

Kan vindkraftfundament fungera som artificiella rev?



Monopilefundament vid Bockstigen, Gotland

Foto: Baltic Marin

Projektrapport – Högskolan på Gotland
Vindkraft och kustmiljö, 10 p

Höstterminen 2002
Visby 2002

Projektrapport Vindkraft och Kustmiljö

Kan vindkraftfundament fungera som artificiella rev?

- Sammanställning av undersökningar och fakta kring ämnet

Deltagare: Gunilla Britse
Handledare: Tore Wizelius
Datum: 2003-01-13
Examinator: Kjell Larsson

Innehållsförteckning	3
<i>Förord</i>	4
<i>Sammanfattning</i>	5
Inledning	6
1	
1.1 Revfrågan presenterad i olika miljökonsekvensbeskrivningar	6
1.2 Naturliga rev	7
1.3 Artificiella rev	7
1.4 Attraktion eller nettoökning av biomassa	8
1.5 Revkonstruktioner och organismsamhällen	9
1.6 Havsbaserad vindkraft och andra störningar på bentiska organismsamhällen	10
1.7 Östersjön – sublittorala växter och djursamhällen	11
1.7.1 <i>Blåmussla (Mytilus edulis)</i>	12
1.7.2 <i>Blåstång (Fucus vesiculosus)</i>	12
2	
2.1 Vindkraftfundament	12
2.1.1 <i>Gravitationsfundament i betong</i>	12
2.1.2 <i>Gravitationsfundament i stål</i>	12
2.1.3 <i>Monopile- eller pålfundament</i>	13
2.1.4 <i>Trebensfundament</i>	13
2.1.5 <i>Exempel</i>	13
2.1.6 <i>Klasården</i>	13
2.1.7 <i>Horns rev</i>	14
2.2 Planerad svensk offshore i Östersjön	14
3	
3.1 Slutsats	15
Referenser	17
<u>Bilagor</u>	
Bilaga 1: Bropelare – Ölandsbron	19
Bilaga 2: Tunø Knob – bentiska djur	20
Bilaga 3: Karta – 25 meters djupen i Östersjön	21
Bilaga 4: Totala biomassa – växter och djur i Östersjön	22
Bilaga 5: Gravitationsfundament i betong	23
Bilaga 6: Gravitationsfundament i stål	24
Bilaga 7: Monopilefundament	25
Bilaga 8: Trebensfundament	26
Bilaga 9: Monopilefundament – erosionsskydd och kabelskydd	27
Bilaga 10: Nya hårdbottensytor – uträkningar	28
Bilaga 11: Planerad svensk offshore i Östersjön	29
Bilaga 12: Biomassa procentuellt – växter och djur i Östersjön	30

Förord

Varje år produceras hundratals miljoner ton fossila bränslen från 400 olje- och gasplattformar i Nordsjön. Användningen av dessa energislag innebär att bl a stora mängder av växthusgasen koldioxid, CO₂ frigörs. Växthusgaserna gör att jorden blir varmare, glaciärer smälter, det blir översvämningar, skogsbränder och mer frekventa extrema väderförhållanden. Ett annat energislag vars användning är ohållbar är kärnkraften. I Sverige har man vid energiuppgörelsen 1997 tagit ett majoritetsbeslut om avveckling (www.windfo.nu, 2002). För att ersätta dessa energislag har man i flera länder börjat utveckla alternativa energikällor och längst har man kommit med vindkraftenergi.

Europa har den tekniska potentialen att täcka hela sitt energibehov med enbart havsbaserad vindkraft. Redan nu innebär den installerade vindkraften i norra Europa att omkring 8,5 milj ton CO₂ sparas varje år. Om den havsbaserade vindkraften fortsätter utvecklas i samma takt, som under de senaste åren, skulle en CO₂-minskning på 21,31 miljoner ton kunna uppnås till år 2005 (Söker m fl samt Schreiber, 2000). Enligt vindkraftsutredningen "Rätt plats för vindkraft", SOU 1999:75 Del 1 kan ett vindkraftverk, med en effekt på 1 MW, varje år producera ca 2500 MWh (vilket motsvarar behovet av hushållsel i 500 villor) spara utvinningen av knappt 1000 ton kol, minska utsläppen av koldioxid med ca 2500 ton, svaveldioxid med ca 3 ton, minska utsläpp av kväveoxider med ca 2,5 ton och spara naturen för brytning av kol, bränsletransporter och spridning av aska (Vindkompaniet, 2001). Danmark har varit ett föregångsland när det gäller utbyggnaden av vindkraft men producerar fortfarande 22 av totalt 36 TWh med kolkraft (Reimegård, 2003). Tyskland är ett land där satsningen på vindkraft accelererat kraftigt, där finns nu mer vindkraft mätt i effekt än svensk kärnkraft. De har på senare år byggt vindkraft motsvarande en kärnkraftreaktor varje år (Söderström, 2003).

I Sverige har vindkraftutbyggnaden tagit fart mot mitten av 90-talet. Trots att vindkraften är ett ungt energislag har utnyttjandet redan från början prövats enligt det miljökonsekvensförfarande som började användas på 1970-talet. Bygglov krävs alltid för vindkraftverk med en rotordiameter på mer än två meter och byggnadsnämnderna kan begära in en miljökonsekvensbeskrivning. Det krävs även miljö-tillstånd hos länsstyrelsen om vindkraftverket har en effekt på 1 MW eller mer, förutom bygglovet. För fossileldade kraftverk räcker det med en anmälan till kommunen för kraftverk under 10 MW och från 10 MW upp till 200 MW krävs miljö-tillstånd, över 200 MW krävs regeringsprövning. För vindkraft krävs regeringsprövning vid 10 MW (Wizelius, 2003). Därmed ställs högre krav på vindkraften än på annan elproduktion. Vindkraftprojektörerna har därför från början satsat på att göra undersökningar av vindkraftseffekter för att uppnå ställda krav men kunskapsläget om vindkraftens inverkan på djur- och växtlighet behöver ännu fördjupas.

När det gäller havsbaserad vindkraft är troligen en del av de forskningsresultat och erfarenheter som redovisats inte helt relevanta för dagens vindkraftutveckling, vilken strävar mot stora grupper med upp till hundra verk ute till havs. Ändå har gjorda studier i samband med anläggningar till havs haft betydelse för att ge vägledning vid nyetableringar samt utgöra underlag för vilka undersökningar som bör genomföras. En av effekterna av vindkraftverk till havs, den så kallade *reveffekten*, har delvis undersökts och kan förväntas uppstå om organismer kan få fäste på de uppförda vindkraftverkens fundament, med eller utan erosionsskyddande stenar. Rev kan även bildas på stenar som i vissa vindkraftparker lagts ovanpå kablarna.

Projektarbetet om reveffekten vid vindkraftsetablering har jag valt med syfte att sammanställa några av de undersökningar som hittills har genomförts. Har tagit del av så mycket litteratur som det tidsmässigt har funnits utrymme till, för att åskådliggöra en reveffekt och vad som kan krävas för att gynna den. Projektarbetet på tre poäng ingår i kursen "Vindkraft och kustmiljö".

Jag vill tacka alla personer, utan att nämna några namn, som varit inblandade i arbetet med detta projektarbete genom att ge tips på litteratur, kommentarer, bidrag till text och bildmaterial.

2002-12-13, Gunilla Britse

Sammanfattning

Insikten om behovet av kunskaper om ekosystemen i havet har accelererat allteftersom förståelsen för bevarandet av de arter som finns där ökat, kanske mest för att de är kommersiellt viktiga för samhället. Samtidigt har trycket ökat på områden till havs för bl a energiutvinning av vindkraft. Energimyndigheten i Sverige har avsikten att satsa på vindkraft, med tyngdpunkt på havsbaserad vindkraft (Energimyndigheten, 1999). I rapporten från 1999 "Det nya samhället" var 73% av befolkningen i Sveriges kommuner positiva till etablering av vindkraft i den egna kommunen och på fråga om hur mycket Sverige bör satsa på olika typer av energikällor under de närmaste 5-10 åren, var satsningen på solenergi och vindkraft det övervägande önskemålet. Kärnkraften tillsammans med kol och olja fick svagast stöd (Norlin, 2000). I samband med vindkraftetablering till havs finns ännu en hel del frågetecken om vilka negativa effekter på fåglar och fiskar som kan uppstå. Samtidigt finns det de som hävdar positiva effekter av att vindkraftfundamenten skulle kunna fungera som artificiella rev.

Det finns undersökningsresultat som gjorts både vid korallrev och i Östersjön, bl a vid Ölandsbron, som visar att organismer kan etablera sig vid strukturer jämförbara med vindkraftfundament. Man har bedömt att det finns möjligheter att gynna den biologiska mångfalden kring vindkraftfundamenten (Malm & Alutain, 2002).

De vindkraftparker som planerats för att byggas den närmaste tiden i Sverige kommer att placeras i egentliga Östersjön. Bottenundersökningar som gjorts i Östersjön visar vilka växter och djur som dominerar i egentliga Östersjön, Bottenhavet och Bottenviken. Man kan anta att de organismer som är anpassade för vissa habitat också kan etablera sig på de vindkraftfundament som placeras i deras livsmiljö (Wibom, 2002). Det finns viktiga fiskarter, både för fiskerinäringen och för ekosystemen, som kan uppehålla sig vid vindkraftparker i kustnära områden både vid reproduktion och uppväxt (Wallin, 2003) och som dessutom skulle kunna gynnas av att man i dessa områden förbjuder trålfiske. Dessa områden kan utgöra skyddade områden i likhet med marina reservat med möjligheter att bilda produktiva refuger.

Man börjar bli mer och mer medveten om behovet av kunskap inför vindkraftetableringen till havs och redan i planeringen av vindkraftparker, i miljöuppföljningsprogrammen, finns avsikten att göra undersökningar som ger nya rön för att utveckla vindkraften och för att få mer kunskap. Behovet finns också av studier under lång tid och vid större vindkraftparker. För att kunna förvalta fiskförekomsten väl, krävs att man vet om reveffekten vid vindkraftfundament innebär ökad fiskproduktion eller attraherar fisk från närliggande rev. Sommaren 2003 kommer man att påbörja fältstudier vid vindkraftverk i Östersjön för att kunna kvantifiera reveffekterna (Öhman, 2002).

Inledning

Under de senaste tio åren har vindkraften byggts ut kraftigt i Sverige liksom i många andra länder. Ett planeringsmål för vindkraft på 10 TWh/år till år 2015 föreslogs i regeringens energiproposition (2001/02:143) och antogs sommaren 2002 (Wizelius, 2003). De goda vindförhållandena gör att produktionen blir 25-50% högre vid etablering i havet än på land varför utbyggnaden till havs förväntas öka. I Östersjön är det framförallt djupen ner till ca 30 meter som är aktuella vilka finns framförallt vid kusterna. Ytterligare föreslagna platser är Finngrund, Hoburgs bank, Norra och Södra Midsjöbankarna i Östersjön samt Västra Hallands Väderö, Lilla Middelgrund och Fladen i Västerhavet. Vad det gäller utsjöbankarna har Naturvårdsverket uppdraget att beskriva naturvårdens intresse och att prioritera med avseende på bankarnas naturvärde. Hoburgs bank, Norra Midsjöbanken, Lilla Middelgrund och Fladen har i en första redovisningsdel (2001-12-20) erhållit högsta prioritet (Westerberg, 2002).

