

出國報告（出國類別：實習）

## 水下噪音監測技術

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：翁財發（主管）

派赴國家：丹麥

出國期間：105 年 10 月 24 日至 10 月 30 日

報告日期：105 年 12 月 27 日

## 出國報告審核表

出國報告名稱：水下噪音監測技術																																																											
出國人姓名 <small>(2人以上，以1人為代表)</small>	職稱	服務單位																																																									
翁財發	主管	環境保護處																																																									
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 實習 <input type="checkbox"/> 其他 _____ (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)																																																										
出國期間：105年10月24日至105年10月30日		報告繳交日期：105年12月27日																																																									
出國人員 自我審核	計畫主辦 機關審核	審核項目																																																									
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 5%; text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td style="width: 5%; text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>1.依限繳交出國報告</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得及建議事項」)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>3.無抄襲相關資料</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>4.內容充實完備</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>5.建議具參考價值</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>6.送本機關參考或研辦</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>7.送上級機關參考</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>8.退回補正，原因：</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>(1) 不符原核定出國計畫</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>(2) 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>(3) 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>(4) 抄襲相關資料之全部或部分內容</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>(5) 引用相關資料未註明資料來源</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>(6) 電子檔案未依格式辦理</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>9.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表：</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>(1) 辦理本機關出國報告座談會(說明會)，與同仁進行知識分享。</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>(2) 於本機關業務會報提出報告</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>(3) 其他 _____</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>10.其他處理意見及方式：</td> </tr> </table>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.依限繳交出國報告	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得及建議事項」)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	3.無抄襲相關資料	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	4.內容充實完備	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	5.建議具參考價值	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6.送本機關參考或研辦	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7.送上級機關參考	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8.退回補正，原因：	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 不符原核定出國計畫	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(4) 抄襲相關資料之全部或部分內容	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(5) 引用相關資料未註明資料來源	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(6) 電子檔案未依格式辦理	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表：	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 辦理本機關出國報告座談會(說明會)，與同仁進行知識分享。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 於本機關業務會報提出報告	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 其他 _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10.其他處理意見及方式：
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.依限繳交出國報告																																																									
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得及建議事項」)																																																									
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	3.無抄襲相關資料																																																									
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	4.內容充實完備																																																									
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	5.建議具參考價值																																																									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6.送本機關參考或研辦																																																									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7.送上級機關參考																																																									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8.退回補正，原因：																																																									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 不符原核定出國計畫																																																									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容																																																									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項																																																									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(4) 抄襲相關資料之全部或部分內容																																																									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(5) 引用相關資料未註明資料來源																																																									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(6) 電子檔案未依格式辦理																																																									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表：																																																									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 辦理本機關出國報告座談會(說明會)，與同仁進行知識分享。																																																									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 於本機關業務會報提出報告																																																									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 其他 _____																																																									
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10.其他處理意見及方式：																																																									

報告人： 	單位： 	主管處： 	總經理： 
副總經理： 			

說明：  
 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。  
 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「公務出國報告資訊網」為原則。

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：水下噪音監測技術

頁數 51 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/陳德隆/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

翁財發/台灣電力公司/環境保護處/主管/02-23667211

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：105 年 10 月 24 日至 105 年 10 月 30 日

出國地區：丹麥

報告日期：105 年 12 月 23 日

分類號/目

關鍵詞：離岸風場、水下噪音監測、噪音模式、減低對策、環境影響評估

內容摘要：

本公司配合政府綠色能源政策目標，積極開發再生能源，臺灣西部沿海具有世界級的優異風場，兼具陸域和離岸風力發電的良好潛能，未來 10~15 年間公司將大力投入海上風能開發，積極以事業角色帶動全國綠能發展。由於離岸風力發電機組施工及營運期間產生之水下噪音對海域生態不免會造成干擾，然國內對於水下噪音監測及環境保護對策擬訂等技術尚不成熟，為期離岸風場水下噪音監測技術與國際同步，故派員赴離岸風能發展先進國家丹麥實習，以汲取實務經驗。

本次實習安排至丹麥哥本哈根 NIRAS 公司總部，與其專業團隊實習離岸風力發電計畫水下噪音監測技術，實習內容包括蒐集離岸風力發電計畫水下噪音監測技術及案例經驗、水下噪音監測原理、水下噪音量測儀器、減低對策及監測計畫擬訂等技術。茲將實習所得整理成報告，供公司辦理離岸風力發電計畫環保規劃參考，以降低環境影響，減少外界疑慮及開發阻力。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.nat.gov.tw/reportwork>)

# 目 錄

	頁次
壹、出國目的.....	1
貳、出國行程.....	3
參、實習心得.....	4
一、前言.....	4
二、NIRAS 公司簡介.....	5
三、丹麥離岸風能發展及現況.....	11
四、丹麥離岸風場開發環境考量.....	15
五、水下噪音監測技術.....	18
六、水下噪音模式.....	28
七、水下噪音減低對策及監測計畫.....	35
八、離岸風力發電計畫環評案例.....	41
肆、建議事項.....	50

## 壹、出國目的

近年來綠能低碳已是國人能源選項的最大共識，台電公司身為電力政策執行者，全力遵循政府綠色能源政策目標，積極開發再生能源。過去 15 年本公司完成六項風力發電計畫，共興建 169 部風力發電機組，未來亦將持續投入綠能開發，爰積極打造「海風借電」計畫，2016 年 4 月 16 日在彰化芳苑王功漁港外海 6 公里處設立的「海氣象觀測塔」正式上線，2016 年 10 月 7 日專司開發海上風電的施工單位「海域風電施工處」也在台中港區正式掛牌成立。

本公司離岸風力第一期計畫預計 3 年內設置 22 部風機、2019 年正式商轉，屆時一年將可發電 3.56 億度，供給超過 100 萬家用戶一個月用電，目標 2025 年設置 200 部風機，打造裝置容量達 1GW 的海上風力發電廠，2030 年則達 1.8GW，加上積極開發的大型太陽光電及地熱發電，2025 年本公司再生能源總裝置容量，包含風力發電、太陽光電、地熱發電與水力發電，總裝置容量可達 4GW，到 2030 年總裝置容量則將達 5.4GW，相當於囊括全國目標近四成的再生能源裝置容量。

台灣地狹人稠，陸域風機設置空間有限，根據國際工程顧問公司 4C Offshore 數據顯示，全世界 18 個最適合設置離岸風力發電的最佳風場，就有 16 個在台灣海峽。臺灣西部沿海具有世界級的優異風場，兼具陸域和離岸風力發電的良好潛能，未來 10~15 年間公司將大力投入離岸風電開發，從陸地走向海洋，努力發展台灣海峽風場成為綠電的發電中心，跟上國際離岸風電開發的腳步，打造永續

發展的低碳社會。

由於離岸風力發電計畫施工期間及營運期間對於海域生態不免會造成干擾，部分海域生物聽覺對其生存係扮演非常重要的角色，因此海域風場開發施工及營運期間所引起的水下噪音對此類海生物之影響必須審慎考量，由於水下噪音對海域鯨豚類哺乳動物影響程度存在有許多的不確定性，各方見解會有差異，環評審查過程若無法達成共識，恐會造成爭議不斷，延宕計畫開發時程。

本公司新興電源計畫為國家重大開發計畫，未來計畫推動辦理環境影響評估時，必將面臨民眾關切之水下噪音議題嚴峻的挑戰，務必妥善規劃以為因應，冀使開發對環境影響減至最低。

國內對於水下噪音監測和保護對策擬訂等技術尚不成熟，因此本公司於離岸風力發電計畫開發環評階段之水下噪音議題常為學者專家及環保團體所質疑，為減少外界學者專家及環保團體質疑以及善盡企業社會責任，並期技術發展與國際同步，實有必要派員赴歐美等先進國家專業機構，實習水下噪音監測專業技術及實務經驗，俾周全離岸風力發電計畫環境保護對策，降低環境影響。

鑒於丹麥是全球風力發電產業技術最先進、最具競爭力的國家，亦是全球風力發電佔全國發電比例最高的國家，離岸風場開發經驗豐富，爰研擬並奉准赴丹麥實習水下噪音監測技術，汲取歐洲先進國家之寶貴實務經驗，供公司辦理離岸風力發電計畫環保規劃參考，以降低環境影響及離岸風場開發阻力。

## 貳、出國行程

一、日期：105 年 10 月 24 日至 25 日

內容：往程

地點：台北-哥本哈根

二、日期：105 年 10 月 26 日至 28 日

內容：實習水下噪音監測技術

地點：NIRAS 公司丹麥總部

三、日期：105 年 10 月 29 日至 30 日

內容：返程

地點：哥本哈根-台北

## 參、實習心得

### 一、前言

丹麥國土面積約為台灣的 1.2 倍，人口僅有 560 萬人左右，為落實環境保護，從 1970 年代初期便積極發展綠色能源。丹麥是全球風力發電產業技術最先進、最具競爭力的國家，亦是全球風力發電佔全國發電比例最高的國家。2013 年風力發電裝置容量約 4,792MW，佔全國電力供應比例達 39%，2016 年風力發電裝置容量達 5,070MW，預計 2020 年風力發電佔全國電力供應 50%，2050 年達成 100%全面使用再生能源目標。

1991 年，丹麥於距離海岸線 2 公里處海面興建 11 部 450 kW、總裝置容量 4.95MW 的 Vindeby 離岸風力發電廠(offshore wind farm)，成為全球第一個興建大型海上風力發電廠的國家。自此以後，丹麥又先後興建 12 處離岸風力發電廠，2014 年海上風機總裝置容量達 1,271MW，共計有 516 部離岸風力發電機組。目前丹麥尚有 3 處規模分別為 350MW、400MW、600MW 的大型離岸風力發電廠規劃中，預計 2017、2019、2021 年間完工商轉，屆時海上風機總裝置容量將達 2,621MW，是發展離岸風場最成功的國家之一。

此次實習依核定行程赴丹麥哥本哈根，與 NIRAS 公司總部專業團隊研習離岸風力發電計畫水下噪音監測技術，實習內容包括蒐集離岸風力發電計畫水下噪音監測技術及案例經驗、水下噪音量測儀器、減低對策及監測計畫擬訂等技術。茲將實習所得彙整報告。



