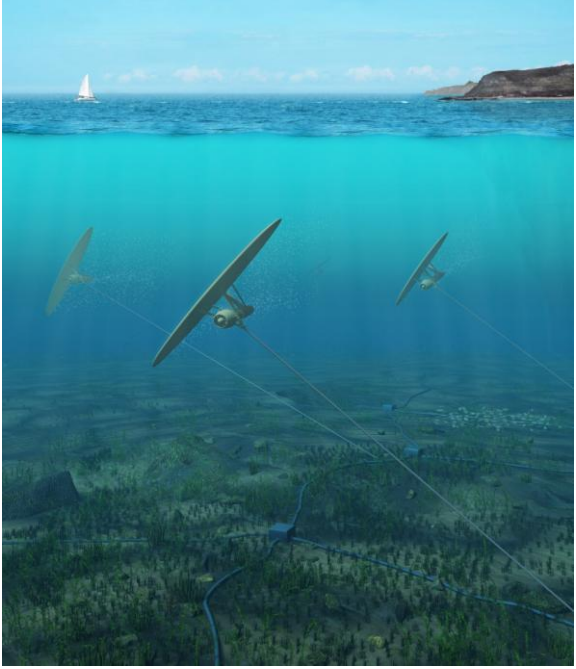
	Horisontell axel				
	Multibladiga				
Företag	Lunar Energy	Underwater Electric Kite (UEK)	Free Flow Power		Open Hydro
	Rotate Tidal Turbine (RTT)	UEK Dual Hydroturbine System	SmarTurbine		Open-Centre Turbine
Djup	40 m djup				
Effekt	1 MW	2 x 45 kW	10 kW (2,25 m/s)	40 kW (3 m/s)	15,5 kW
Verknings-grad		57,1 %			
Rotordiameter	11,5 m (total diameter: 15m)	2 x 2,5 m	3 m		3 m
Minimum strömhastighet	Höga hastigheter	2 – 4 m/s			
					
	<a href="http://www.lunarenergy.co.uk/">http://www.lunarenergy.co.uk/</a>	<a href="http://uekus.com/">http://uekus.com/</a>	<a href="http://www.free-flow-power.com/Home.html">http://www.free-flow-power.com/Home.html</a>		<a href="http://www.openhydro.com">http://www.openhydro.com</a>

	Horisontell axel			
	Multibladiga			
Företag	Ocean Renewable Power Company			Renewable Energy Research
	RivGen Power System	TidGen Power System	OCGen (Ocean Current) Power System	TREK turbine (Kinetic Energy Recovery Turbine)
Djup		15 – 30 m	25 m	
Effekt	30 kW	250 kW	1000 kW	250 kW
Verknings-grad				
Rotordiameter				
Minimum strömhastighet	3 m/s	3 m/s	3 m/s	
				Fast-flowing river currents
				
	<a href="http://www.oceanrenewablepower.com/home.htm">http://www.oceanrenewablepower.com/home.htm</a>			<a href="http://www.rerhydro.com/">http://www.rerhydro.com/</a>

Horisontell axel						
Multibladiga						
Företag	Clean Current			Atlantis Resource Corporation		Firth Tidal Energy
	Clean Current 2.2	Clean Current 1.5	Clean Current 1.0	AK-series	AS-series	Seacat
Djup	Ca 35 m					Anpassnings-bar
Effekt	950 kW (3 m/s) 2,2 MW (4,1 m/s)	1,5 MW (3,25 m/s)	1 MW (2,6 m/s)	1 MW/2 MW	100 kW, 500 kW alt 1 MW	
Verknings-grad						Hög
Rotordiameter	17 m	17 m	17 m			
Minimum strömhastighet				2,6 m/s	2,6 m/s	Låga
						
	<a href="http://www.cleancurrent.com/index.htm">http://www.cleancurrent.com/index.htm</a>			<a href="http://www.atlantisresourcescorporation.com/">http://www.atlantisresourcescorporation.com/</a>		<a href="http://firthtidalenergy.com/">http://firthtidalenergy.com/</a>