Företaget Eurowind AB vill anlägga en stor vindkraftpark på Kriegers flak i Östersjön, 3,5 mil söder om Trelleborg. Planerna omfattar mellan 180 och 220 kraftverk. Årsproduktionen beräknas till ca 4 TWh. Det motsvarar produktionen från en Barsebäcksreaktor. Framförallt är det yrkesfiskare från Lomma, Limhamn, Klagshamn, Skanör, Skåre, Trelleborg och Gislöv som fiskar på och kring Kriegers flak som oroas över kraftföretagets planer som de tror kan försämra fångstmöjligheterna kring flaket. Projektledaren för vindkraftparken föreslår att parken kan bli en ny biotop som kan främja produktionen av fiskbeståndet både vid kraftverken och på slänterna kring flaket. Fiskarna skulle kunna få större fångster. Yrkesfiskarna är dock även oroliga för det buller som vindkraftverken skapar. Beträffande bullret jämför projektledaren Göran Loman med vibrationer från fartygen som är 10 000 gånger kraftigare än från vindkraftverken (Granath, 2002). Detta är dagens verklighet ur Sydsvenska Dagbladet 2002-12-04.

På ett hårt fiske med allt större och effektivare fiskeredskap har bestånden av de kommersiella fiskarterna minskat. Konkurrenssituation har uppstått mellan yrkesfisket och vindkraften eftersom vindparkerna tar fiskeområden i anspråk. När verken placeras till havs kan fiskarnas lek- och uppväxtområden i uppbyggnadsfasen skadas av fundament och kabeldragningar. Vindkraftverken behöver dock inte bara innebära något negativt för miljön. Fundamenten kan fungera som konstgjorda rev dit fisken dras (Energimyndigheten, 1999). Avsikten är att nya hårdbottnar skapas där organismer, som kräver hårdare substrat, kan kolonisera och sprida sig. De flesta vindkraftparker till havs etableras på mjukbottnar vilket då skulle kunna öka den marina biodiversiteten lokalt (Alutain m fl, 2002).

Projektarbetet gör inte anspråk på att utmytna i en fullständig slutsats utan är gjort mer för att det överskådligt ska gå att urskilja reveffekten, antingen som en möjlig potential vid vindkraftetablering eller inte. På detta sätt belyses dels de forskningsområden som varit i fokus fram till idag och dels de områden där undersökningar helt eller delvis saknas.

1.1 Revfrågan presenterad i olika miljökonsekvensbeskrivningar

Den danska regeringen har hittills satsat mer på vindkraftutbyggnad än den svenska och de senaste planerade anläggningarna omfattar stora vindkraftparker vid Horns rev, Rødsand och Omø Stålgrunde. Grundligt genomarbetade miljökonsekvensbeskrivningar (MKB) har gjorts för dessa anläggningar, dessutom miljörelaterade uppföljningsprogram. I miljökonsekvensbeskrivningarna för man fram möjligheten att vindkraftfundamenten kan fungera som konstgjorda rev. I MKB för vindkraftparken vid Rødsand, som ligger söder om Sjaelland, beskrivs att verken, beroende på fundamenttyp, kommer att täcka en areal på mellan 2,7 och 4,4 ha vilket är <0,2% av det totala vindkraftområdet på ca 2300 ha. Det beräknade bortfallet av bottenfaunan i anläggningsfasen är 250 ton blåmusslor och ca 4 ton (torrvikt) av andra bottendjur; det motsvarar ca 1,1% av den totala biomassan i vindkraftområdet. Det föreslås att fundamenten sannolikt kan fungera som nya substrat för marina invertebrater och kan på så sätt fungera som konstgjorda rev. På mätmastens fundament, som redan finns i vindkraftparken, har 17000-42000 blåmusslor per m² etablerat sig. Det uppskattas att den totala rekolonisationspotentialen för blåmusslor på fundamenten, när vindkraftverken är uppförda, är 560 ton (våtvikt) och skulle därmed överstiga den beräknade förlusten.

Även analyser av de hydrodynamiska förhållandena har gjorts och har visat att förändringar av sedimentsammansättning och strömförhållanden kring fundamenten var begränsade. På grundval av detta gör man ett antagande att bottenfaunan vid Rødsand inte kommer att förändras väsentligt (Kahlert m fl, 2000).

I MKB för vindkraftparken på Omø Stålgrunde i södra Östersjön, innanför Langelandsbält, i bukten norr om Sjaellands södra del, skriver man om de fysiska förändringarna av habitatet som kan uppstå i samband med uppställning av de planerade 72 vindkraftverken. Tillväxten av blåmusselsamhällen förväntas även vid denna vindkraftpark vara större än den mängd som förstörs vid vindkraftetableringen. Vindkraftparkens permanenta påverkan på fiskarterna värderas bli marginell och består i första hand av en begränsning av födotillgång för de fiskarter som särskilt livnär sig på bottendjur från *Macoma*- och *Abras*amhällena men förväntas skapa nya habitat för bl a stenrevsfisk. Liksom i MKB om Rødsand, påpekas att vindkraftverken å ena sidan minskar den för sjöfåglar tillgängliga arealen men å andra sidan skapar nya typer av sublittorala habitat som kan bli livsmiljöer för invertebrater vilka sjöfåglarna kan livnära sig på. Det konstateras att den direkta habitatförlusten, i undersökningsområdet som helhet, är obetydlig för fåglarna i området (Petersen & Clausager, 2000).

1.2 Naturliga rev

Hårda ytor är generellt en bristvara i havet. Många arter, både växter och djur, behöver en fast yta att etablera sig på. De platser där sådana ytor finns är klippiga kustområden, öar och undervattensformationer av olika slag, där strömmar och vågor förhindrar löst sediment att lagras. Korallrev är ett exempel på naturliga rev som byggs upp av levande organismer men alla typer av hårda ytor koloniserar snabbt av olika arter och ger upphov till rika ekosystem. Dessa besöks i sin tur av olika vandrande arter i jakt på skydd och föda. Den allra största delen av havsbottenarna består av olika typer av löst sediment (sand, lera etc) (Tidlund, 2003).

1.3 Artificiella rev

Man har alltid känt till att naturliga rev ger förutsättningar för en hög biodiversitet men fiskare i hela världen har sedan lång tid också uppmärksammat att när ett fartyg förliser så skapar vraket en ny bottenstruktur som gynnar fisket och det marina livet. På 1700-talet upptäckte japanska fiskare att när gamla trävrak brutits ner försämrades fisket och man kom på att om man bättrade på de gamla vraken och sänkte ner nytt trävirke med hjälp av stenar, blev fisket bättre. Idag sänker japanerna enorma hundratals meter långa specialbyggda betongkonstruktioner till gagn för olika matfiskar och utanför 1/5 av den japanska kuststräckan ligger numera konstgjorda rev (Öhman, 2002). Liksom i Japan har även Indien använt artificiella rev i århundraden. Nuförtiden används de även för sportdykning, habitatrestaurering, vetenskaplig forskning, som vågbrytare och för att bli av med fast avfall (Moberg & Rönnbäck, 2002). I Östersjön, längs polska och baltiska kusterna, har rev byggts för att öka mångfalden och förekomsten av fisk (Alutuin m fl, 2001). I slutet av 1980-talet hade 29 länder i världen etablerat artificiella rev vilka sjösatts för fiskets skull. 1987 fanns över 7300 artificiella rev (Petersson, 2000). I Florida har tekniker utvecklats att reparera korallrev som då i viss utsträckning kan kallas artificiella. Det är korallrev som förstörts av mänsklig påverkan. Reparationerna går till så att man räddar svampdjur och koraller, tar bort skräp från reven, återuppbygger nya tredimensionella strukturer och transplanterar svampdjur och koraller tillbaka till de behandlade reven (Jaap, 2000).

Det är ofta hård konkurrens mellan organismer om fria hårbottenytor, eftersom många organismgrupper är beroende av en yta för att kunna etablera sig. Det gäller både för sessil (fastsittande) fauna som t ex havstulpaner, många havsborstmaskar och för andra organismer som t ex alger. Efter att organismerna fått fäste på ytor fortsätter djur och växter att etablera sig och med tiden utvecklas ett komplext organismsamhälle. Man har iakttagit att sessila organismer etablerat sig på oljeplattformer i Nordsjön (Petersson, 2000). Nya system kan innehålla några få arter som tål näringsfattiga förhållanden. Ytterligare utveckling resulterar i att ett större antal arter etablerar sig, vid senare stadier i utvecklingen är artrikedomen intermediär och domineras av långlivade arter som är anpassade för att konkurrera om tillgänglig föda och plats (Thom, 1997). De arter som har samtidig reproduktion med att en fri yta blir tillgänglig, har den största chansen att kunna etablera sig. De arter som kommer senare får det svårare eftersom platsen redan är upptagen. Olika samhällen kan alltså etableras beroende på när ett

substrat blir tillgängligt. Studier har visat att det initiala organismsamhället kan ha liten effekt på framtida organismsamhällen (Alutain m fl, 2001). Det är viktigt att det finns till habitatet anpassade arter så pass nära det artificiella revet att åtminstone någon eller helst all återetablering kan ske naturligt (Cairns Jr, 2000).

1.4 Attraktion eller nettoökning av fiskbiomassa

En bakomliggande logisk grund för att utveckla artificiella rev är att dessa kan tillföra viktiga habitat som ökar miljöns bärkraftighet och eventuellt revfiskförekomst och -biomassa. Karga och oproduktiva substrat förändras till högproduktiv miljö (Bohnsack, 1989). Fiskeriverket har i ett PM, "Kunskapsläget vad det gäller den havsbaserade vindkraftens effekter på fisket och fiskbestånden", påpekat det viktiga i att ta reda på om fiskarna ökar lokalt kring reven p g a att de befintliga fiskbestånden koncentreras eller om det sker en nettoökning av fisk. Är det enbart fråga om en koncentration kan det leda till utfiskning, om fiske kommer att bedrivas i området. Artificiella rev som producerar betydande ny biomassa skulle i annat fall vara av nytta bl a för fiskerinäringen (Westerberg, 2002). Naturvårdsverket gör liknande reflektioner kring artificiella rev som Fiskeriverket. Det finns bara några studier som rumsligt och tidsmässigt utförts i större skala vilket gör att de egentligen är för få för att urskilja effekt från naturlig variation och svara på frågan om artificiella rev verkligen producerar mer fiskbiomassa eller bara lockar till sig fisk.

Den enda studie som gjorts på havsbaserat vindkraftverk och dess effekter på fisk är vid ett enstaka vindkraftverk, Svante I i Nordersund av Westerberg (1994). Studien visade inte säkert om den observerade fiskförekomsten enbart var en anlockning till strukturen (stålkonstruerat trebensfundament) eftersom uppgifter om fisktäthet innan etablering av verket saknades (Westerberg, 1994). Enligt Westerberg muntligen (2002) förekom en ackumulation av fisk vid strukturen när vindkraftverket var avstängt. När vindkraftverket var igång, minskade fisktätheten vid strukturen till samma täthet som i de runt vindkraftverket omgivande vattenmassorna.

Det kan få negativ inverkan på fiskreproduktionen om fundamenten lockar till sig större rovfiskar även i ett större område (Westerberg, 2002). Man har iakttagit att predatorer, vid artificiella rev, motsvarade tillgången till byten dock kan revens komplexitet mildra predationen genom att innehålla fler refuger och på så sätt minska predatorns jakteffektivitet (Bohnsack, 1989). Andra organismer, t ex parasiter, som kan ha en negativ inverkan på andra djur, kan lockas till de artificiella reven (Pettersson, 2000).