## 二、NIRAS 公司簡介

本次實習係由丹麥 NIRAS 公司總部的離岸風場開發與環境規劃部門負責安排水下噪音監測技術實習相關課程，NIRAS 在全球擁有 1,500 餘名專業員工，企業總部設於丹麥哥本哈根北郊的 Alleroed，如圖 1。主要辦事處位於丹麥、芬蘭、德國、英國、挪威、波蘭和瑞典等國，全球計有 38 處辦事處，遍佈歐洲、亞洲、非洲及中東等地，客戶遍及全球 26 個國家，如圖 2。



圖 1 NIRAS 丹麥哥本哈根企業總部

### NIRAS OFFICE LOCATIONS



圖 2 NIRAS 全球辦事處分佈圖

NIRAS 是跨領域、綜合性的國際顧問諮詢集團，業務涵蓋建築基礎設施、公共事業、環境和自然資源、氣候變化和能源、開發和規劃設計等顧問諮詢與管理服務。NIRAS 亦是海上風電全球領先的顧問之一，服務範圍涵括風力發電計畫自開發規劃、環評、設計、施工、營運以及除役等整個產品週期的專業技術和管理諮詢服務，如圖 3。

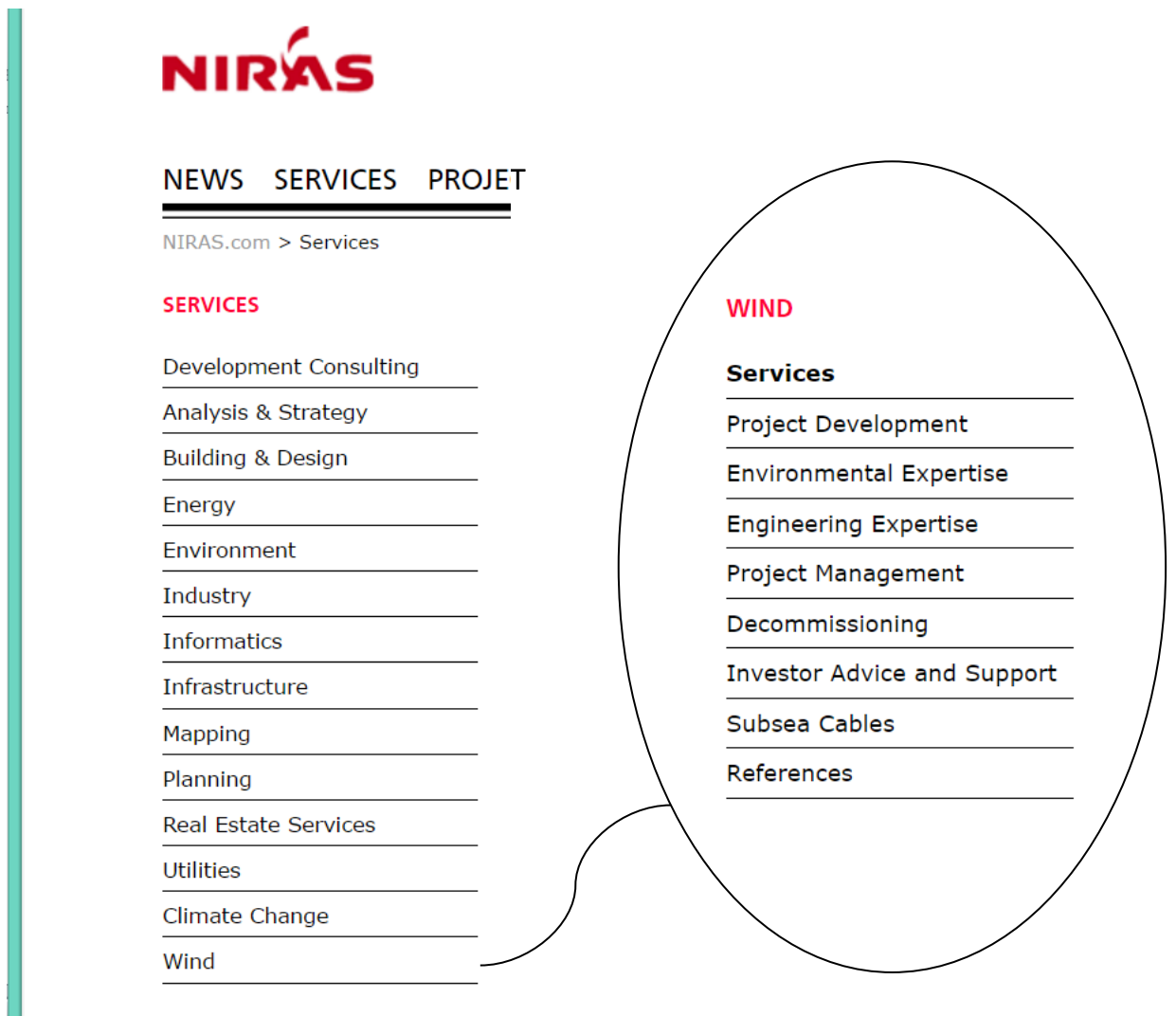


圖 3 NIRAS 業務及風場顧問諮詢服務範圍

NIRAS 公司肇始於 1956 年由 Jørgen Kristian Nielsen 和 Konrad Rauschenberger 二位工程師成立於丹麥，從 1986 年起開始參與北歐的陸域風力發電計畫，1989 年參與丹麥早期二個離岸風力發電計畫 Vindeby and Tunö Knob offshore wind farm projects，過去 25 年間在歐亞洲地區已累計超過 70 個風力發電計畫的參與經驗(約 22GW)，且大部分是離岸風力發電計畫，NIRAS 風力發電計畫參與實績，如圖 4、圖 5。



圖 4 NIRAS 陸海域風場開發參與實績  
資料來源：NIRAS 提供

---

---

### Selected project



### Hornsea 1 & Hornsea 2 (3000MW)

Client: SmartWind / Dong Energy  
Country / site: United Kingdom  
Period: 2012 - ongoing

- NIRAS' involvement in the project included both the offshore wind farms and the cable interconnector corridor
- NIRAS provided advice in relation to the Ornithological sections in the Environmental Impact Statement and HRA
- NIRAS provided full time in-house support as technical lead on marine mammals, ornithology and HRA during examination process of Hornsea 1 and the pre-application phase of Hornsea 2
- NIRAS was responsible for the preparation of the Screening and HRA report and maintenance of HRA Evidence Plan.

---

### Selected project

### Gode Wind Offshore Wind Farm (582 MW)

Client: DONG  
Country / site: Germany  
Period: 2012 - 2014

- NIRAS was geotechnical lead and responsible for all geotechnical issues in the project
- NIRAS prepared the technical scope of work for additional geotechnical investigations according to the BSH requirements
- NIRAS provided on-shore support and follow-up during the investigations
- NIRAS prepared the design input for the monopile foundations (wind turbines) and jacket file foundations (substation)
- NIRAS documented and reported the design input according to BSH and certification requirements
- NIRAS provide geotechnical assistance for the cable design and installation.



---

### Selected project



### Fécamp, Coursuelles-sur-Mer and Saint-Nazaire offshore wind farms (450MW)

Client: Éolien Maritime France  
Country / site: France  
Period: 2014 - ongoing

- NIRAS provides a harbour and logistics manager
- NIRAS work includes: Construction logistics, preparation of hub harbour fact books, assessment of harbour facilities for construction base
- NIRAS function as general advisor to the various installation teams reviewing tender documents for the EPC contracts
- NIRAS is general advisor to the foundation team reviewing primary and secondary steel drawings.

圖 5 NIRAS 離岸風力發電計畫參與案例  
資料來源：NIRAS 提供

### Selected project



### Horns Rev 2 Offshore Wind Farm (200MW)

Client: DONG Energy  
Country / site: Denmark  
Period: 2007 - 2010

- NIRAS provided contract management for multiple contracts including cable supply and installation, accommodation platform, turbines and consultant and service providers
- NIRAS assisted in the management of foundation works, including snagging works, preparation of O&M manual, certification, contract and claim management.

### Selected project

#### In-house consultancy on geophysical and geotechnical pre-investigations for Kriegers Flak (600MW) and Horns Rev 3 (400MW) offshore wind farms

Client: Energinet.dk  
Country / site: Denmark  
Period: 2012 - ongoing

- NIRAS provided in-house consultancy during the pre-investigation phase of Kriegers Flak (600MW) and Horns Rev 3 (400MW) offshore wind farm sites
- Pre-investigations included single and multi-channel seismic, multibeam echo-sounding, side scan sonar, magnetometer measurements, CPT testing, drilled boreholes as well as simple and advanced laboratory analyses
- Services provided by NIRAS included assistance to project management and QA of geophysical and geotechnical survey reports, delivered data and GIS
- NIRAS assisted in the tendering, planning and management of UXO clearance survey and in analysing the results
- NIRAS undertook project management of the integrated geological modelling of geophysical and geotechnical data.



### Selected project



### ODIN WIND

Client: The Danish Energy Agency (EUDP) and NIRAS Innovation Fund  
Country / site: Denmark  
Period: 2013 - 2017

- NIRAS, Maersk Broker, Vattenfall, TWI and DTU Wind Energy have teamed up to develop a "full coverage management" tool for management on decommissioning of offshore windfarms
- During the development of the tool, knowledge is gained in relation to environmental issues, logistics, heavy lifting, laws and regulation, safety, techniques for dismantling and removal, waste and material management and risk assessment
- NIRAS have already prior to the finalising of the project benefited from the gained knowledge and process mapping by winning several consultant projects on the subject. This both in the feasibility, design, due-diligence and final stage of the wind farm life cycle.