Vertikal axel			
Företag	Alternative Hydro Solutions	Lucid Energy Technologies	Ponte di Archimedes
	Darrieus turbinen	Gorlov Helical Turbine	Kobold turbine
Djup			
Effekt			120 – 150 kW
Verknings-grad	0,17 (prestandkoefficient)	0,3	
Rotordiameter	various diameters		5 m
Strömshastighet		0,61 m/s	
		2 – 3 rotorblad	
 <p><b>Efficiency Curves</b></p> <p>watts</p> <p>2000</p> <p>1000</p> <p>0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4 1.6 1.8 2</p> <p>meters per second</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— 6.0m dia @ 2.5m hgt</li> <li>— 3.0m dia @ 2.5m hgt</li> <li>— 1.5m dia @ 1.25m hgt</li> <li>— 1.5m dia @ 0.8m hgt</li> <li>— 1.5m dia @ 0.5m hgt</li> <li>— 1.25m dia @ 1.25m hgt</li> <li>— 2.5m dia @ 2.5m hgt</li> <li>— 1.25m dia @ 0.8m hgt</li> <li>— 2.5m dia @ 0.5m hgt</li> <li>— 1.25m dia @ 0.5m hgt</li> </ul>		<p>Fångar strömmar oavsett riktning</p> <p>Utvecklas i dagsläget för att placeras inuti vattenledningar.</p> <p>Prototyp under konstruktion för installation i Indonesien</p>	
			
	<a href="http://www.althydro solutions.com/">http://www.althydro solutions.com/</a>	<a href="http://www.lucidenergy.com/">http://www.lucidenergy.com/</a>	<a href="http://www.pontediarchimede.it/language_us/">http://www.pontediarchimede.it/language_us/</a>

Vertikal axel		
Företag	Water Power Industries	Blue Energy
	Bravo prototype	The Davis Hydro Turbine
Djup		
Effekt		125 kW
Verknings-grad	50 %	
Rotordiameter		
Strömhastighet		min 1 m/s
		Synlig alt nedsänkt
		
	<a href="http://www.wpi.no">www.wpi.no</a>	<a href="http://www.bluenergy.com/">http://www.bluenergy.com/</a>

Övrig teknik		
Företag	Aqua Energy Solutions	Minesto
		Deep Green Tecnology
Djup		50 – 300 m djup
Effekt	Varierar	500 kW
Verknings-grad	37 %	
Rotordiameter		Vingbredd 12 m
Minimum strömhastighet	0,5 m/s (förväntad)	Medelström: 1,6 m/s
		
	Anpassad efter lokalen, därav varierar effekten. Kan tänka sig att fungerar för snitthastigheter ner mot 1 – 1,5 m/s	Rör sig med en hastighet på 16 m/s när strömmen är 1,6 m/s
	<a href="http://www.aquaenergy.no/">http://www.aquaenergy.no/</a>	<a href="http://www.minesto.com">www.minesto.com</a>



## Appendix 5. Scoping Checklist

No	Questions to be considered in scoping	Yes/No/?	Which characteristics of the project environment could be affected and how?	Is the effect likely to be significant? Why?
<b>1 Will construction, operation or decommissioning of the Project involve actions which will cause physical changes in the locality (topography, land use, changes in waterbodies, etc)?</b>				
1.1	Permanent or temporary change in land use, landcover or topography including increases in intensity of land use?			
1.2	Clearance of existing land, vegetation and buildings?			
1.3	Creation of new land uses?			
1.4	Pre-construction investigations eg boreholes, soil testing?			
1.5	Construction works?			
1.6	Demolition works?			
1.7	Temporary sites used for construction works or housing of construction workers?			
1.8	Above ground buildings, structures or earthworks including linear structures, cut and fill or excavations?			
1.9	Underground works including mining or tunnelling?			
1.10	Reclamation works?			
1.11	Dredging?			
1.12	Coastal structures <i>HJ</i> seawalls, piers?			
1.13	Offshore structures?			
1.14	Production and manufacturing processes?			
1.15	Facilities for storage of goods or materials?			
1.16	Facilities for treatment or disposal of solid wastes or liquid effluents?			
1.17	Facilities for long term housing of operational workers?			
1.18	New road, rail or sea traffic during construction or operation?			
1.19	New road, rail, air, waterborne or other transport infrastructure including new or altered routes and stations, ports, airports etc?			
1.20	Closure or diversion of existing transport routes or infrastructure leading to changes in traffic movements?			
1.21	New or diverted transmission lines or pipelines?			
1.22	Impoundment, damming, culverting, realignment or other changes to the hydrology of watercourses or aquifers?			
1.23	Stream crossings?			
1.24	Abstraction or transfers of water from			