Beteendestudier har visat att fisk föredrar att röra sig mot en skugga för att de då kan se bättre i de omgivande upplysta vattenmassorna och avgöra om det finns någon predator eller byte i närheten. Några fiskarter använder strukturer för att orientera sig och navigera. Nyfikenhet kan vara en orsak för några arter att uppsöka de artificiella reven. Med få undantag så har fisktätheten, biomassan och fångsterna ofta varit större vid artificiella rev än vid naturliga rev. Studier har visat att fisk flyttat sig från naturliga till artificiella rev vilket pekar på att fisk möjligen föredrar de artificiella reven (Bohnsack, 1989).

I Japan tillfördes strukturer till mjukbottenar som ökade tillgänglighet till refuger. Detta resulterade i ökade bläckfiskfångster. Studien visade att om en art begränsas av tillgänglighet till refuger så kan ett konstgjort rev med passande refuger öka regional produktion med påföljande ökning av fångster (Grossman m fl, 1997). Vid Floridas kust byggde man rev i tre olika material för att studera hur fisk ansamlas kring dessa. Förundersökningar hade visat ett sandbottenområde med en fåtalig fauna och efter två år, med de nya revkonstruktionerna, innehöll området minst 146 fiskarter med bl a många kommersiellt värdefulla arter. Räkning av fisk före och efter i undersökningsförloppet tydde på att ökningen inte åstadkoms på bekostnad av närliggande populationer. I de jämförelsetest man utfört med testpunkter på näraliggande hårbottenar, brygga och de artificiella reven talar resultaten mot att det enbart skulle röra sig om aggregation (Walker m fl, 2002).

Enligt Pettersson (2000) antas vindkraftfundament kunna fungera som refuger för flera arter om restriktioner mot fiske införs. Data från 19 marina reservat har visat att skyddade marina områden ökar artrikedomen. Gemensamt för reservaten var en liten men signifikant ökning (11%) i antalet fiskarter inom de marina reservaten. Inom de marina reservaten jämfört med närliggande områden utanför reservaten, förelåg generellt en ökning av fiskförekomst, dock inte signifikant. Förekomsten av de kommersiella fiskarterna var betydligt högre (28%) inom reservaten. Reservatens mer varierande effekt på fiskförekomsten kan ha att göra med hur intensivt fisket bedrivs utanför och på fiskarsammansättningen inom (Côté m fl, 2001). Avstånd från grundpopulationerna (source populations) kan ge effekt på de bofasta fiskarnas förekomst vid de konstgjorda reven. Även abiotiska faktorer som strömförhållanden (Grossman m fl, 1997), salthalt, temperatur, isförhållanden, bottenpografi samt biotiska faktorer som konkurrens och predation kan påverka kolonisation och den slutliga förekomsten av alg- och djurarter (Alutoin m fl, 2001).

1.5 Revkonstruktioner och organismsamhällen

200 meter från stranden, i ett sandbottenområde vid Miami Beach i Florida i USA, placerades nära varandra, på sju meters djup, tolv artificiella rev i havet som bestod av tre olika material (fyra vardera). Vid dessa konstruktioner skulle man undersöka vilken inverkan på omgivande organismer som de olika materialen hade. Reven var byggda av (1) kalkstenblock från stenbrott, (2) kompakta tetraeder av grus och (3) kompakta tetraeder av däck. Undersökningen genomfördes med hjälp av dykare som bl a registrerade förekomst av hummer och fisk, dessutom arter och längd av fisk. Detta skedde varannan månad från oktober 1998 till februari 2001. Man fann ingen signifikant skillnad på total förekomst av fisk och hummer eller fiskbiomassa vid jämförelse mellan de tre revtyperna. Inte heller fanns tecken på att det var någon skillnad mellan reven hur fisk ansamlades kring dem. Förekomst och artrikedom av fisk fluktuerade dock, ökade på sommaren och minskade på vintern. Resultatet av undersökningen visade att kompakta ansamlingar av antingen däck- eller grustetraeder var stabila och kan användas lika effektivt som kalkstensblock till artificiella rev och för att öka förekomst och artrikedom av fisk. Olika resultat har uppnåtts när man använt samma revdesign vid olika djup eller olika latituder varför försiktighet rekommenderas när man för in nya material och artificiell revdesign i ett område (Walker m fl, 2002).

Ölandsbrons pelare (Bilaga 1) har studerats för att se hur pelarnas ytor koloniserats av alg- och djurarter, anpassade för ett liv på hårda bottenar (Malm & Alutoin, 2002). Bron ligger i centrala Östersjön (i Kalmarsund) där bottenarna i huvudsak består av mjukbottenar med spridda steniga områden varför pelarna bidrar med en betydlig mängd hårdsubstrat. I allmänhet gynnar mjuka ytor etablering av trådalger medan en hårdare yta gynnar perenna alger sådana som *Fucus* spp (Alutoin m fl, 2001). En serie olika ytor av olika åldrar har skapats av att pelarna de senaste tio åren successivt har renoverats. Nya ytor har funnits tillgängliga att kolonisera för arter som just då förökade sig, t ex algsporer, ägg eller larver från musslor och havstulpaner. Kvantitativa prover från de vertikala ytorna av de bentiska organismerna på pelarna samlades på två djup, 1,5 och 3,5 meter, av dykare. För att få jämförelse med de naturliga bottenmiljöernas struktur, togs prover från vertikala ytor på fem stenblock i anslutning till bron. Det gjordes under tre veckor, sommaren 2001. Proverna sorterades efter arter eller artgrupper och antal, därefter bestämdes de olika arternas och artgruppernas biomassa (Alutoin m fl, 2001).

Organismerna koloniserade i en förutsägbar ordning och ersatte varandra fram till ett samhälle som karaktäriserades av små förändringar som dominerades av blåmusslor, havstulpaner och fintrådiga ettåriga brun- och rödalger. Skillnaderna i samhällsstrukturen mellan stenblocken och bropelarna var att det saknades fleråriga algar som blåstång (*Fucus vesiculosus*) och kräkel (*Furcellaria*) på bropelarna. För de fleråriga algarterna krävs det mer eller mindre horisontella ytor som inte finns på bropelarna. Ändå innebär förekomsten av bropelare att variationen i miljön ökar. Hårdbottenytorna ökar likaså jämfört med den bottenyta som pelarna upptar. Även om mängden alg- och djurbiomassa inte var hög, innebar dessa nya ytorna totalt sett större biologisk mångfald (Malm & Alutoin, 2002). På pelarna var organismsamhällena mer homogena än de mer heterogena grupperna på stenblocken vilket kan bero på de naturliga substratens större variation (Alutoin m fl, 2001).

Vad det gäller blåstången (*Fucus vesiculosus*) har mängden porer, hål och sprickor i substratet en större betydelse för etableringen än substratets kemiska sammansättning. Graden av vågexponering förändrade skillnaden mellan olika substrat för etableringen. Blåstången växte tätare på sandsten jämfört med granit och amfibolit på kraftigt vågutsatta platser, däremot var skillnaderna obetydliga på vågskyddade platser (Malm & Alutoin, 2002).

1.6 Havsbaserad vindkraft och andra störningar på bentiska organismsamhällen

Öster om Sjaelland, nära Samsø i Kattegatt, ligger Tunø Knob (TK) vindkraftpark med tio vindkraftverk. Den uppfördes 1994-95. Vid den här parken gjordes en studie för att ta reda på om en liten vindkraftpark kan ha miljöstörande konsekvenser för övervintrande sjöfåglar. Kontrollområde var Ringebjerg Sand (RS) som ligger på ön Samsøs kust. Detta område jämfördes med TK under året 1994-95 (före etablering = basåret) och några år efter vindkraftparken hade byggts. Resultaten visade att förekomsten av ejder, *Somateria mollissima*, var lika på båda platserna under basåret och minskade sedan stadigt vid TK 1995-96 och 1996-97. Däremot ökade förekomsten av ejder vid RS 1995-96 och minskade 1996-97 till samma nivå som basåret. Skillnaden mellan TK och RS, i förekomst av ejder, kan bero på skillnaderna i födotillgången på de olika platserna. Studierna omfattade också sjöorre, *Melanitta nigra*. Vad beträffar dessa förekom ungefär lika många basåret som 1997-98 men antalet var mindre både 1995-96 och 1996-97.

Jämsides tog man reda på hur födotillgången förändrades i områdena. Det visade sig att små och mellanstora blåmusslor, *Mytilus edulis*, som ejdrarna föredrar, förekom i stora mängder vid TK under basåret men minskade andra året och var nästan borta 1996-97. Från 32,4% 1996-97 i förekomst-frekvens ökade de till 67,6% 1997-98 men blev inte lika mycket som under basåret (85,3%). Vid RS fanns det gott om blåmusslor under basåret och 1995-96. 1996-97 hade förekomsten minskat något.

Generellt ökade födotillgången för ejder 1997-98 jämfört med de två åren efter vindkraftetableringen men nådde inte förekomstnivån som observerats under basåret. Huvudsakligen berodde det på att den förekomst av biomassa av små och mellanstora blåmusslor (3-40 mm) inte uppnåddes som fanns under basåret. Blåmusslornas biomassa var omkring 3,9 kg/m² under basåret och minskade stadigt till omkring 1,2 kg/m² 1997-98. Summerad biomassa för små och mellanstora blåmusslor visade att det fanns omkring 300 g/m² under basåret och omkring 120 g/m² 1997-98. Ett år med så bra tillgång till blåmusslor som basåret kan betraktas som ett toppår i blåmusslornas reproduktion och innebar mat i överflöd för ejdrarna. Det är typiskt för musselpopulationer att ha stora årsvariationer när det gäller reproduktionen, med 2-5 år mellan topparna.

Prover samlades av alla bentiska arter eller artgrupper vilka skulle kunna utgöra potentiella byten för sjöfåglarna. Generellt iaktogs att förekomstfrekvensen minskade från basåret till 1996-97 och sedan ökade igen till 1997-98 (Bilaga 2). Snäckor och tvåskaliga musslor ökade 1997-98 jämfört med 1996-97 medan tagghudingar och kräftdjur förblev i lågt antal eller minskade. De tvåskaliga musslorna ökade tydligt 1997-98 genom att nå samma täthet som under basåret medan snäckorna mer än fördubblades. Blåmusselpopulationerna minskade och ökade synkront med tvåskaliga musslor i studieområdet.

Det fanns inga belägg för att störning uppstod i närheten av vindkraftparken eftersom ejdertätheten 1997-98 var jämförbar med basåret, då det inte fanns någon vindkraftpark. Detta stöder antagandet att vindkraftparken inte var orsaken till den observerade minskningen av sjöfåglar efter vindkraftetableringen. Antagandet stöds också av observationen som visade att de bentiska organismsamhällena minskade som en följd av antalet fåglar. Man bedömer att det behövs en utvärdering av förekomst och distribution av födotillgången för att kunna göra en pålitlig miljökonsekvensbeskrivning på förekomst och distribution av sjöfåglar vid vindkraftparker till havs (Guillemette, 1999).

I bentiska organismsamhällen kan störningar ha en nyckelroll. Studier har gjorts där man undersökt störningseffekter av upprepad avyttring av muddermassor i olika succession av organismsamhällen. Successionen delades in i olika stadier; stadie 1, stadie 2 och stadie 3. Det visade sig att när muddermassor avyttrades ändrades samhället från stadie 3 till stadie 1 eller 2. I studien visades att produk-

tionshastigheten och de dominanta arter som finns i stadie 1 eller 2 kan vara mer önskvärda för att tillhandahålla byte för fiskerinäringen. Om målet skulle vara att öka fiskeresurserna borde avsikten vara att bibehålla organismsamhället i stadie 1 eller 2 (Thom, 1997).