圖 5(續) NIRAS 離岸風力發電計畫參與案例  
資料來源：NIRAS 提供



為補強 NIRAS 在海上風能海洋環境生態領域的能力，NIRAS 於是併購英國海洋生態諮詢公司-海洋和沿海研究中心(CMACS)。CMACS 總部設於英國利物浦，與 NIRAS 劍橋辦事處合計共有 35 位專業的海洋顧問，CMACS 的加入顯著地提升 NIRAS 在海洋生態領域的顧問諮詢能力，特別是在魚貝類和海洋哺乳動物。CMACS 的能力和經驗與 NIRAS 劍橋環境團隊的能力和經驗相輔相成，他們在生態和環境調查、分析和詮釋、環境影響評估 (EIA)、減輕對策和監測計畫擬訂方面具有豐富的經驗，能就自然資源管理提供專業完整的顧問諮詢服務，NIRAS 併購 CMACS 相關資訊，如圖 6。

The image shows a screenshot of the CMACS website. The header features the CMACS logo and the text 'Centre for Marine and Coastal Studies'. Below the header is a navigation menu with 'Home', 'About Us', 'Projects', and 'Contact Us'. The main content area is divided into several sections:

- Latest Projects:** A section with a sunset background and wind turbines.
- Image Gallery:** A section with a photo of a person in a field.
- NIRAS and CMACS join forces:** A section with the NIRAS logo and text stating that NIRAS completed the acquisition of CMACS on 17th June 2016. It includes a quote from Dr Tim Norman, Managing Director of NIRAS Consulting Ltd, expressing delight at the merger and highlighting the combined expertise in marine and coastal ecology.
- CMACS Staff are currently:** A list of current projects:
  - Monitoring shorebirds around the Humber Sea Terminal, continuing a programme of monitoring which now extends to over twenty years and includes regular surveys of intertidal habitats, estuarine sediments and saltmarsh communities to support ongoing operations at the port.
  - Providing marine mammal mitigation services during the construction of Burbo Bank Extension offshore wind farm.
  - Providing construction noise monitoring services during the construction of Race Bank offshore wind farm.
  - Planning cable landfall intertidal surveys in Shetland.
- CMACS is supporting Dong Energy by finalising pre-construction benthic environmental monitoring work and preparing for during construction marine mammal mitigation at Burbo Extension Offshore Wind Farm.** This section includes a photo of wind turbines and a detailed description of the work being completed, including baseline benthic environmental monitoring and Annex 1 habitat investigation surveys in summer 2015, and the preparation for wind farm construction scheduled to start in 2016.

圖 6 CMACS 併入 NIRAS 及業務相關資訊  
資料來源：<http://www.cmacsltd.co.uk>

### 三、丹麥離岸風能發展及現況

#### (一) 丹麥離岸風能發展

丹麥電力系統分東丹麥電力系統及西丹麥電力系統，東丹麥電力系統佔全丹麥電力系統 40%，西丹麥電力系統佔全丹麥電力系統 60%，東、西丹麥電力系統互不相連。東丹麥電力系統由 Elkraft 公司負責系統運轉及調度，Energi E2 公司負責電廠運轉；西丹麥電力系統原由丹麥國營之 Elsam 公司負責系統及電廠運轉，1998 年起電力系統改由新成立的民營 Eltra 公司負責運轉，電廠則仍由 Elsam 公司負責運轉，隨後丹麥政府亦將 Elsam 公司民營化。

丹麥地勢平坦，加以受來自北海及波羅地海的季風影響，風能蘊藏相當豐富，1974 年石油危機爆發後，丹麥便積極發展綠色能源，如風力發電、太陽能、生質能等永續性再生能源，使丹麥從一個能源進口國，變成今日的能源出口大國，其出口能源技術主要以風力發電為主。

近 40 年來丹麥積極發展風力發電，20 世紀 70 年代後期第一批量產的風力發電機組單機容量 22kW，20 世紀 80 年代逐漸擴大到 55 kW、75 kW 和 95 kW，後續在政府鼓勵資助下，廠商及電力公司陸續測試發展更大型的商業化風力發電機組，裝置容量約介於 2MW ~ 3.6MW，目前正在進行 8MW 風力發電機組的原型機測試，風機葉片直徑達 164 公尺。

丹麥的風力發電機組數量在 2000 年左右已超過 6,200 部，裝置容量超過一半低於 500 kW，大部分風機都安裝於陸域。

1991 年，丹麥興建完成 Vindeby offshore wind farm，是世界上第一個在海上設置商業化風力發電廠的國家，Vindeby offshore wind farm 的商轉提供丹麥電力公司開發離岸風電寶貴無價的經驗。

丹麥擁有豐富的風力資源，法規亦規定風力發電為優先購買的電力，所以再生能源開發持續以風力發電為主，2013 年風力發電占全國電力供應比例達 39%，預計 2020 年風力發電占全國電力供應 50%，2050 年達成 100% 全面使用再生能源的目標，且未來多數新設的風機預計都將是離岸風力發電機組。

電力供應穩定性非常重要，風力發電依賴自然資源，可能發生電力供應不穩定的問題，雖然丹麥風力發電佔比規模大，但因丹麥與挪威、德國等國電網系統相連且互相支援，可與其他國家輸送交換所需電力，再加上具永續性的生質能、生質氣（沼氣）能及利用廢棄物產生能源的分散式電廠、智慧電力儲存系統、電動車、建築溫控和需求管理等措施，能夠有效解決風力發電供應不穩定的問題。

## （二）丹麥離岸風力發電廠現況

丹麥現有 Vindeby、Tunø Knob、Middelgrunden、Horns Rev1、Horns Rev2、Samsø、Rønland、Frederikshavn、Nysted、Avedøre Holme、Sproge、Rødsand2 及 Anholt 等 13 處運轉中的離岸風力發電廠，分別由 DONG Energy、Vattenfall、Samsø Havvind、Vindenergi、Sund & Balt、E.ON 等 6 家電力公司負責營運，另尚有 3 處規模分別為 350MW、400MW、600MW 的大型離岸風力發電廠規劃開發中，預計分別於 2017、2019 及 2021 年陸續完工商轉，屆時丹麥海上風機



總裝置容量將達 2,621MW。丹麥離岸風力發電廠現況，如表 1、圖 7 及圖 8。

Name	Operator *)	Capacity	No of turbines	Brand/type	Foundation type
Vindeby	DONG Energy	4.95 MW	11	Bonus 450 kW/37	Gravity based
Tunø Knob	DONG Energy	5 MW	10	Vestas V39-500 kW	Gravity based
Middelgrunden	DONG Energy	40 MW	20	Bonus 2,0 MW/76	Gravity based
Horns Rev 1	Vattenfall	160 MW	80	Vestas V80-2.0 MW	Monopiles
Samsø	Samsø Havvind	23 MW	10	Bonus 2.3 MW/82	Monopiles
Rønland	Vindenergi/ Harboøre Møllelaug + Thyborøn-Harboøre Vindmøllelaug	17.2 MW	8	Vestas V80-2.0 MW / Bonus 2.3 MW/82	Gravity based / Gravity based
Frederikshavn	DONG Energy	7.6 MW	3	Nordex N90/2300 / Vestas V90-3.0 MW / Bonus 2.3 MW/82	Monopiles / Suction bucket / Monopiles
Nysted 1	DONG Energy	165.6 MW	72	Bonus 2.3 MW/82	Gravity based
Horns Rev 2	DONG Energy	209.3 MW	91	Siemens SWT-2.3-93	Monopiles
Avedøre Holme	DONG Energy	10.8 MW	3	Siemens SWT-3.6- 120	Gravity based
Sprogø	Sund & Bælt	21 MW	7	Vestas V90-3.0 MW	Gravity based
Rødsand 2	E.ON	207 MW	90	Siemens SWT-2.3-93	Gravity based
Anholt	DONG Energy	399.6 MW	111	Siemens SWT -3.5- 120	Monopiles
Horns Rev 3	Vattenfall	400 MW	N.A.	N.A.	N.A.
Nearshore (Max. 6 projects)	N.A.	350 MW	N.A.	N.A.	N.A.
Kriegers Flak	N.A.	600 MW	N.A.	N.A.	N.A.

表 1 丹麥離岸風力發電廠現況

資料來源：Danish Energy Agency Report  
“Danish Experiences from Offshore Wind Development”

	
<p><b>Vindeby Offshore Wind farm</b> Source : Danish Energy Authority, "Offshore Wind Power Danish Experiences and Solutions"</p>	<p><b>Tunø Knob Offshore Wind farm</b> Source : Danish Energy Authority, "Offshore Wind Power Danish Experiences and Solutions"</p>
	
<p><b>Nysted Offshore Wind farm</b> Source : Danish Energy Authority, "Offshore Wind Power Danish Experiences and Solutions"</p>	<p><b>Anholt Offshore Wind farm</b> Source : <a href="http://www.dongenergy.com">www.dongenergy.com</a></p>

圖 7 丹麥運轉中的離岸風力發電廠



圖 8 丹麥營運中離岸風力發電廠位置圖

資料來源：Danish Energy Agency

## 四、丹麥離岸風場開發環境考量

### (一) 離岸風力發電計畫環境影響評估

環境影響評估是丹麥離岸風場開發環境考量最重要議題，環境影響評估報告書之認可是取得籌設許可的要件之一。丹麥離岸風力發電計畫籌設許可申請係以丹麥能源署（Danish Energy Agency）為單一窗口，經丹麥能源署選定的申請人獲得許可進行風場勘測和風能資源調查，還須進行環境影響評估，在遞交完整應用報告和環境影響評估報告書並完成公眾諮詢程序及審核認可後，始能進行離岸風場開發，所以離岸風場開發的環境影響評估是必須經過一系列邏輯化步驟達成，包括環境資訊蒐集分析、公眾參與以及嚴謹的環評程序，然後始由政府做成決策，如圖 9。

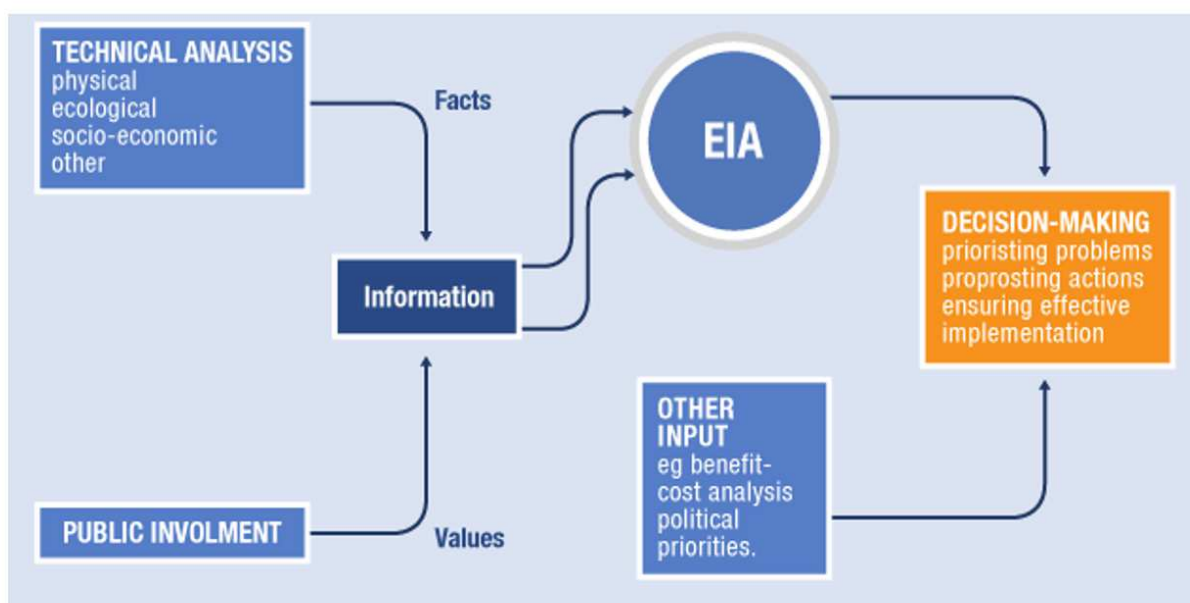


圖 9 丹麥離岸風場開發環境影響評估及決策流程

資料來源：NIRAS Offshore Wind Environment and consenting, 2016

## (二) 離岸風力發電計畫環評法規及流程

### 1. 環評法規

丹麥辦理離岸風力發電計畫環境影響評估主要依據法規為“Executive Order no.815 of Environment and Energy 28 August 2000”。