	ground or surface waters?			
1.25	Changes in waterbodies or the land surface affecting drainage or run-off?			
1.26	Transport of personnel or materials for construction, operation or decommissioning?			
1.27	Long term dismantling or decommissioning or restoration works?			
1.28	Ongoing activity during decommissioning which could have an impact on the environment?			
1.29	Influx of people to an area in either temporarily or permanently?			
1.30	Introduction of alien species?			
1.31	Loss of native species or genetic diversity?			
1.32	Any other actions?			
<b>2. Will construction or operation of the Project use natural resources such as land, water, materials or energy, especially any resources which are non-renewable or in short supply?</b>				
2.1	Land especially undeveloped or agricultural land?			
2.2	Water?			
2.3	Minerals?			
2.4	Aggregates?			
2.5	Forests and timber?			
2.6	Energy including electricity and fuels?			
2.7	Any other resources?			
<b>3. Will the project involve use, storage, transport, handling or production of substances or materials which could be harmful to human health or the environment or raise concerns about actual or perceived risks to human health?</b>				
3.1	Will the project involve use of substances or materials which are hazardous or toxic to human health or the environment (flora, fauna, water supplies)?			
3.2	Will the project result in changes in occurrence of disease or affect disease vectors (eg insect or water borne diseases)?			
3.3	Will the project affect the welfare of people eg by changing living conditions?			
3.4	Are there especially vulnerable groups of people who could be affected by the project eg hospital patients, the elderly?			
3.5	Any other causes?			
<b>4 Will the project produce solid wastes during construction or operation or decommissioning?</b>				
4.1	Spoil, overburden or mine wastes?			
4.2	Municipal waste (household and or commercial wastes)?			
4.3	Hazardous or toxic wastes (including radioactive wastes)?			
4.4	Other industrial process wastes?			
4.5	Surplus product?			
4.6	Sewage sludge or other sludges from effluent treatment?			
4.7	Construction or demolition wastes?			
4.8	Redundant machinery or equipment?			
4.9	Contaminated soils or other material?			
4.10	Agricultural wastes?			
4.11	Any other solid wastes?			

<b>5 Will the Project release pollutants or any hazardous, toxic or noxious substances to air?</b>				
5.1	Emissions from combustion of fossil fuels from stationary or mobile sources?			
5.2	Emissions from production processes?			
5.3	Emissions from materials handling including storage or transport?			
5.4	Emissions from construction activities including plant and equipment?			
5.5	Dust or odours from handling of materials including construction materials, sewage and waste?			
5.6	Emissions from incineration of waste?			
5.7	Emissions from burning of waste in open air ( <i>HJ</i> slash material, construction debris)?			
5.8	Emissions from any other sources?			
<b>6 Will the Project cause noise and vibration or release of light, heat energy or electromagnetic radiation?</b>				
6.1	From operation of equipment eg engines, ventilation plant, crushers?			
6.2	From industrial or similar processes?			
6.3	From construction or demolition?			
6.4	From blasting or piling?			
6.5	From construction or operational traffic?			
6.6	From lighting or cooling systems?			
6.7	From sources of electromagnetic radiation (consider effects on nearby sensitive equipment as well as people)?			
6.8	From any other sources?			
<b>7 Will the Project lead to risks of contamination of land or water from releases of pollutants onto the ground or into sewers, surface waters, groundwater, coastal waters or the sea?</b>				
7.1	From handling, storage, use or spillage of hazardous or toxic materials?			
7.2	From discharge of sewage or other effluents (whether treated or untreated) to water or the land?			
7.3	By deposition of pollutants emitted to air, onto the land or into water?			
7.4	From any other sources?			
7.5	Is there a risk of long term build up of pollutants in the environment from these sources?			
<b>8 Will there be any risk of accidents during construction or operation of the Project which could affect human health or the environment?</b>				
8.1	From explosions, spillages, fires etc from storage, handling, use or production of hazardous or toxic substances?			
8.2	From events beyond the limits of normal environmental protection eg failure of pollution control systems?			
8.3	From any other causes?			
8.4	Could the project be affected by natural disasters causing environmental damage (eg floods, earthquakes, landslip, etc)?			
<b>9 Will the Project result in social changes, for example, in demography, traditional lifestyles, employment?</b>				