1.7 Östersjön – sublittoral växter och djursamhällen

Djup ner till 25-30 m är de djup som är mest aktuella för havsbaserad vindkraft (Bilaga 3). Vindkraft-projektörerna strävar efter att etablera vindkraft på så grunda bottnar som möjligt eftersom det idag är mest ekonomiskt. I stort sett alla bottnar i brackvattenhavet^{1*} Östersjön, under 25-30 meter, består av mjukbottnar. Bottnarnas material varierar på djup mindre än 25 meter men är ofta mjukbottnar som t ex i skyddade vikar. Levande organismer finns i sedimentets ytskikt, ca 5-7 cm (Widbom, 2002).

Många faktorer avgör växt- och djursammansättningen i Östersjön. Förutom påverkansfaktorer som föroreningar och övergödning, vilka man de senaste åren uppmärksammat, finns det de naturliga. De storskaliga skillnaderna i artsammansättning och dominansförhållanden beror huvudsakligen på skillnader i salthalt och klimat som förändras längs en gradient från söder till norr (från 54°N till 66°N). Salthalten i ytvattnet är 10 psu^{2*} i södra egentliga Östersjön och ca 2 psu i den nordligaste delen av Bottenviken. Den snabba minskningen av salthalten från omkring 5 psu till omkring 3,5 psu, i gränsen på Bottenhavet till Bottenviken, sätter norra gränsen för många marina arter. Det hårda klimatet, låg instrålning under vintern samt istäcke över nästan halva året gör denna del av Östersjön improduktiv.

Inom ett givet område, styrs artsammansättningen främst av substrattypen, vågpåverkan och ljuset. På ett visst djup kan interaktioner mellan arter ha strukturell betydelse men beroende på den låga biologiska mångfalden i Östersjön så finns det endast några få möjliga samhällstyper. Samma typer av organismsamhällen kan förväntas vid varje plats även över tidsperioder som överskrider de individers livstid som utgör sammansättningen i samhällena. Konkurrens om plats är den vanligaste typen av interaktion.

Biomassans medelvärde kan vara samma i Östersjön som man kan finna vid den svenska västkusten men den maximala biomassan/m² är väsentligt större i de mer marina miljöerna. I egentliga Östersjön kan man finna mest biomassa i de södra delarna och runt Gotland (Bilaga 4). Det kan bero på den något högre salthalten längre söderut men runt Gotland på låg grumlighet i vattnet som gör det möjligt för växtligheten att etablera sig djupare.

I egentliga Östersjön dominerar röda och bruna alger och de flesta växter är perenna och marina. Den filtrerande blåmusslan utgör här ca 90% av djurbiomassans torrsvikt. Därefter dominerar djurbiomassan av suspensionsätare, *Macoma balthica* och depositionsätare, Hydrobiidae. Dessa dominerar även i Bottenhavet. I Bottenhavet finns övervägande gröna alger (speciellt *Cladophora* spp.) och där är det vanligare med ettåriga växter. De marina djuren bidrar också till en betydande del av biomassan i Bottenhavet. I Bottenviken finns främst fanerogamer och sötvattensväxter. Här dominerar de ettåriga växterna som betas av snäckor som framförallt finns här. *Ephydatia*, filtrerande organism, förekommer i Bottenviken utom vid flodmynningarna, där man finner sötvattensmusslan *Anodonta* spp.

I hårbottensamhällena i egentliga Östersjön finns ofta ett grönt algbälte vid vattenytan ner till omkring 0,5 meters djup på sommaren. Därefter dominerar ett blåstångssamhälle, *Fucus vesiculosus*, och algerna har ofta en epifytisk påväxt av röda och bruna, trådiga alger. *Fucus vesiculosus* och *Fucus serratus* är de enda stora, strukturgivande algerna som man kan finna längs de svenska kusterna. *Fucus*-samhället ersätts vid omkring 3-7 meters djup av bl a rödalgen *Furcellaria lumbricalis* och djupare ner av *Rhodomela confervoides* och *Phyllophora* spp. *Fucus*-samhällen försvinner fortfarande längs den svenska kusten i egentliga Östersjön medan den återetableras i andra områden men återetableringen går långsamt, möjligen på grund av platsbrist. Blåmusslan uppträder rikligt i *Fucus*-bältet (Kautsky, 1993). Den finns nära vattenytan, på vertikala ytor, och djupare ner, där inte *Fucus* finns. Blåmusslan kan forma täta mattor på horisontala ytor och dominerar helt i rödalgsamhällena (Kautsky, 1980). På bottnar som består av grus och substrat av finare sand etablerar sig fanerogamerna (Kautsky, 1993).

På havsbaserade vindkraftverk kan man förvänta sig etablering av liknande alg- och djursamhällen som finns på hård- respektive mjukbottenarna, enligt gradientindelningen av Östersjön. (Widbom, 2002).

Ytterligare orsaker som kan påverka artsammansättning och produktion inom de phytobentiska organismsamhällena är erodering och omrörning av bottensedimenten p g a ökad vattenrörelse. Vattenrörelse kan förändras av t ex omfattande fartygstrafik och omrörda sediment kan uppstå av trålning samt vindkraftetablering. De omrörda sedimenten avger näring som ökar primärproduktionen och förekomsten av trådiga alger. Dessutom förändras hårbottenarna av att de omrörda finare sedimenten flyttas. (Kautsky, 1993).

1.7.1 Blåmussla (*Mytilus edulis*)

Livsmiljön för blåmusslan i havet är stenar och skal på sandiga bottenar på ett vattendjup från 0-10 meter längs hela Östersjöns kuster. Om de får sitta kvar på samma ställe under två år ökar påväxten av andra organismer. De kan bilda stora musselbankar. Levande och döda musslor kan ha en positiv effekt genom att locka till sig mycket krabbor och fisk, främst plattfisk. Eftersom våra kustvatten göds av för mycket näringsämnen görs undersökningar huruvida blåmusselodlingar skulle kunna ge positiva effekter på vattenmiljön. Blåmusslorna livnär sig på plankton och man menar att de därigenom tar upp mycket näringsämnen, som sedan förs bort från havet när musslorna skördas (Johannesson, 1999).

1.7.2 Blåstång (*Fucus vesiculosus*)

I Östersjön är blåstången den enda stora alg som på grunt vatten kan bilda täta bestånd. Dess livsmiljö är på klippor och stenar i havsmiljöer och i skyddade flodmynningar. Den har stor betydelse för djurlivet i Östersjön. Ingen annan miljö i Östersjön har så stor rikedom på arter och individer som blåstången. Där kan man bl a hitta musslor, snäckor, havsborstmaskar, virvelmaskar, gråsuggor och räkor. Bara på en enda planta kan man finna flera hundra individer av en del av dessa organismer (Johannesson, 1998). Blåstången utgör också en viktig yngelplats för många fiskar. Det finns möjlighet att transplantera blåstång, vilket forskare vid Stockholms universitet har provat (Öhman, 2002).

2.1 Vindkraftfundament

Vid vindkraftetablering till havs utgör vindkraftfundamenten de möjliga revstrukturerna. Det finns fyra typer av fundament; gravitationsfundament av betong och av stål, monopilefundament av stål och trebensfundament.

2.1.1 Gravitationsfundament i betong

Fundamenten gjuts i torrdockor nära platsen för kraftverket och bogseras därefter ut till platsen där vindkraftverket ska ställas upp. Där fylls de med sand och sten tills de uppnått den vikt som krävs. Betongfundamenten är ofta konformade för att kunna bryta packis som lätt kan bildas i Östersjön under kalla vintrar. Dessa har bl a använts i vindkraftparkerna i Vindeby och Tunø Knob i Danmark. Man brukar inte använda betongfundamenten på djup över 10 meter då konstruktionerna blir väldigt tunga och kostnaden ökar med djupet (Olofsson, 2001). De kan ha en diameter på 16-18 m (Niklasson, 2003).

2.1.2 Gravitationsfundament i stål

Fundamenten konstrueras så att det istället för betong används en stålcylander placerad på en ställåda. De byggs på land och eftersom de är förhållandevis lätta, betydligt lättare än betongfundamenten, går det att transportera och installera flera fundament på kort tid. Den slutliga vikten måste komma upp i ca 1000 ton för att kunna stå emot is och vågor och därför fylls fundamenten med olivin som är ett högdensitetsmaterial. På havsbottenen gör man en jämn horisontell yta av t ex singel innan fundamenten placeras. Man brukar lägga stenblock runt kanten på basen för att skydda mot erosion. En typisk storlek placerad på 4-10 meters djup är 14 x 14 m eller 15 m i diameter. Kostnaden för dessa fundament ökar inte med djupet på samma sätt som för betongfundamenten.

2.1.3 Monopile- eller pålfundament

Detta är en enkel konstruktion. Pålen har en diameter mellan 3,5 och 4,5 meter som drivs ner 10-20 meter i havsbotten med en pålningsutrustning. Det är bra om vindkraftverken ska placeras där det är så lite stenblock som möjligt på havsbotten så att man slipper borra hål för pålen. Kostnaden påverkas av om konstruktionen måste anpassas till ovanligt mycket packis eller om trycket från vågorna förväntas bli högt.

2.1.4 Trebensfundament

Konstruktionen består av en stålram som fördelar kraften från turbinen på tre ben. I varje hörn sitter en påle som sätts ner 10-20 meter i havsbotten. Pålarna är ca 0,9 meter i diameter. Trebensfundamentet används lämpligast på djup som är över 6-7 meter. Nästan inga förberedelser behövs före installationen men liksom monopilefundamenten är de bäst att använda där det är inte finns så mycket stenblock.

Vid ett vattendjup på 8 m i Östersjön skulle förmodligen ett vindkraftfundament i stål bli det mest kostnadseffektiva (Olofsson, 2001). Dock har inte kostnaden för ett betongfundament beräknats.

2.1.5 Exempel

Gravitationsfundament av betong har bl a använts vid vindkraftparkerna vid Rødsand och Tunø Knob (Bilaga 5).

En ny typ av gravitationsfundament av stål har tillverkats i Danmark för att användas vid fyra nya vindkraftverk på vardera 3,0 MW vid Fredrikshavn (Bilaga 6). Det är ett 135 ton tungt fundament som har formen av en uppochnervänd flaska som ska sugas ner i havsbotten med hjälp av vakuum (Thomsen, 2002).

Vindkraftverken vid Bockstigen vid Näsudden på Gotland har monopilefundament. Vid uppförandet av dessa var man först tvungen att borra ett 8-10 meter djupt hål rakt ner i berggrunden, innan fundamenten kunde sättas ner (Bilaga 7).

Det enda trebensfundamentet i Östersjön står i Nordersund, under vindkraftverket Svante I, det första havsbaserade vindkraftverket i världen (Bilaga 8).

2.1.6 Klasården

Inför ett utökat samråd som avser en ändring av vindkraftanläggningen Klasården i Östersjön vid Näsudden på Gotland har man i underlaget gjort beräkningar vid presentationen av ändringen. Man vill, istället för 21 vindkraftverk à 2 MW, i nuläget uppföra 16 vindkraftverk à 2,75 MW på ett område som omfattar 2,9 km². Man har jämfört mellan gravitations- och monopilefundament och aktualiserat frågan om eventuella reveffekter skulle kunna skapas. Betongfundamenten kommer uppta en större bottenyta än en anläggning med pålfundament, sammanlagt beräknas ytan utgöra ca 4000 m² resp ca 500 m² för de 16 vindkraftfundamenten.