### 2. 環評流程

(1) 環境基本資料蒐集及範疇界定 (Baseline and Scoping)；

(2) 編擬環境影響評估報告書 (EIS)；

(3) 環境影響評估報告書提報丹麥能源署進行公眾諮詢程序；

環評重要議題刊載於當地及全國版報紙，刊載內容包括：

- 關鍵議題說明
- 環境影響評估報告書陳列地點及資料索取方式
- 公聽會相關事宜

(4) 丹麥能源署將環境影響評估報告書提送相關政府機關以及

團體研提審查意見，研審期間至少 8 周；

(5) 丹麥能源署審查核可。

## (三) 離岸風場開發規劃階段環境考量重要議題

NIRAS 在過去 25 年間曾參與多項來自英國，丹麥，波蘭、德國和法國的離岸風場計畫開發規劃經驗包括：Barrow、Walney 1 & 2、West of Duddon Sands、Westermose Rough、Walney

Extension、Burbo Bank Extension (UK) and Kriegers Flak、Vesterhav Nord Vesterhav Syd、Bornholm (DK)等。根據 NIRAS 提供的丹麥離岸風場開發經驗，整理相關環境議題如下：

1. 生態 (Ecology)：海域生態、海洋棲地、海洋哺乳類動物、魚類、底棲生物及鳥類、蝙蝠等；
2. 景觀 (Landscape)：陸域及海域視覺景觀；
3. 噪音 (Noise)：施工、營運及除役；
4. 眩光及日照陰影 (Shadow Flicker)；
5. 污染 (Pollution)：空氣及水質污染；
6. 考古 (Archaeology)：陸域及海底文化遺址；
7. 旅遊 (Tourism)；
8. 風場變化 (Wind Field Variation)；
9. 電磁場 (Magnetic Field)：海域變電站及海纜電磁場；
10. 海岸變遷模擬 (Coastal Process Modeling)；
11. 累積效應 (Cumulative Impact)；
12. 航運 (Navigation)；
13. 漁業 (Fisheries)。

## 五、水下噪音監測技術

根據丹麥離岸風場開發經驗，海上風力發電機組相關設施的施作、運轉維護甚至除役作業所產生的水下噪音，對海洋哺乳類動物的影響研究是非常重要的環境議題。海洋哺乳類動物是以聲波定位來獵食和導航游動，尤其是在海上安裝風力發電機組基礎打樁作業時所產生的水下噪音，可能會干擾牠們尋找同伴和食物的能力，所以在進行離岸風場開發時，必須審慎評估及規劃與海洋哺乳類動物有關的水下噪音減低措施及環境監測計畫。

離岸風力發電計畫開發歷程之水下噪音產生機制大致如下：

- 規劃與設計階段：海床地震測量調查、海氣象觀測塔安裝。
- 施工階段：打樁施工、施工船舶。
- 營運階段：風機運轉、維護船舶。
- 除役階段：拆除機具、施工船舶。

要充分了解海域環境背景、風機施工、營運或除役階段的水下噪音狀況，則必須藉由水下噪音量測儀器設備得之。

### (一) 水下噪音聲學指標

就人類來言，可聽見的聲音介於 20-20k Hz 的音頻範圍，其中對 1k Hz 的聲音感受度最為明顯，因此廣泛以 A-weighting 的聽力曲線來表示人類聽力的聽覺反應。海洋哺乳類動物的鯨豚、海豹及部分魚類對聲音的反應亦有所不同，特定物種聽覺器官對各頻率聲能的感受有程度上的差異，動物的聽覺以聽力門檻來表示特定物種的聽

覺器官條件，不同物種的聽力門檻皆有所差異。

特定物種感知聲音能力的測量是聽力圖，其呈現物種可以聽到的最低位準聲音或閾值的頻率函數，如圖 10。因此，聽力圖表示物種聽覺的濾波器特性，低於特定物種聽力圖中定義的聽力閾值的聲音值則不能被該物種感知。

此外，特定物種接受聲音大小的程度亦不同，例如 harbor porpoise 對 90 dB re 1 $\mu$ Pa 的音壓值，可能發生躲避反應的距離大約在 710 至 1,410 公尺之間，這些條件對量測方法極為重要。

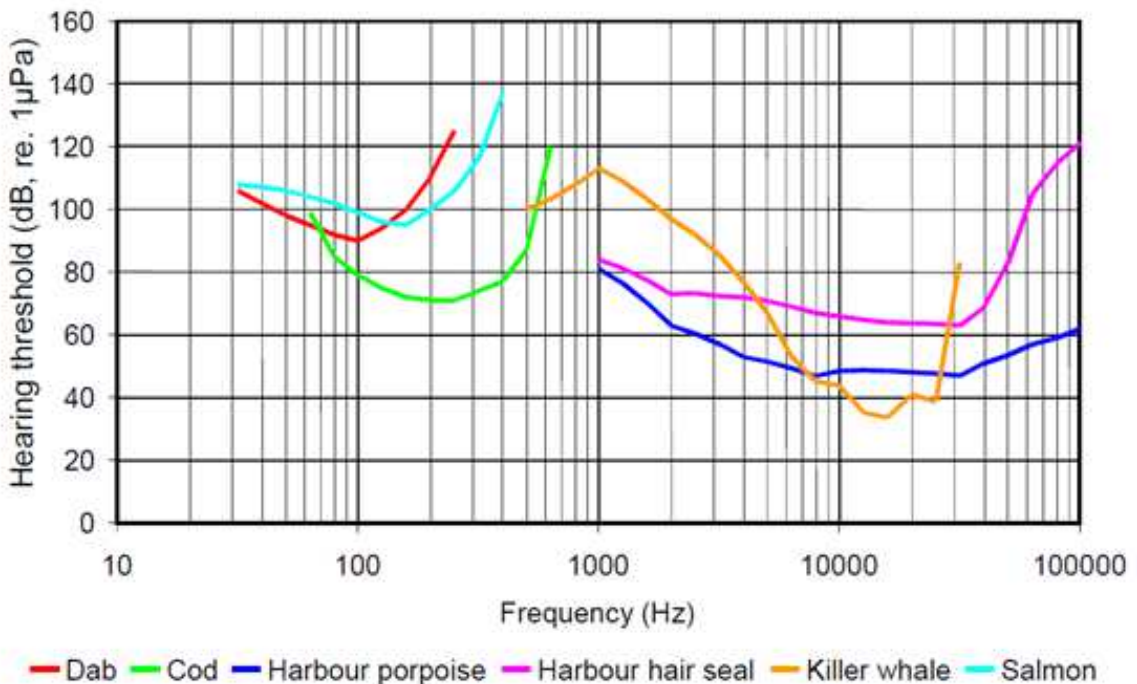


圖 10 各種海洋生物聽力圖

資料來源：A review of measurements of underwater man-made noise carried out by Subacoustech Ltd, 1993 – 2003



水下噪音位準以不同指標來表徵其強度、暴露程度或最大值。根據音源類型和預期用途，使用某個聲學指標表示，會比用另一個聲學指標表示更有用。以下茲就幾種聲學指標定義加以說明：

1. SPL (Sound Pressure level) ，如式(1)：

$$SPL = 20 \log \left( \frac{P}{P_{ref}} \right) \dots\dots\dots (1)$$

其中 P 是聲音壓力，Pref 是參考壓力。例如，1 Pa 的聲音壓力其 SPL 記為 94 dB，SPL 的單位以 dB 表示。

水下噪音音壓位準(Underwater sound Pressure level)其 SPL 單位以 dB re 1μPa 表示，因在水中的音壓位準參考值為 10<sup>-6</sup> Pa (1μPa)，大氣中音壓位準參考值是 20μPa，水下噪音音壓位準數值比大氣中噪音音壓位準高 26 dB。例如，1 Pa 的水下噪音聲音壓力 SPL 記為 120 dB re 1μPa，水下噪音 SPL 的單位以 dB re 1μPa 表示。

2. SL (Source level)：指距離音源 1m 處的水下噪音音壓位準，單位以 dB re 1μPa 表示。
3. TL (Transmission loss)：TL 是隨著距離而產生的音傳損耗，SL 及 TL 關係，如式(2)及圖 11：

$$SPL = SL - TL \dots\dots\dots (2)$$



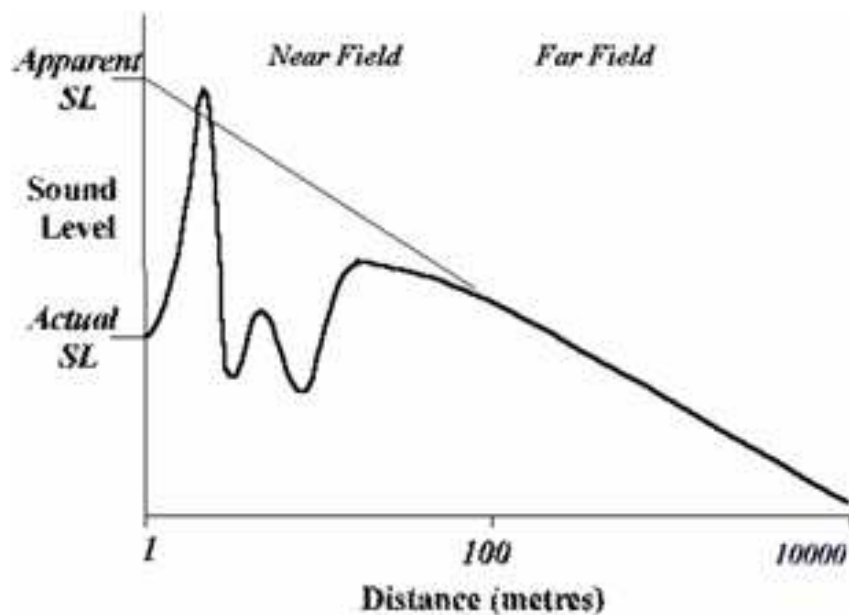


圖 11 SL 隨距離傳輸衰減變化示意圖

資料來源：A review of measurements of underwater man-made noise carried out by Subacoustech Ltd, 1993 – 2003