9.1	Changes in population size, age, structure, social groups etc?			
9.2	By resettlement of people or demolition of homes or communities or community facilities eg schools, hospitals, social facilities?			
9.3	Through in-migration of new residents or creation of new communities?			
9.4	By placing increased demands on local facilities or services eg housing, education, health?			
9.5	By creating jobs during construction or operation or causing the loss of jobs with effects on unemployment and the economy?			
9.6	Any other causes?			
<b>10 Question – Are there any other factors which should be considered such as consequential development which could lead to environmental effects or the potential for cumulative impacts with other existing or planned activities in the locality?</b>				
10.1	Will the project lead to pressure for consequential development which could have significant impact on the environment eg more housing, new roads, new supporting industries or utilities, etc?			
10.2	Will the project lead to development of supporting facilities, ancillary development or development stimulated by the project which could have impact on the environment eg: <ul style="list-style-type: none"> <li>• supporting infrastructure (roads, power supply, waste or waste water treatment, etc)</li> <li>• housing development</li> <li>• extractive industries</li> <li>• supply industries</li> <li>• other?</li> </ul>			
10.3	Will the project lead to after-use of the site which could have an impact on the environment?			
10.4	Will the project set a precedent for later developments?			
10.5	Will the project have cumulative effects due to proximity to other existing or planned projects with similar effects?			

## Appendix 6. Resultat av Scoping Checklist

Möjlig miljöpåverkan	Fjärrkyla- anläggning				Marina ström-kraftverk				Kommentarer
	Ja	Nej	Signifikant påverkan	Ingen signifikant påverkan	Ja	Nej	Signifikant påverkan	Ingen signifikant påverkan	
Förändrad markanvändning, batymetri?	x		x		x		x		
Muddring	x		x		x		x		
Eliminering av nuvarande vegetation?	x		x		x		x		
Förändrad hydrodynamik	x			x	x		x		Signifikansen beror på volymen uttaget kylvatten
Mätningar/utredningar av lokal berggrund, batymetri, ekologi etc	x			x	x			x	
Tillhörande anläggningar på land	x			x	x			x	"Behandlingsanläggning" för kylvattnet, eventuell transformatorstation för elektricitet
Kustnära tillhörande anläggningar	x			x		x	-	-	Anslutningsledning för kylvattnet
Offshore anläggningar	x		x		x		x		Rörledning för kylvatten
									Turbiner, överföringsledning och eventuell transformatorstation
Nya överföringsledningar, rörledningar	x		x		x		x		
Tillfällig påverkan på farleder under	x		x		x		x		

konstruktion									
Permanent konsekvenser för befintliga farleder, förändrade farleder	x		x		x		x		
Transport av material och personal under konstruktionsfasen	x			x				x	
Demolering/nedmontering	x		x		x		x		Troligen kommer krav ställas på restaurering av området
									Liknande vid anläggandet kommer det innebära en störning av bottenområdena
Driften kräver vatten som en resurs	x		x			x	-	-	Signifikansen beror på volymen uttaget kylvatten
Driften kräver energi i form av elektricitet/värme/bränsle	x			x			x	-	-
Projektet inducerar avfall i form av sediment	x		x		x		x		Muddringsmassor
Anläggningen ger upphov till avfall i form av förorenat vatten	x		x			x	-	-	Förorenat i den meningen att den inte längre har samma temperatur
Avfall vid konstruktion eller demolering	x		x		x		x		Fjärrkyla: rörledning, eventuellt fundament
									Marina strömkraftverk: turbiner, fundament, överföringsledningar
									Återanvändning
Emissioner vid konstruktion	x			x				x	Båtar ger emissioner av växthusgaser, eventuella kemikalier.
Drift av anläggningen ger upphov till ljud/buller på grund av motorer		x	-	-	x		x		Strömkraftverken kan ha en påverkan på de lokala marina ekosystemen pga ljud från turbiner

Konstruktion/Demolering av anläggningen ger upphov till ljud/buller	x		x	x		x	Under begränsad tid	
Underhåll av anläggningen ger upphov till ljud/buller	x		x	x		x	Under begränsad tid	
Anläggningen ger upphov till elektromagnetisk strålning		x	-	-	x		x	
Anläggningen kommer att skapa fler jobbtillfällen	x			x	x		x	I begränsad omfattning
Anläggningen kan komma att påverkas av naturkatastrofer	x			x	x		x	Risken bedöms som liten men ska konstrueras för att klara en höjning av havsnivån på 1 meter de närmaste 100 åren
Anläggningen ge indirekta effekter i form av att intilliggande infrastruktur behöver utvecklas	x			x	x		x	Fjärrkylanätet kan behöva byggas ut i Helsingborg
Anläggningen kommer att statuera ett exempel för liknande projekt		x	-	-	x		x	Fjärrkyla: liknande anläggningar finns etablerade på många platser i Sverige MSKV: inget liknande projekt finns i Sverige eller internationellt som är anpassat för låga strömförhållanden