Man avser att skapa nya hårbottenytor, dels genom att göra ett erosionsskydd i form av stenar runt varje fundament och dels av konen på själva fundamenten. De lutande ytorna på betongfundamenten beräknas utgöra totalt ca 5000 m² i ett medeldjup på 10 m och med en bottendiameter på 16 m (Vindkompaniet, 2002). Mantelytorna på pålfundamenten om man räknar med 4,5 m i diameter beräknas till ca 2000 m². Om man räknar på ett cirkulärt gravitationsfundament i stål, med en diameter på 15 m, blir mantelytan ca 7500 m². Räknar man på ett trebensfundament och enbart på dess pålar (inte på stålramen), under samma förutsättningar, blir ytan ca 1400 m².

Det blir gravitationsfundament av betong som kommer att användas vid Klasården (Niklasson, 2003). Ny hårbottenyta blir ca 5000 – 4000 m² = 1000 m². Utöver detta byggs erosionsskyddet. Dessa hårda ytor kommer tillsammans att bilda konstgjorda rev. Den lite ojämna ytan på betongfundamenten kan förväntas vara mer lik en naturlig hårbottenyta än ytorna på stålfundamenten.

2.1.7 Horns rev

Horns rev ligger väster om Jylland i Nordsjön och där har nyligen hittills världens största vindkraftpark med 80 vindkraftverk byggts och satts i drift. Vindkraftparken täcker ett område på 27,5 km². Fundamenten består av monopiles. Runt varje verk har man lagt två lager granit av olika kornighet som erosionsskydd. Höjden är minst 1,3 m. Stenlagren består av "filtersten" med storleken 0,03-0,2 m, och däröver täcksten med storleken 0,350 – 0,550 m. Fundamenten inklusive erosionsskydd täcker en yta på ca 14500 m². Själva erosionsskyddet utgör en yta på ca 13500 m². Dessutom har man lagt stenar som kabelskydd vid varje verk, det blir ca 5000 m² till (Bilaga 9) (Nybo Jensen, 2003). Därtill kommer pålfundamentens mantelyta på ca 12000 m². De nya hårbottenytorna med vertikala och horisontala ytor blir totalt 30500 m² vilket är ca 0,1% av hela vindparksområdet (Bilaga 10).

I området har bedrivits ett visst industriellt trålningsfiske, bl a efter skarpsill, men i och med byggandet av vindkraftparken blir området fredat enligt miljökonsekvensbeskrivningen, där det står att trålfiske inte kommer tillåtas i vindkraftparken eller vid kablarna som går till stranden (www.hornsrev.com, 2000).

2.2 Planerad svensk offshore i Östersjön (Bilaga 11)

Klasården (1), är ett projekt med 16 vindkraftverk som Vindkompaniet planerar att bygga. Vindkraftverken beräknas kunna ge 140 GWh el per år eller nästan lika mycket som de 150 vindkraftverk som idag producerar el på Gotland. Ändrade planer från 21 vindkraftverk à 2 MW till 16 vindkraftverk à 2,75 MW har gjort att miljötillstånd har måst sökas på nytt (Bengtsson, 2002).

På Utgrunden (3) står redan en vindkraftpark med sju verk som varit igång sedan mars 2001. Nu planerar företaget Airicole att bygga ytterligare 14-28 vindkraftverk där. Dessa kommer ha en effekt på över 10 MW varför anläggningen kräver regeringens tillåtlighetsprövning. De kommer att byggas där det är 15-25 m djupt. Högskolan i Kalmar har vid en tidigare undersökning funnit 15 olika arter av bottendjur, bl a musslor, maskar och kräftdjur på platsen. Det finns alger på grundets ås, annars saknas bottenvegetation vilket i sin tur begränsar fiskförekomsten. Av hela Östersjöns knubbsälsbestånd finns två tredjedelar i södra Kalmarsund och förflyttar sig tidvis inom det planerade vindkraftområdet (Nilsson, 2002). Airicole undersöker förutsättningarna för att bygga vindkraftparker även vid:

Nordöstra Öland (2), 37 vindkraftverk med effekt på 140 MW
Sydöstra Öland (4) 70 MW, 21 verk med effekt på 70 MW
Södra Öland (5), 50 verk med effekt på 180 MW
Norra Midsjöbanken (6), 79 verk med effekt på 280 MW
Södra Midsjöbanken (7), 227 verk med effekt på 820 MW
Blekingeparken (8), 30 verk med effekt på 100 MW
Barsebäck (10), 30 verk med effekt på 110 MW
Smygehamn-Abbekås (12), 28 verk med effekt på 100 MW (www.airicole.com, 2002).

Vattenfall har sökt tillstånd att bygga vindkraftparken Karlskrona offshore (9) med fem vindkraftverk som vardera ska ha en effekt på 3,5 MW. De kan totalt ge 55 GWh el. Tillstånden kan vara klara hösten 2003 eller våren 2004. Detta handlar mer om ett pilotprojekt som ska ha syftet att ge mer kunskap och där ny teknik provas (Bengtsson, 2002).

Eurowind har fått regeringens ja till Örestads vindkraftpark (11) vid Lillgrund. Det kommer bli en vindkraftpark med 48 stycken verk med 1,5 MW:s effekt, dessa beräknas ge 300 GWh. Dock är inte alla tillstånd riktigt klara ännu, arbete pågår att bestämma de slutgiltiga villkoren i domstolen. Det finns en stor optimism när det gäller utbyggnad av vindkraft till havs och på en del platser är det flera projektörer som står på kö som t ex vid Kriegers flak (13). En av dem är företaget Eurowind som börjat undersöka möjligheterna att bygga. Kriegers flak ligger ca 3,5 mil söder om Trelleborg. Ytan där möjliggör en vindkraftpark med 200 verk. Om verken skulle ha en effekt på 5 MW skulle det kunna ge en elproduktion som ett mindre kärnkraftverk eller 3,5 till 4 TWh/år.

De vindkraftparker som planeras i Sverige kommer att övervägande installeras i egentliga Östersjön. Vid vissa provtagningsplatser längs Östersjön har bottenfaunan undersökts. Man har tagit reda på biomassan totalt vid de olika provplatserna och i procent, hur de olika växt- och djurgrupperna representeras. De provplatser man kan jämföra med för att förutsäga vilka organismer som skulle kunna hitta sin livsmiljö på vindkraftfundament som kommer placeras i egentliga Östersjön är Torhamn, Gotland och Västervik (Bilaga 11 och 12). På dessa ställen representerar brunalgerna den största biomassan av växtgrupperna, därefter kommer rödalger. Blåmusslorna dominerar överlägset av djuren men sedan dominerar detritivorena då man tagit bort blåmusslorna från proverna. De mest förekommande är Hydrobiidae-snäckorna och suspensionsätare som hjärtmusslorna, *Macoma balthica* (Kautsky, 1993).

Några av de kommersiellt viktiga fiskarterna som kan tänkas gynnas av konstgjorda rev i form av vindkraftfundament på dessa platser är:

Sill/strömming, piggar och skrubbskädda – Både lek- och uppväxtområde.

Torsk, rödspotta och sandskädda – Uppväxtområde. Leken sker under haloklinen.

Havsöring och lax – Uppväxtområde. Leken sker i sötvatten.

Skarpsill – Uppväxtområde, dock är skarpsillen i större utsträckning än strömmingen en pelagisk fisk.

Äl – Kan passera områden med vindkraftparker vid lekvandring och/eller vandring till uppväxtområden.

Det finns förmodligen en mängd ytterligare arter som kan tänkas uppehålla sig i dessa områden och även reproducera sig i miljöer där vindkraft etableras. Dessa arter kan ha en stor betydelse i ekosystemet även om kunskaperna omkring dem är sämre än om de kommersiella arterna (Wallin, 2003).

3.1 Slutsats

Vindkraftfundament tillsammans med stenar som läggs på för erosions- och kabelsskydd kan fungera som artificiella rev. Det är dock en relativt liten del av ett vindparkområde som förses med revstrukturer (Malm & Alutain, 2002). Dock är det en förbättring att nya, både vertikala och horisontella ytor skapas som gynnar etableringen av viktiga arter, som till exempel blåstång. Viktigt är att bilskröt, plast och annat skräp inte används som revstrukturer, även om det kanske attraherar fisk, eftersom detta kan börja läcka giftiga ämnen i och med rost- och frättningsprocesser vilket inte gynnar de samhällsbyggande arterna (Moberg & Rönnbäck, 2002).

På större djup med mjuka bottenar, å ena sidan, finns bara fyra-fem arter som är allmänna. Om vindkraftfundamenten placeras där påverkas inte unika områden utan kan snarare tillföra något. Bottenarterna på utsjöbankarna i Östersjön, å andra sidan, består av sten och grus från gamla isälvsavlagringar och svallad morän. Detta är ett mer eller mindre rörligt substrat som förs fram och åter av vågor och strömmar. Här kan artsammansättningen vara unik och även om det handlar om få arter är de mycket väl anpassade att leva just i dessa speciella områden. På sådana områden är det viktigare att inte ersätta substratet med fast hårdbotten (Kautsky, 2002).

Det kan finnas fler möjligheter att gynna den biologiska mångfalden kring vindkraftfundamenten om man vet betydelsen av ytstrukturen och revets form. Olika arters möjlighet att etablera sig kan bero på ytstrukturen (Malm & Alutain, 2002).

Möjligheten finns att vindparkområdet med de artificiella reven och förbud mot trålfiske ökar fiskproduktionen genom att fungera som ett fredat område där reproduktion och uppväxt kan fortgå utan att bottenarna förstörs av fiske med trål.

Genom att bygga revstrukturer, till exempel i form av vindkraftfundament, en bit ut från kusten kan man eventuellt minska det överflöd av närsalter som finns inne i många övergödda havsvikar där

grönslicken nu tar över. Organismerna ute vid vindkraftfundamentet skulle kunna förbruka en del av dessa närsalter (Öhman, 2002).

I miljökonsekvensbeskrivningarna finns krav på kontrollprogram. Vindkraftparkerna som redan finns och de som ska byggas, t ex vindkraftparken Klasården vid sydvästra Gotland, blir platser där vidare forskning om bl a påverkan på fågel och fisk som kan bedrivas. Det är även viktigt att studera hur mindre djur, som är viktig som föda för fisk, påverkas. Här finns också möjlighet att mäta ljudalstring i form av buller och vibrationer från vindkraftverken i vindparker för att kunna utveckla komponenter i konstruktionerna så att ljudalstringen minskar och därmed effekterna av den. Överhuvudtaget finns en stor potential för forskning av olika slag vid vindkraftparkerna.

Undersökningsresultat från artificiella rev har visat att en ökad fiskproduktion kan förekomma. Dock är det ännu osäkert om konstgjorda rev generellt attraherar arter från närliggande rev eller om det sker en faktisk ökning av fiskbiomassan. Vad som saknas är långåriga studier för säkrare slutsatser men under sommaren 2003 kommer fältstudier påbörjas för att kvantifiera reveffekterna av vindkraftverk (Öhman, 2002).

Det finns förutsättningar för att använda vindkraftfundamenten som konstgjorda rev för att gynna den biologiska mångfalden om man vid planering av vindkraftutbyggnaden är lyhörd för kunskapen från utförda och kommande studier. Det är viktigt med noggranna förstudier av sammansättning och förekomst av arter och naturliga rev på de platser där vindkraft ska etableras till havs.