4. SPLp (Sound pressure level zero-peak) and SPLpp (Sound pressure level peak-peak) 定義：

SPLp 是脈衝  $p(t)$  的最大瞬時音壓位準；

SPLpp 是脈衝  $p(t)$  的音壓位準最大差異；

其中 SPLp 通常是在從 0 dB 到最大 SPL 的脈衝噪音發生時 SPL 的瞬時變化，SPLpp 表示音波傳播的結果從正最大到負最小的差分變化。如果壓力波的最大值和最小值是直接相反的話，則 SPLpp 將是 SPLp 的兩倍，即  $SPLp + 6dB$ 。

5. SPLrms(Sound pressure level root mean square)：指特定時段內所測得均能音量，能量平均值處理方式，如式(3)

$$P_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N P_n^2}{N}} \dots\dots\dots (3)$$

6. SEL (Sound exposure level) 定義，如式(4)：

SEL 為聲音暴露位準，定義為  $p(t)$  在整個脈衝持續時間  $T$  內的平方積分。

$$SEL = 10 \log_{10} \left( \int_T p^2(t) dt \right) \dots\dots\dots (4)$$

7. M-weighted SEL：

M 加權的 SEL 是用以反映具有相似聽力的某物種或一組物種的聽力。M 加權函數可被認為是 A 加權函數的水下對應物，A 加權函數通常用於表示人在大氣中的聽覺。這些加權函數通過在每個頻率處的一組校正係數考慮物種的非線性聽覺，表示當暴露於某種水下噪音時物種實際聽到的內容。因此，當確定海洋哺乳動物對任何水下噪音的行為反應時，M 加權函數是非常有用的。例如現正在丹麥進行的 Kriegers Flak Offshore Wind Farm 開發案環境影響評估中對於兩種海洋哺乳類動物感興趣，其中 Mhf-SEL 是對高頻鯨豚(high-frequency cetaceans)的水下噪音 SEL 加權校正，而 Mpw-SEL 是對鰭足類動物(pinnipeds)的水下噪音 SEL 加權校正。

## (二) 水下噪音量測儀器設備

水下噪音量測儀器基本上是由水下麥克風、訊號放大器、濾波器、資料儲存單元及資料處理單元等元件所組成。

水下麥克風(hydrophone 或稱為水下聽音器)中的偵測元件，將水中聲波能量轉換成電波，再將電波訊號(如電壓變化)以記錄元件將資料儲存下來。每種水下麥克風的偵測元件靈敏度不同，對不同音頻反應及方向性皆有差異，必須經過後續資料處理單元校正處理後，始能獲得準確的各種水下噪音指標參數，如 SPL、SPL<sub>pp</sub>、SEL 等，以及經過傅立葉轉換(fourier transform)後的能量頻譜圖，如時頻譜圖、頻寬為 1Hz 及 1/3 八音度頻帶頻譜圖。

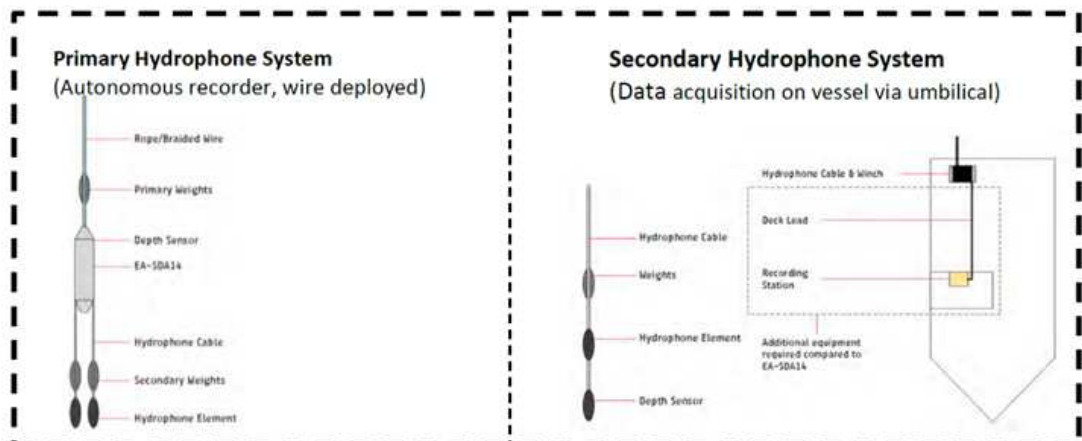
水下噪音量測儀器依佈放方式，常見的有船舶佈放型及海床錨碇型二類，船舶佈放型是以船舶作為載具，將水下噪音量測儀器從船舷邊下放至特定深度，此型水下噪音量測儀器可以即時監看水下噪音值數據，但訊號品質可能受到船體運動的干擾。而海床錨碇型水下噪音量測儀器則不會受船體運動干擾，可提高量測準確性，但缺點是電力限制且有遺失風險。茲各例舉一種水下噪音量測儀器加以介紹說明：

### 1. 船舶佈放型水下噪音量測儀器

本節例舉的船舶佈放型水下噪音量測儀器是 TGS 在 2015 年 8 月至 10 月期間委託 NIRAS 等單位，於東北格陵蘭間進行海底震測調查所使用的水下噪音量測儀器。該型水下噪音量測儀器包括主系統和次級(備用)系統，如圖 12。

主系統之主要設備為自動記錄器（型號 EA-SDA14），配有 Neptune D140H and HTI 90-U 校準水下麥克風，最大採樣頻率 78 kHz，且配置有深度感應器，使用絞盤電纜進行部署，操作深度可達 700 公尺。

次級系統是水下麥克風陣列，包括 Neptune D / 70 校準水下麥克風和深度感應器，內置一個前置放大器驅動信號通過電纜，將數據中繼到勘測船上的採集單元，記錄器使用 PAMGuard 軟體，具有深度判讀模組和頻譜圖附加益處，可以監視記錄。



水下麥克風



自動記錄器

圖 12 船舶佈放型水下噪音量測儀器

資料來源：TGS, "Noise Monitoring Survey Report, Seismic Survey North East Greenland, 2015"

## 2. 海床錨碇型水下噪音量測儀器

本節介紹的水下噪音量測儀器是 Wild Acoustics 公司發展的錨碇型聲學量測儀器 SM3M，如圖 13。水下麥克風靈敏度為 -165 dB re 1 $\mu$ Pa，頻率範圍 2 Hz to 192 kHz。SM3M 可選用 4 種不同的水下麥克風，使用靈活的雙通道訊號收錄方式，以優化不同的記錄目標。自動記錄器部分配置實用程式允許調整採樣頻率、濾波器和及啟動器等單元，回收後再進行資料擷取分析。

SM3M 潛水器使用 SDHC 和 SDXC 卡，有四個卡槽，每張卡能夠儲存 512GB 發聲數據，儲存容量超過 2 TB。SM3M 具多種配置方式，可升級為超音波水下麥克風或低噪音水下麥克風，以滿足不同的錄音需求。水下噪音調查佈署中如需要監測特定海洋生物，SM3M 也可以同時監測多種海洋生物的聲學數據。

SM3M 潛水器可在船舶快速維修和重新佈署，只需用附帶的扳手擰下潛水器蓋子，然後拉出電路板即可維修。SD 卡配合佈署目標需求更改，快速重新編程相關單元。SM3M 潛水器係透過繫繩或潛水員佈放錨碇，置放深度可達 150 公尺，使用鹼性錳電池續航力長達 243 天。



圖 13 Wild Acoustics SM3M Marine Recorder

### (三)水下噪音量測數據分析

離岸風場海事工程的水下噪音聲源種類，可依聲波的訊號分成連續波(continuous wave)及脈衝波(pulse wave)，連續波的噪音來源如施工船舶輪機或馬達，脈衝波如震測音源或基礎打樁噪音。

水下噪音調查所得之監測資料目前幾乎均以數位化方式處理，不論是在硬體或軟體上，皆能夠使用數位訊號處理方法，計算各種水下噪音值或繪成頻譜圖，以提供後續分析及研究。

水下噪音量測儀器測得的噪音訊號，其量化方式與空氣噪音類似，可使用 SPLp、SPLpp 或 SEL。當水下噪音訊號是脈衝波這類的暫態訊號時，常用峰對峰音壓值(SPLpp)表示，若加入訊號發生的時間長度，採用 SEL 更能表現出訊號的特性，所以評估水下噪音時必須清楚說明係採用何種量化方式展現。另如採用頻譜圖表示時，可用 FFT(fast fourier transform)取得 1Hz 窄頻頻譜圖，亦可用八音度或 1/3 八音度的頻譜圖表示。水下噪音監測數據分析頻譜圖，如圖 14。