Tendensen att försöka koppla ihop tekniskt nödvändiga lösningar med att förbättra livsmiljön för växter och djur i omgivningen, är en av de största landvinningarna för miljön när det gäller människans förbrukning av energislag där detta tänkande inom vindkraften är unik.

^{1*} Brackvatten betecknas vatten med lägre salthalt än marint vatten <34 PSU och med högre salthalt än sötvatten >1PSU.

^{2*} 1 PSU = 1 o/oo. PSU (practical salinity units) motsvarar salthalten uttryckt i promille.

Muntlig information

- Niklasson, S. Mått på fundamentkonstruktioner. Vindkompaniet, Mörbylånga. 2003.
- Nybo Jensen, J. Erosionsskydd och kabelskydd vid vindkraftverken på Horns rev. Elsam. 2003.
- Tidlund, A. Naturliga rev. Stockholms Marina Forskningscentrum, Stockholms universitet. 2003.
- Wallin, L. Fiskarter vid vindkraftfundament i egentliga Östersjön. Högskolan på Gotland, Institutionen för Naturvetenskap och Teknik. 2003.
- Widbom, B. Etablering av organismer på vindkraftfundament. Högskolan på Gotland, Institutionen för Naturvetenskap och Teknik. 2002.
- Westerberg, H. Reveffekten vid Svante I i Nordersund. Fiskeriverket. 2002.
- Öhman, M. Fältstudier för att kvantifiera reveffekter vid vindkraftverk. Marinbiolog och forskare på "Revens ekologi" på Stockholms universitet. 2002.

Referenslista

- Airicole www.airicole.com. 2002.
- Alutain, S., Kautsky, H. & Malm, T. Biological succession on artificial substrates in the central Baltic Sea. Stockholm University, Department of System Ecology och Kalmar University, Department of Botany and Environmental Science. Opublicerad, 2001.
- Bengtsson, S. Energimagasinet, nr 5. www.energimagasinet.com/artikelsok. 2002.
- Bohnsack, J. A. Are high densities of fishes at artificial reefs the result of habitat limitation or behavioural preference? Bulletin of Marine Science, 44 (2): 631-645. 1989.
- Cairns Jr, J. Setting ecological restoration goals for technical feasibility and scientific validity. Elsevier Science B. V. Ecological Engineering 15, 171-180. 2000.
- Côté, I. M., Mosqueira, I. & Reynolds, J. D. Effects of marine reserve characteristics on the protection of fish populations: a meta-analysis. Journal of Fish Biology, Vol, 59, No. a, pp. 178-189 ISSN: 0022-1112. 2001.
- EIA Report. Horns Rev Offshore Wind Farm. Environmental Impact Assessment. Summary of EIA Report. Tech-Wise A/S. PR Offset. ISBN 87-986376-7-3. 2000.
- Energimyndigheten. En Översikt – Vindkraft. www.stem.se. 1999.
- Grossman, G. D., Jones, G. P. & Seman, Jr., W. J. Do Artificial Reefs Increase Regional Fish Production? A Review of Existing Data. A bulletin of the American Fisheries Society, Artificial Reef Management. 1997.
- Granath, C. Fiskare oroliga att vindkraftverk saboterar fisket. Sydsvenska Dagbladet. 2002-12-04.
- Guillemette, M., Larsen, J. K. & Clausager, I. Assessing the impact of the Tunø Knob wind park On sea ducks: the influence of food resources. Neri Technical Report No 263. 1999.
- Jaap, W. Coral reef restoration. Elsevier Science B. V. Ecological Engineering. 2000.
- Johannesson, B. Larsvik, M., Loo, L.-O. & Samuelsson, H. Vattenkikaren. Tjärnö marinbiologiska laboratorium, Strömstad. 1999.
- Johannesson, B. Larsvik, M., Loo, L.-O. & Samuelsson, H. Vattenkikaren. Tjärnö marinbiologiska laboratorium, Strömstad. 1998.
- Kahlert, J., Desholm, M., Clausager, I. & Petersen, I. K.. VVM-redogørelse for havmøllepark ved Rødsand. – Teknisk rapport vedrørende fugle. Miljø- og Energiministeriet Danmarks Miljøundersøgelser. Rapport fra DMU 2000, rekvireret av SEAS 2000.
- Kautsky, H. Publikfråga. www.snf.se/snf/seminarier/vindkraftlokalisering-dok.htm. 2002.
- Kautsky, H. Quantitative distribution of sublittoral plant and animal communities along the Baltic Sea gradient. Biology and Ecology of Shallow Coastal Waters, 28 EMBS Symposium. Publicerad av Olsen & Olsen, Helstedsvej 10, DK-3480 Fredensborg, Danmark. ISBN 87-85215-28-7. 1993.
- Kautsky, N. & Wallentinus, I. Nutrient release from a baltic *Mytilus* – red algal community and its Role in benthic and pelagic productivity. Ophelia, Suppl. 1: 17-30. 1980.
- Malm, T. & Alutain, S. Kraftverkskonstruktioner i havet – en metod för att öka den biologiska mångfalden i Östersjön. Rapport till Statens Energimyndighet, Vindkraftprogrammet,

- Statens Energimyndighet, Box 310, 631 04 Eskilstuna. 2002.
- Moberg, F. & Rönnbäck, P. Ecosystem services of the tropical seascape: interactions, substitutions and restoration. Elsevier Science Ltd. Ocean & Coastal Mangement. 2002.
- Nilsson, B. Airicole vill provborra inför Utgrunden etapp 2. Östran/Nyhetera – Lokaltidningen. Borgholm@ostrasmaland.se. 2002.
- Norlin, A. Positivt om vindkraften. Vindbladet, Information från Vindkraftsprogrammet VKK. 2000.
- Olofsson, I. Havsbaserad vindkraft. Ekonomi för havsbaserad vindkraft. "Ingemars hemsida". 2001.
- Petersen, I. K. & Clausager, I. VVM-redogørelse for havvindmøllepark på Omø Stålgrunde – Teknisk rapport vedrørende fugle. Danmarks Miljøundersøgelser, Miljø- og Energiministeriet. Rapport fra DMU 2000. Rekvireret af SEAS 2000.
- Petersson, M. Vindkraft till havs – en litteraturstudie av påverkan på djur och växter. Rapport 5139. ISBN 91-620-5139-3. Naturvårdsverkets förlag, Stockholm. 2000.
- Reimegård, C. Koleldning hotar danska miljömål. Svenska Dagbladet. 2003-01-01.
- Söderström, I. Vindkraft en lönande affär. Hallands Posten. 2003-01-11.
- Söker, H., Rehfeldt, K., Santjer, F. & Strack, M. Samt Schreiber, M. Offshore Wind Energy in the North Sea. Technical Possibilities and Ecological Considerations – A Study for Greenpeace. Deutsches Windenergie-Institut GmbH, Ebertstr. 96, D-26382 Wilhelmshaven samt Schreiber Umweltplanung, Blankenburgerstr. 34, D-49565 Bramsche. 2000.
- Thom, R. System-development matrix for adaptive management of coastal ecosystem restoration projects. Elsevier Science B. V. Ecological Engineering 8, 219-232. 1997.
- Thomsen, F. Verdenspremiere på nyt dansk møllefundament. Pressemeddelelse. www.elsam.com/Nyheder/presse-021031b.htm. 2002.
- Vindfo. Tysk modell för avveckling. Östgöta Correspondenten. 2002-03-14. www.vindfo.nu. 2003.
- Vindkompaniet. Fakta om vindkraft. www.vindkompaniet.se. 2001-04-04.
- Vindkompaniet. Underlag för utökat samråd enligt miljöbalken 6 kap 5§. Ändringar i utformningen Av Klasården 42 MW vindkraftanläggning. www.databyran.nu/klasarden. 2002.
- Walker, B. K., Henderson, B. & Spieler, R. E. Fish assemblages associated with artificial reefs of Concrete aggregates or quarry stone offshore Miami Beach, Florida, USA. Aquatic Living Resources, Vol. 15, Issue 2, pages 95-105. 2002.
- Wizelius, T. Vindkraft i teori och praktik. Studentlitteratur. 2003.
- Westerberg, H. Fiskeriundersökningar vid havsbaserat vindkraftverk 1990-1993. Fiskeriverket, rapport 5- 1994.
- Westerberg, H. PM – Kunskapsläget vad det gäller den havsbaserade vindkraftens effekter på fisket och fiskbestånden. Fiskeriverket. 2002-08-28.
- Öhman, M. Marinbiolog och forskare på "Revens ekologi" på Stockholms universitet: Vindkraft bra för fisken! Vetandets värld. 2002.

Bropelare på Ölandsbron

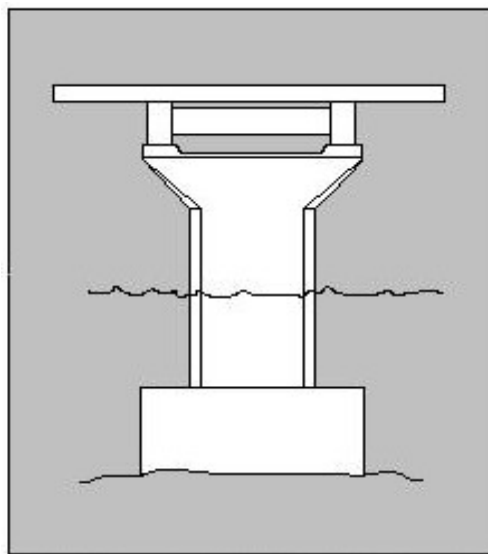


Fig. 2. A sketch of a pillar with the road on top of the pillar which stands on a footing.

Bilden är hämtad ur artikeln *Biological succession on artificial substrates in the central Baltic Sea*. Opublicerad.

Susanne Alutain, Hans Kautsky och Torleif Malm, 2001.
Stockholms Universitet, Avdelningen för Systemekologi, 106 91 Stockholm
Kalmar Universitet, Avdelningen för Botanik- och Miljövetenskap, 391 29 Kalmar

Tunø Knob – bentiska djur

Tabell 1. Förekomstfrekvens (%) av alla bentiska arter eller artgrupper från prover som samlats under tre års tid vid Tunø Knob med basåret 1994-95. Antalet stationer (n=34) och deras lokalisation var lika för de tre åren. När ett värde hänförs sig till ett av de två åren efter basåret, står i kursiv stil, betyder det att det värdet skiljer sig med åtminstone 50% från basårets värde. Generellt minskade förekomstfrekvensen från 1994-95 till 1996-97 och ökade sedan igen året 1997-98.

- Tunø Knob ligger i Kattegatt - .