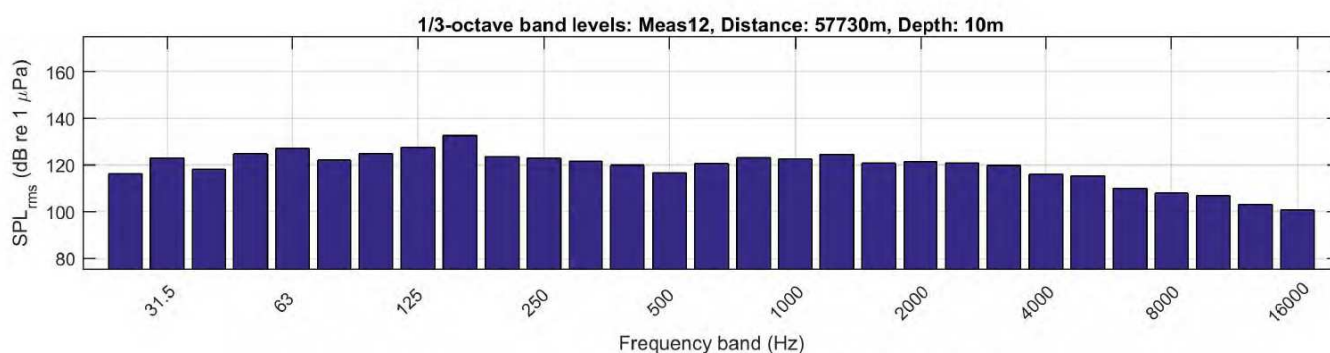
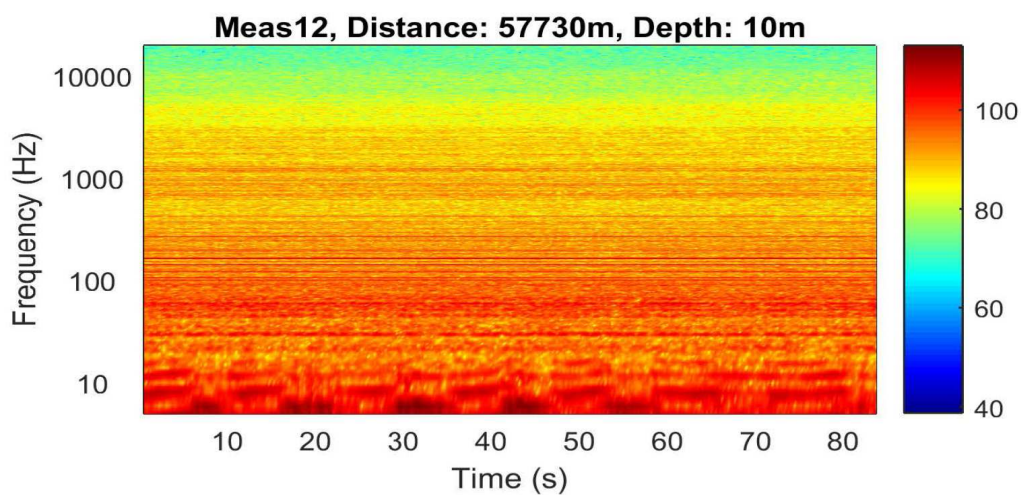
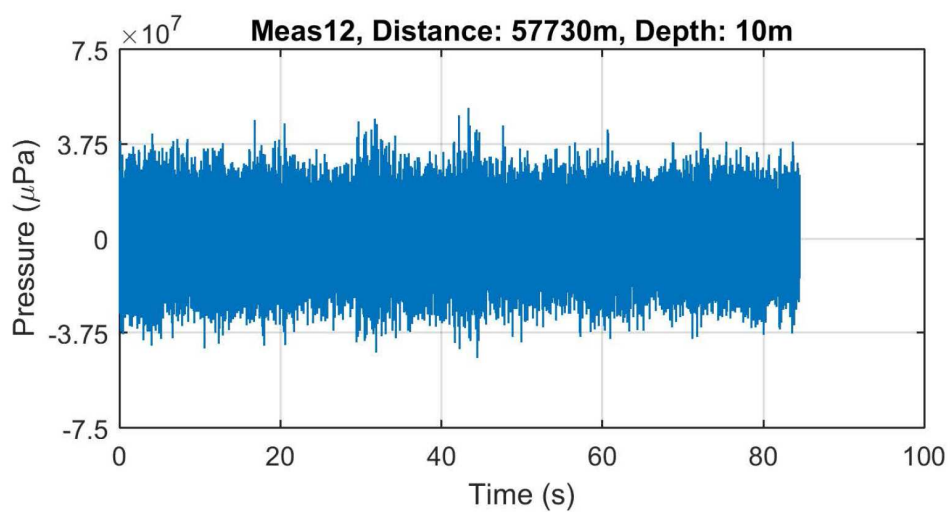


圖 14 水下噪音監測數據分析壓力時序圖、頻譜圖及 1/3 八音度頻譜圖

資料來源：TGS, “Noise Monitoring Survey Report,  
Seismic Survey North East Greenland ,2015”



## 六、水下噪音模式

離岸風場開發長期縝密的水下背景噪音調查研究可供驗證水下噪音模式，透過模式分析充分完整地展現水下噪音時空分佈狀況，同時藉由水下噪音模式評估工具，據以選定適切的噪音減低對策，以確保開發行為對海洋生態干擾減至最小。

水下噪音模式種類眾多，依開發機構及其應用特性而異，本節介紹 NIRAS 在 Kriegers Flak 海上風場計畫環境影響評估，進行水下噪音評估時所使用水下噪音模式 NISIM 及其展現情形供公司參考。

### (一) 水下噪音模式 NISIM 簡介

水下噪音模式 NISIM 係由 Heat、Light and Sound Research Inc. Michael Porter 和 Laurel Henderson 所開發，用來模擬聲音的傳播，應用廣泛不只限於衝擊性音源如打樁或地震勘測水下噪音模擬。

NISIM 水下噪音模式特性：

- 適合淺水區和深水區海域的水下噪音模擬。
- 使用聲學時間序列的實際噪音源作為輸入參數，能夠模擬全頻率範圍的噪音源影響。
- 適用移動源及固定源的水下噪音模擬。
- 能夠提供所有相關的水下噪音聲學指標參數，且可顯示音源設定半徑內的任何位置水下噪音 color-coded maps。
- 使用各種數據庫擷取必要位置的特定數據，例如聲速剖面，測深，海況剖面和沈積物性質，能選擇出具所述區域最精確



數據的數據庫資料。

## (二) 水下噪音模式 NISIM 展現

NIRAS 辦理 Energinet.dk 位於波羅的海，距離 Møn 海岸 15 公里處的 Kriegers Flak 離岸風力發電廠開發計畫環境影響評估時，針對風力發電機組施工期間進行 NISIM 模式水下噪音模擬。

海上風場開發對附近海洋哺乳類動物活動的主要干擾是施工期間風機基礎打樁作業水下噪音影響。Kriegers Flak 離岸風場的風機基礎類型規劃包括重力基礎、套筒基礎和單樁基礎等。

重力基礎包括一個很重的混凝土基礎，降落到海床上，由於其重量很大所以可以保持穩定，重力基礎安裝引起噪音比較低。

套筒基礎是由附著在金屬框架上的多個(通常為 4 個)樁組成，使用衝擊錘將每個樁打入海床中穩定，施工過程中產生較高的水下噪音，因為來自衝擊錘的能量使得每個樁振動並因此產生聲波。

單樁基礎是由單個超大直徑的鋼柱或混凝土樁組成，透過衝擊錘打推入海床。對於規模相同風力發電機組其單樁直徑顯著大於套筒基礎，單樁的直徑越大，將其打入海床所需的力量越大，因此來自錘擊的音源位準越高，所以必須採行有效地減低對策以減輕水下噪音影響。

Kriegers Flak 離岸風場計畫風力發電機組規劃容量介於 3 MW 至 10 MW，模擬時選擇最保守(worst case)的情況，即風機容量 10MW、10 m 直徑的單樁基礎打樁作業進行水下噪音模式模擬。

基於上述，此次模擬情境設定使用最大擬議的單樁基礎直徑為 10 m，任何 24 小時內完成一個基礎安裝，每個基礎的安裝分為三個階段，以準確反映典型情況，施工時間為 6 小時，衝擊錘每次打擊最大能量 3,000 kJ，每分鐘 20 次錘擊，安裝單個基礎的 6 小時內有 7,000 次錘擊，來進行單樁基礎打樁作業的水下噪音模擬。此外，模擬情境必須確定所有必要的狀況，以便對打樁活動進行準確的影響評估，包括決定 SPLp、SPLpp、SEL。同時也進行了物種特異性模擬，模擬結果可反映出特定物種的實際聽力狀況。

由於迄今為止，還沒有海上風力發電廠有 10 m 直徑單樁基礎打樁噪音音源位準數據，因此此次模擬參考 SubAcoustech 公司進行 SubHousts Rev 3 海上風力發電廠水下噪音模擬時所採用音源位準 SPLzero-peak @ 1m = 244.7 dB re 1 $\mu$ Pa，SEL @ 1m = 221.6 dB re 1 $\mu$ Pa。

NISIM 模式模擬結果以表和音壓位準圖組合展現，圖 15 是風場單樁基礎打樁作業位置示意圖，打樁位置共選 3 處分別進行模擬，表 2 是模式輸入條件參數。表 3 是單樁基礎水下噪音模擬結果，表中 R 代表距離音源位置 R 公尺處的噪音值，如 R max SPLp = 220 dB re 1 $\mu$ Pa 為 25 m，這意味著 R max SPLp 220 dB 及以上的噪音值只會在距音源 25 m 內發生，超過該距離時，噪音值將低於 220 dB。表 4 是單樁基礎打樁作業採行 8 dB 減輕對策後水下噪音模擬結果。圖 16 是單樁基礎打樁作業水下噪音模擬 SEL 及 SPLp 空間分布情形。

下列為以前相關開發計畫採行不同減低對策方法後，所獲得的音源噪音衰減值資料，Energinet.dk 參考下列數據決定對 Kriegers Flak

離岸風場計畫單樁基礎打樁作業模擬情境使用謹慎的 8 dB 衰減值來進行水下噪音模擬。

減低對策	音源噪音衰減值
Temporary noise attenuation pile	10 dB
Big bubble curtain at FINO-3	12 dB
Big bubble curtain at OWF Borkum West II	5 - 13 dB
Small bubble curtain at OWF alpha ventus	2 - 13 dB
Cofferdam at Aarhus Bay test setup	22 dB

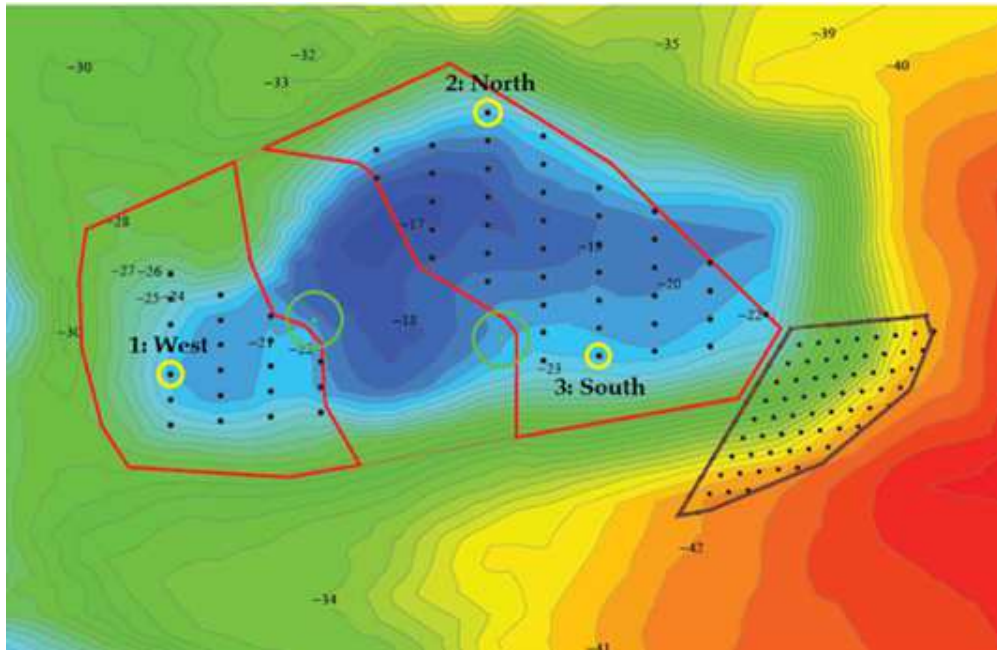


圖 15 Kriegers Flak 風場水下噪音模擬單樁基礎位置圖

資料來源：Energinet.dk, "Kriegers Flak Offshore Wind Farm Underwater Noise Modelling EIA Technical Report, 2015"

表 2 Kriegers Flak 風場水下噪音模擬基本條件參數

Parameter	Value used in modelling
Wind Turbine size	10 MW
Foundation type	Monopile (d = 10 m)
Hammer force	3,000 kJ
Source Level (SPL <sub>zero-peak</sub> @ 1 m)	244.7 dB re 1 μPa
Source Level (SEL @ 1 m)	221.6 dB re 1 μPa
Installation duration per foundation	6 hours
Number of strikes per foundation	7,000
Maximum number of foundations installed within a 24 hour period	1

Table 1: Source modelling parameters.

資料來源：Energinet.dk, "Kriegers Flak Offshore Wind Farm Underwater Noise Modelling EIA Technical Report, 2015"

表 3 Kriegers Flak 風場單樁基礎水下噪音模擬結果(不含 8dB 減低對策)

Distance to thresholds, single strike						
	Location 1: West		Location 2: North		Location 3: South	
Threshold	R <sub>max</sub> (m)	R <sub>mean</sub> (m)	R <sub>max</sub> (m)	R <sub>mean</sub> (m)	R <sub>max</sub> (m)	R <sub>mean</sub> (m)
<b>Peak-Peak Sound Pressure Level - SPLp-p [dB re. 1 μPa]</b>						
226 dB	40	34	38	34	37	32
<b>Peak Sound Pressure Level - SPLp [dB re. 1 μPa]</b>						
230 dB	14	11	13	10	12	< 10
224 dB	29	26	28	25	29	26
218 dB	84	78	80	76	82	78
212 dB	428	375	430	368	412	361
<b>M-weighted Sound Exposure Level - SEL(M<sub>hf</sub>) [dB re. 1 μPa<sup>2</sup> · s]</b>						
198 dB	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
183 dB	46	38	47	42	48	43
<b>M-weighted Sound Exposure Level - SEL(M<sub>pw</sub>) [dB re. 1 μPa<sup>2</sup> · s]</b>						
186 dB	374	355	368	354	328	315
171 dB	2 140	1 790	2 080	1 775	2 045	1 750
<b>Sound Exposure Level - SEL [dB re. 1 μPa<sup>2</sup> · s]</b>						
164 dB	5 160	4 350	5 360	4 160	5 180	4 720
140 dB	96 540	71 200	94 430	70 160	89 920	76 610

表 4 Kriegers Flak 風場單樁基礎水下噪音模擬結果(含 8dB 減低對策)

Distance to thresholds, single strike, 8 dB Attenuation						
	Location 1: West		Location 2: North		Location 3: South	
Threshold	R <sub>max</sub> (m)	R <sub>mean</sub> (m)	R <sub>max</sub> (m)	R <sub>mean</sub> (m)	R <sub>max</sub> (m)	R <sub>mean</sub> (m)
<b>Peak-Peak Sound Pressure Level - SPLp-p [dB re. 1 μPa]</b>						
226 dB	< 10	< 10	< 10	< 10	11	< 10
<b>Peak Sound Pressure Level - SPLp [dB re. 1 μPa]</b>						
230 dB	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
224 dB	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
218 dB	22	18	23	18	22	18
212 dB	70	63	68	61	69	66
<b>M-weighted Sound Exposure Level - SEL(M<sub>hf</sub>) [dB re. 1 μPa<sup>2</sup> · s]</b>						
198 dB	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
183 dB	< 10	< 10	12	10	< 10	< 10
<b>M-weighted Sound Exposure Level - SEL(M<sub>pw</sub>) [dB re. 1 μPa<sup>2</sup> · s]</b>						
186 dB	38	32	40	36	40	33
171 dB	780	712	774	712	762	701
<b>Sound Exposure Level - SEL [dB re. 1 μPa<sup>2</sup> · s]</b>						
164 dB	2 280	1 970	2 340	2 120	2 300	2 050
140 dB	50 800	28 220	50 640	32 260	47 180	29 050

表 3 表 4 資料來源：Energinet.dk, "Kriegers Flak Offshore Wind Farm Underwater Noise Modelling EIA Technical Report, 2015"



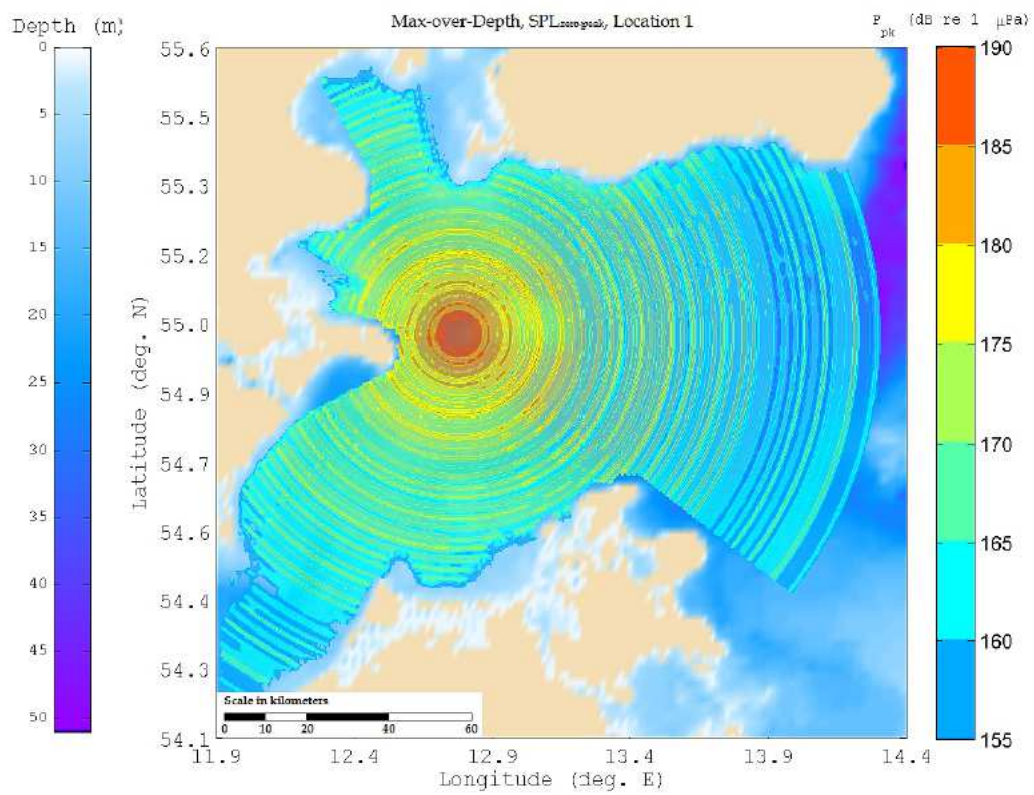
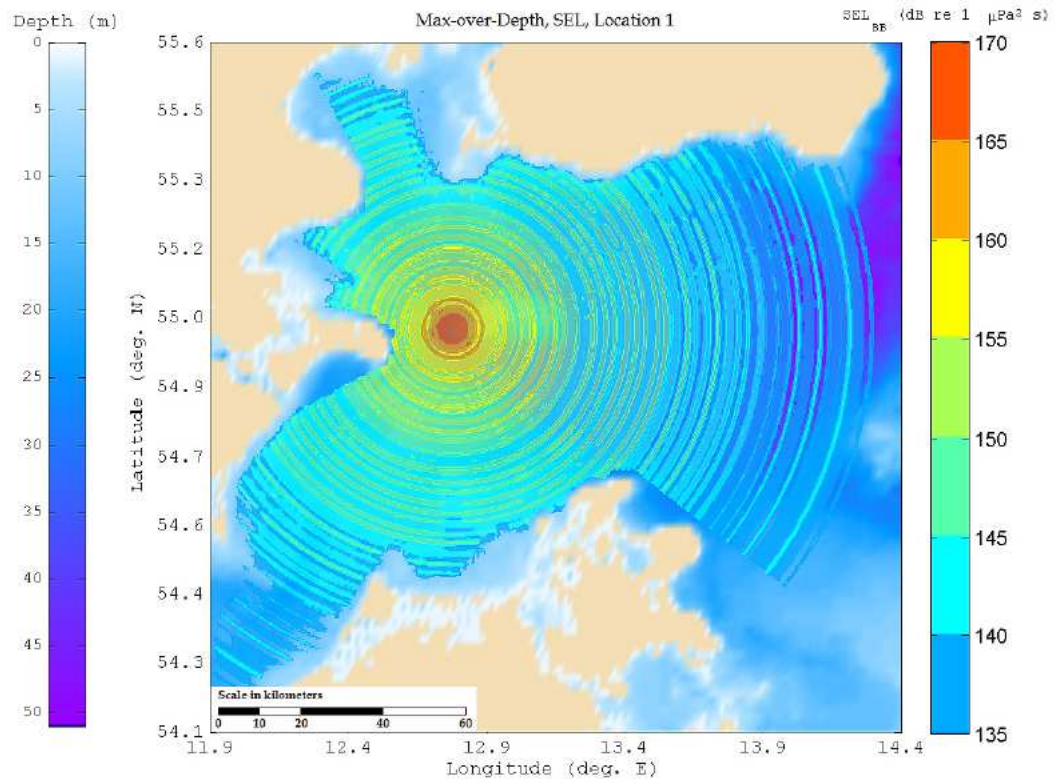