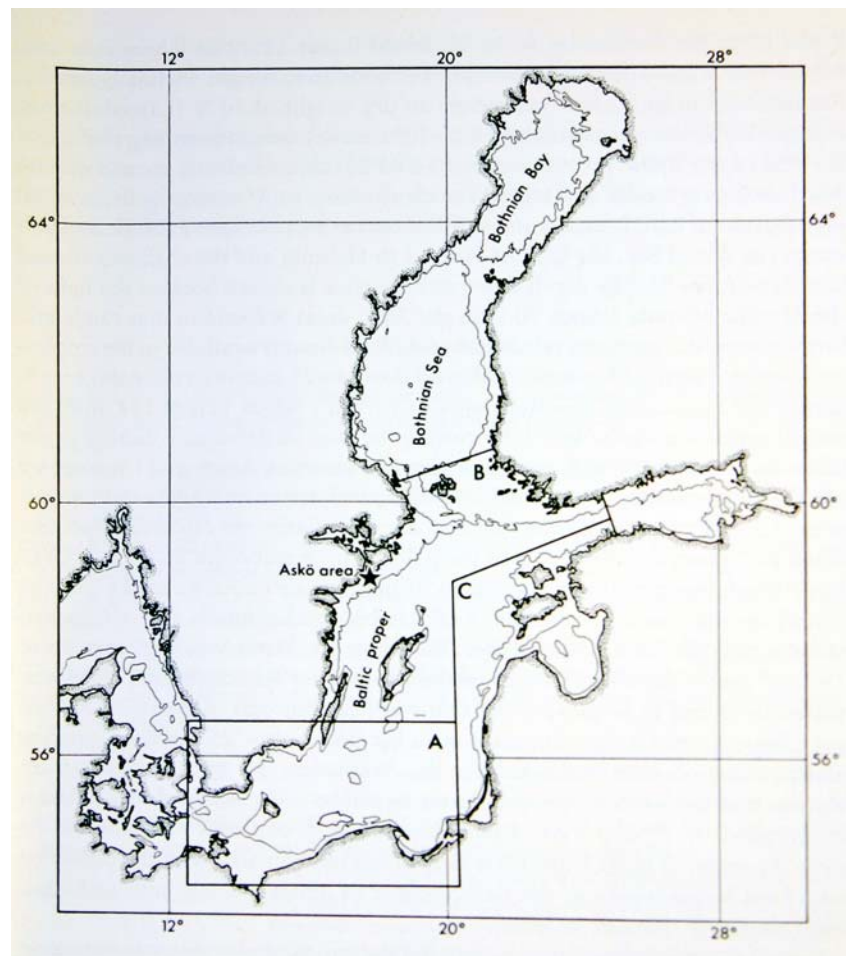
Bentiska arter (möjligt byte)	Basåret 1994-95	Efter 1996-97	Efter 1997-98
Bivalvia	100	91,2	100
Mytilus edulis	85,3	32,4	67,6
Cardium spp.	88,2	79,4	91,2
Ensis spp.	20,6	5,9	20,6
Mya arenaria	64,7	20,6	64,7
Macoma spp.	58,8	47,1	61,8
Spisula subtruncata	14,7	26,5	29,4
<i>Andra bivalvia</i>	61,8	14,7	32,4
Gastropoda	73,5	41,9	55,9
Littorina littorea	47,1	23,5	32,4
Acmaea testudinalis	47,1	20,6	17,6
<i>Andra gastropoder</i>	29,4	0,0	23,5
Echinodermata	67,6	38,7	58,8
Asterias rubens	50,0	20,6	29,4
Ophiura spp.	26,5	5,9	26,5
Echinocyamus pusillus	32,4	5,9	14,7
<i>Andra echinodermata</i>	20,6	2,9	0,0
Polychaeta	82,4	82,4	88,2
Crustacea	32,4	35,3	29,4

Tabellen avskriven ur *Assessing the impact of the Tunø Knob windpark on sea ducks: The influence of food resources.*
Neri Technical Report No 263 av

Magella Guillemette
Jesper Kyed Larsen
Ib Clausager

Department of Coastal Zone Ecology

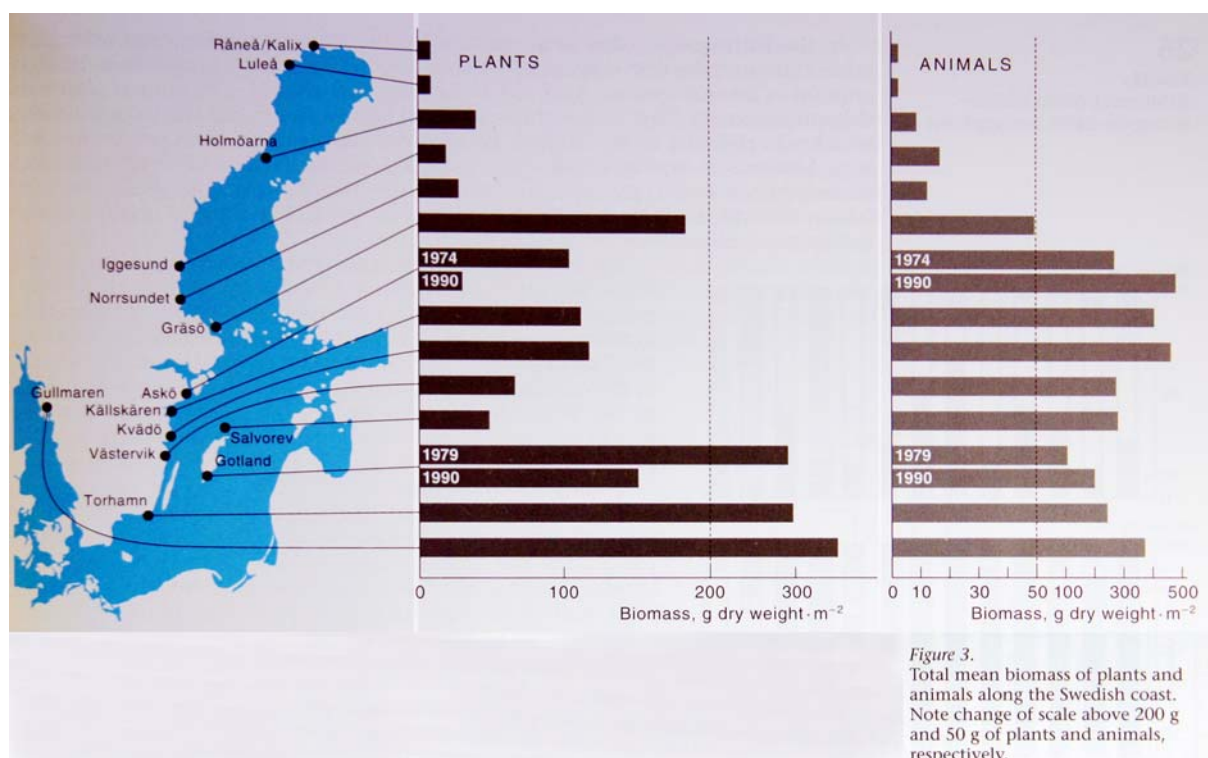
Den svagt inritade linjen visar 25 meters djupen i Östersjön



Bilden är hämtad ur *Quantitative distribution of sublittoral plant and animal communities along the Baltic Sea gradient.*

Hans Kautsky, Avdelningen för Systemekologi, Stockholms universitet, 106 91 Stockholm. 1993.

Totala medelvärden av växternas och djurs biomassa längs den svenska kusten
Notera ändring av skalan över 200 g för växter och 50 g för djur.



Bilden är hämtad ur *Quantitative distribution of sublittoral plant and animal communities along the Baltic Sea gradient*.

Hans Kautsky, Avdelningen för Systemekologi, Stockholms universitet, 106 91 Stockholm. 1993.

Gravitationsfundament av betong



Betongfundament som använts vid Middelgrunden. Foto: Göte Niklasson

Gravitationsfundament av stål



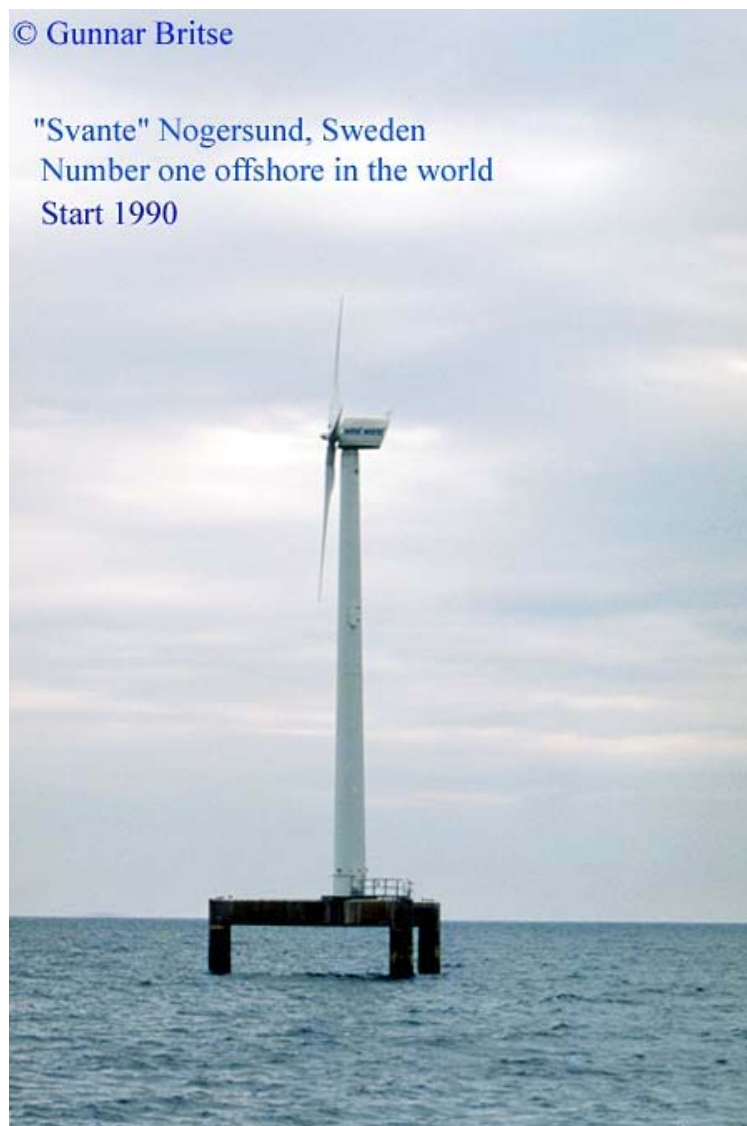
Bilden hämtad från www.elsam.com/Nyheder/presse-021031b.htm. Utskriftsdatum 2003-01-08.
Pressmeddelande – Verdenspremiere på nyt dansk møllefundament

Monopilefundament



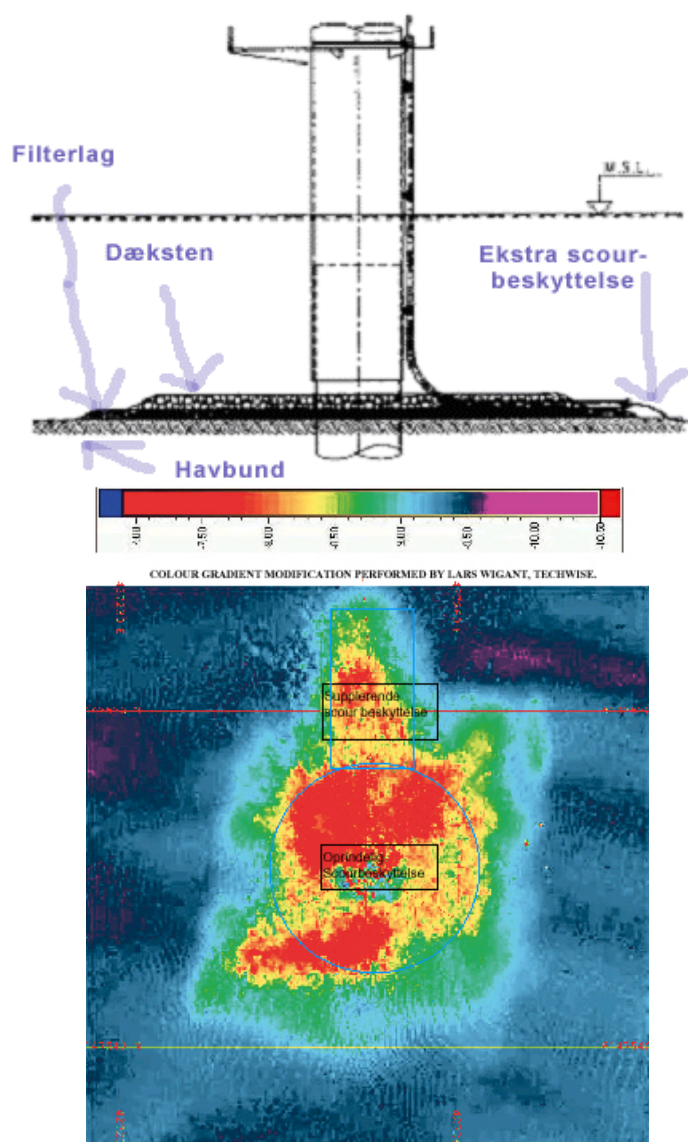
Monopilefundament – Yttre Stengrund i södra Kalmarsund

Trebensfundament



Svante I i Nordersund, 1:a havsbaserade vindkraftverket i världen.
Foto: Gunnar Britse

Monopile med erosionsskydd och extra kabelskydd (ekstra scourbeskyttelse) med ”filtersten” och täcksten.



Cirkeln visar erosionsskyddet runt monopilefundamentet. Uppåt i bilden visas de utlagda stenarna till kabelskyddet. Åtgärden har utförts vid alla 80 vindkraftverk i vindkraftparken vid Horns rev, Danmark. Bilden har Jens Nybo Jensen, Elsam skickat över 2003-01-09.

Nya hårbottenytor - uträkningar

Klasården

Monopiles för verk med effekt på 2,75 MW.

Antagen diameter 4,5 m.

Antaget vattendjup 10 m.

Mantelarean: $2\pi rh = 2 \cdot \pi \cdot 2,25 \cdot 10 \times 16 \text{ verk} = 2261,946 \sim 2200 \text{ m}^2$.

Gravitationsfundament i stål för verk med effekt på 2,75 MW.

Diameter 15 m.

Antaget vattendjup 10 m.

Mantelarean: $2\pi rh = 2 \cdot \pi \cdot 7,5 \cdot 10 \times 16 \text{ verk} = 7539,822 \sim 7500 \text{ m}^2$.

Trebensfundament med tre pålar, varje påle 0,9 m diameter. (Ingen beräkning på stålramen).

Antaget vattendjup 10 m.

Mantelarean: $2\pi rh = 2 \cdot \pi \cdot 0,45 \cdot 10 \times 3 \text{ pålar} \times 16 \text{ verk} = 1357,168 \sim 1400 \text{ m}^2$

Horns rev

Kabelskyddet runt varje vindkraftverk vid Horns rev är täckt med följande material och höjd:

”Filtersten” täcker 0,5 m (min.)

Täcksten täcker 0,8 m (min.)
1,3 m

Filterstensarean = $4,5 \times 10 \text{ m}$ och täckstensarean = $2 \times 10 \text{ m}$.

Medelvärde $4,5 + 2 = 3,25 \text{ m} \times 10 \text{ m}$.

Räknar arean som på en rektangulär låda där ena kortsidan mot de erosionsskyddande stenarna och botten räknas bort. Ytan blir

$$\begin{array}{rcl} 3,25 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 1 & = & 32,5 \text{ m}^2 \\ 3,25 \text{ m} \times 1,3 \text{ m} \times 1 & = & 4,225 \text{ m}^2 \\ 1,3 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 2 & = & + 26 \text{ m}^2 \\ & & 62,725 \text{ m}^2 \end{array}$$

Kabelskyddsarea: $80 \text{ vindkraftverk} \times 62,725 \text{ m}^2 = 5018 \text{ m}^2$

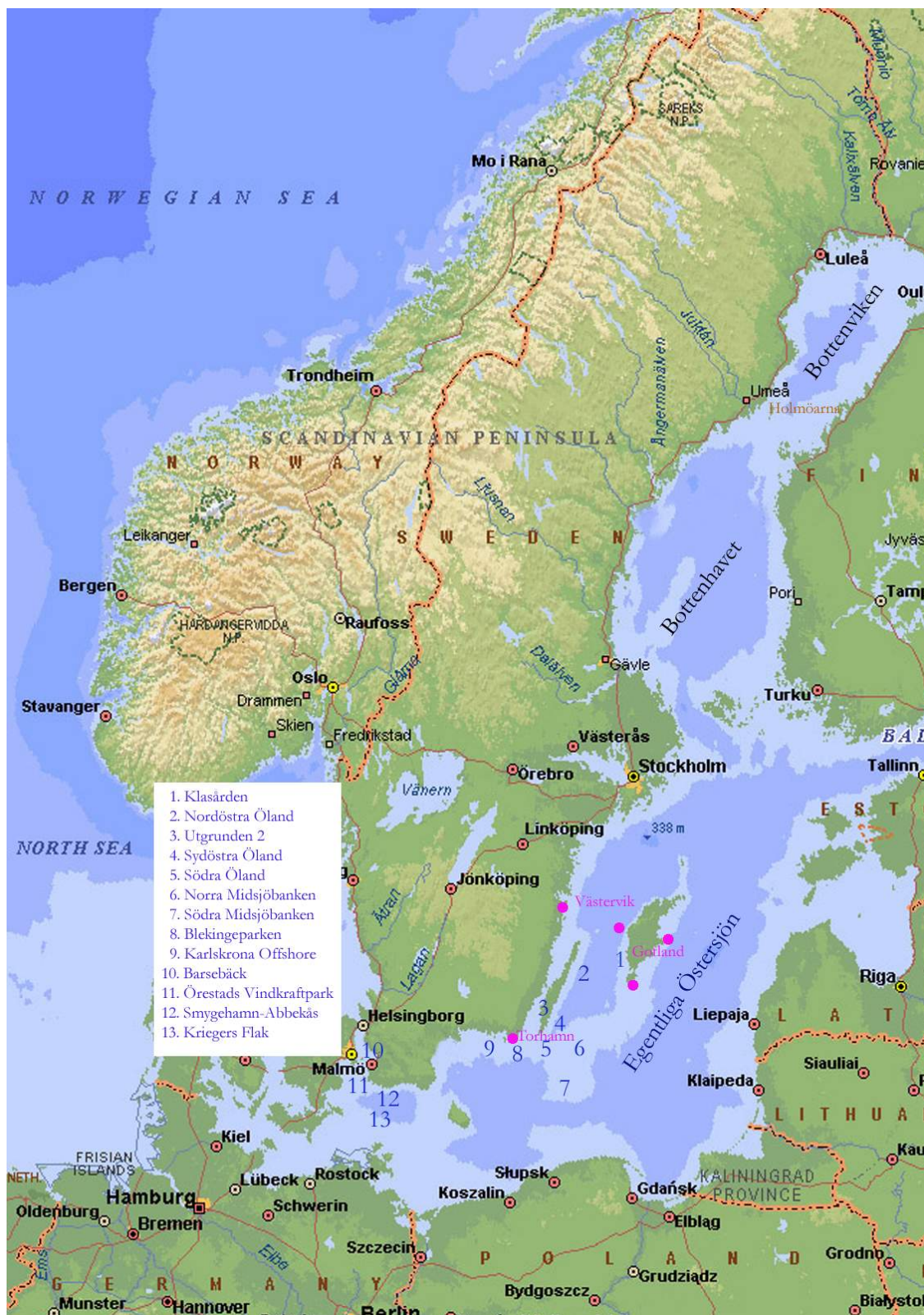
Fundamenten + erosionsskydd = 14500 m^2 – fundamentytan för monopile (effekt 2 MW, i MKB står diameter 4 m) $1000 \text{ m}^2 = 13500 \text{ m}^2$.

(Fundamentyta för monopile: $\pi r^2 = \pi 2^2 \times 80 \text{ vindkraftverk} = 1005,3096 \sim 1000 \text{ m}^2$).

Mantelytan på monopilefundamenten uträknad i MKB för Horns rev: 12000 m^2 .

Ny hårbottensarea:

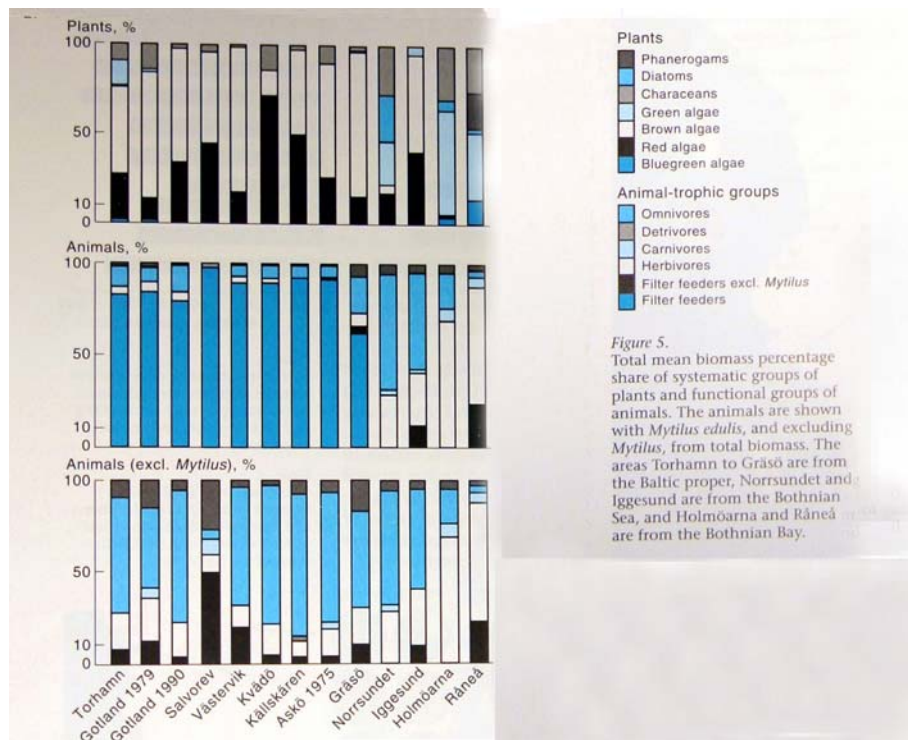
$$\begin{array}{r} 5018 \text{ m}^2 \\ 12000 \text{ ”} \\ + 13500 \text{ ”} \\ \hline 30518 \text{ m}^2 \end{array}$$



Kartskizz av planerad svensk offshore 2002 samt några av de platser där förekomst av växter och djur på bottenarna undersökts; Västervik, Gotland och Torhamn. G. Britse

Biomassan i medelvärde procentuellt av systematiska grupper av växter och djur vid olika provtagningsplatser i Östersjön

Djuren visas med blåmusslor, *Mytilus edulis* och utan *Mytilus* av totala biomassan. Områdena Torhamn till Gräsö gäller egentliga Östersjön, Norrsundet och Iggesund är från Bottenhavet och Holmöarna och Råneå är från Bottenviken.



Bilden är hämtad ur *Quantitative distribution of sublittoral plant and animal communities along the Baltic Sea gradient*.

Hans Kautsky, Avdelningen för Systemekologi, Stockholms universitet, 106 91 Stockholm. 1993.