圖 16 Kriegers Flak 風場水下噪音模擬 SEL 及 SPL<sub>p</sub> 空間分布圖  
 資料來源：Energinet.dk, "Kriegers Flak Offshore Wind Farm Underwater Noise Modelling EIA Technical Report, 2015"

## 七、水下噪音減低對策與監測計畫

海上風場開發所產生的水下噪音，對附近海域海洋生態會有所干擾，因水下噪音可能對生活在海洋中的哺乳類動物、魚類或底棲生物造成棲地改變或影響其行為模式。在海上風場開發整個開發歷程中水下噪音產生機制，主要發生於規劃階段的海床地震測量調查、海氣象觀測塔安裝，施工階段的打樁施工及施工船舶，營運階段的風機運轉及維護船隻以及除役階段的拆除機具及施工船舶作業活動，其中影響水下噪音最大的作業活動就是將風力發電機組基礎推入海床的打樁作業。

營運階段噪音源主要來自風力發電機組運轉噪音，這種噪音可透過基地輻射到水中。以前在 Rødsand 海上風場、Anholt 海上風場和 Sprogø 海上風場的相關研究發現，風機運轉的水下噪音比背景水下噪音高出約 10 - 20 dB，遠低於發生干擾的任何閾值，故營運階段預計不會出現明顯的水下噪音影響。

施工期間打樁、基礎結構、海纜鋪設等施工行為皆會擾動海域及可能影響海洋哺乳類動物，其中又以打樁所產生的水下噪音對海洋哺乳類動物影響最為顯著。若海洋哺乳類動物剛好位於打樁區域附近，突發的巨大噪音可能造成海洋哺乳類動物受傷或死亡。因應之道可以於打樁初期，先以較低出力的施工方式，用以產生較小的噪音，驅趕打樁區域附近的海洋哺乳類動物，避免造成傷害，待一定時間以後再進行正常施工。茲介紹幾種歐洲水下噪音減低對策供參考。

## (一) 水下噪音減低對策

### 1. 氣泡幕(bubble curtain)

氣泡幕是在單樁施作的位置周圍產生氣泡帷幕，氣泡幕中的氣泡產生有效的聲阻，阻止聲音傳播。這項技術是用海底的輸送管來釋放氣泡，以製造出隔音屏障，方法簡單而成本低，如圖 17 及圖 18。

### 2. 聲學威懾裝置(acoustic deterrent device)

風機基礎打樁時，有可能會讓海洋哺乳類動物海豚、海豹暴露於高水下噪音風險，因此可以在打樁區域透過使用水下聲學警報器(underwater acoustic alarm)來減少或消除此風險。水下聲學警報器使用方式是在開始打樁之前立即打開 porpoise pinger 或 seal scarer，阻止海豚、海豹靠近施工區域，距離至少可達幾百公尺(porpoise pinger)或達 7.5 公里(seal scarer)。

seal scarer 適用來阻止海豹進入水產養殖場和漁網，因為海豹通常對水下噪音忍受度較高，所以 seal scarer 會在比 porpoise pinger 高的音壓位準下操作。而使用 seal scarer 就可同時達到驅離海豹及海豚的效果，在施工期間不應持續使用水下聲學警報器，以避免長期偏離該區域潛在的聲音適應環境，且應該在每次打樁前進行操作，並於操作完成時就將其關閉，因一旦打樁作業正在進行中，打樁聲音本身就會阻止海洋哺乳類動物靠近。



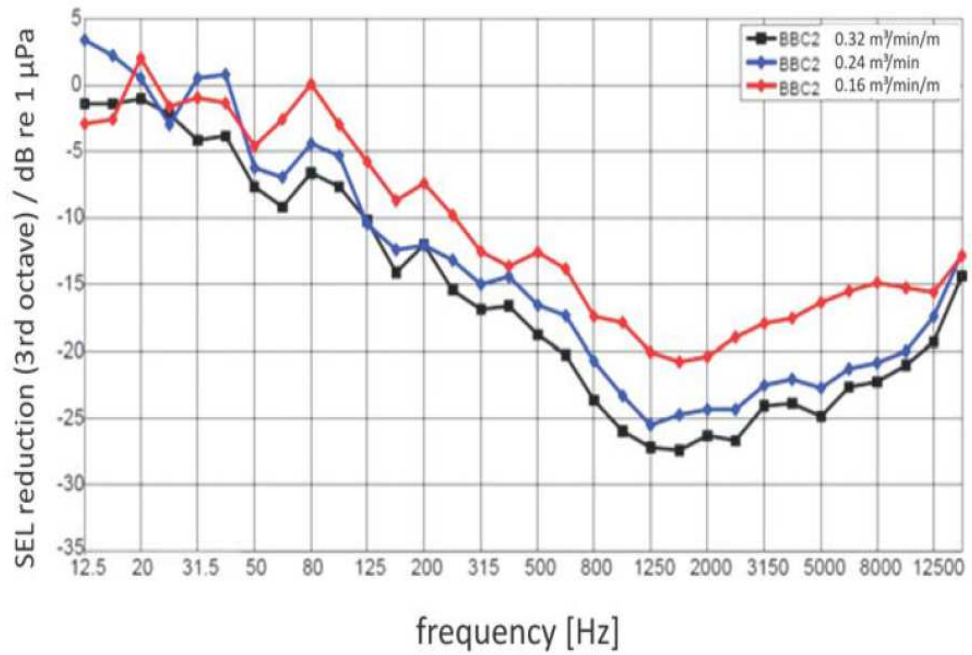


圖 17 氣泡幕水下噪音 SEL 減輕效果示意圖

資料來源：Noise reduction achieved by a BBC at the offshore wind farm Borkum West II as a function of air supply (BELLMANN 2012, modified)



圖 18 海上風機施工作業氣泡幕設置示意圖

資料來源：Application of a BBC by Hydrotechnik Lübeck at the offshore wind farm Borkum West II (photo: Trianel GmbH/Lang)

### 3. 漸進式打樁作業(ramp up procedure)

使用 soft start(ramp up procedure)方式打樁，由低的力道開始打樁，慢慢漸進到全力道打樁，打樁機傳遞到樁的能量在第一次打擊後逐漸增加，可以與部署水下聲學警報器具有相同的保護效果。因此，在風機基礎打樁初期先嘗試以較低出力的施工方式，用以產生較小的噪音，驅趕打樁區域附近的海洋哺乳類動物，以避免造成傷害，待一定時間以後再進行正常施工。

### 4. 替代基礎(alternative foundation)

單樁基礎和套筒基礎會產生強度較高的水下噪音，所以可以考量採用其他不會造成水下噪音影響的風機基礎施作。如 Nysted 海上風場和 Rødsand2 海上風場周圍大部分的基礎即使用重力基礎，亦可考量使用現正發展中的漂浮式風機。

### 5. 打樁加裝阻尼器(pile driving plus resistance)

為降低風機基礎打樁作業產生的水下噪音影響，歐洲不斷研發相關的減低技術，本節介紹一種由 OffNoise Solutions GmbH 公司所開發的水下噪音抑制方法 Hydro Sound Damper (HSD) 供參考。此種水下噪音阻尼系統係以小型充氣彈性氣球置於圍繞固定在樁體的網內或框架內組成，基本原理與氣泡幕相似，主要是利用氣球共振頻率引起的散射和吸收，共振效應決定因素與振盪行為、材料特性、厚度有關，不同頻率的噪音降低效果可以透過氣球特性變化來調節。

## （二）水下噪音監測計畫

為瞭解離岸風場開發環評階段評估成效，追蹤計畫施工及營運對環境之實質影響，對各項污染防制措施及時進行必要之改善，掌握未預期的環境影響，迅速謀求有效因應對策減輕環境衝擊，以及保留完整環境資訊，為自然資源永續建立基礎，離岸風力發電計畫環境影響評估需於施工前、施工中及營運後三個階段進行環境監測。施工前、施工期間必須依環評階段所擬訂的環境監測計畫切實執行，施工完成營運後仍需至少進行三年的環境監測。

環境監測項目一般包括有海域水質、漂砂、海床地形、海流、風場、鳥類(數量、種類、棲息地、食物鏈、飛行高度與遷徙路徑) 海域生態、海洋哺乳類動物、魚貝類、底棲生物、基樁生物聚集、噪音、景觀、電磁場、漁業及航運等項。而水下噪音一般必須進行時頻譜、1Hz 頻寬及  $1/3$  八音度頻寬頻譜分析。

丹麥於 2003 年建置的 Horns Rev 及 Nysted 二處大型離岸風場示範計畫，於 1999 年至 2001 年進行施工前環境監測，2001 年至 2003 年進行施工期間環境監測，2003 年至 2006 年則進行營運期間環境監測，此環境監測計畫由 Forest and Nature Agency、Danish Energy Authority、Elsam 及 Energi E2 共同執行，由 International Advisory Panel of Experts on Marine Ecology (IAPEME) 負責監督，另有多個 NGO 組織從旁監視，在政府及民間機構嚴謹地監督下，使得丹麥在離岸風場環境研究領域位居國際領導地位，提供歐洲及全球離岸風場開發者寶貴的環境研究資訊。

茲簡要說明離岸風力發電計畫開發水下噪音項目環境監測計畫擬訂流程如後(圖 19)：

1. 首先進行風場附近海域水下背景噪音及海洋生態調查研究。
2. 選擇適合的水下噪音模式。
3. 運用水下背景噪音調查資料進行水下噪音模式驗證分析。
4. 蒐集風場施工期間及營運期間作業活動水下噪音源資料。
5. 計畫相關參數輸入，模式模擬分析水下噪音時空分佈特性。
6. 模擬計畫採行減輕對策後水下噪音時空分佈特性，配合海洋生態調查研究資料評估影響程度。
7. 根據選定情境的模擬結果，依水下噪音時空分佈特性，擬訂風場計畫施工期間及營運期間環境監測計畫。

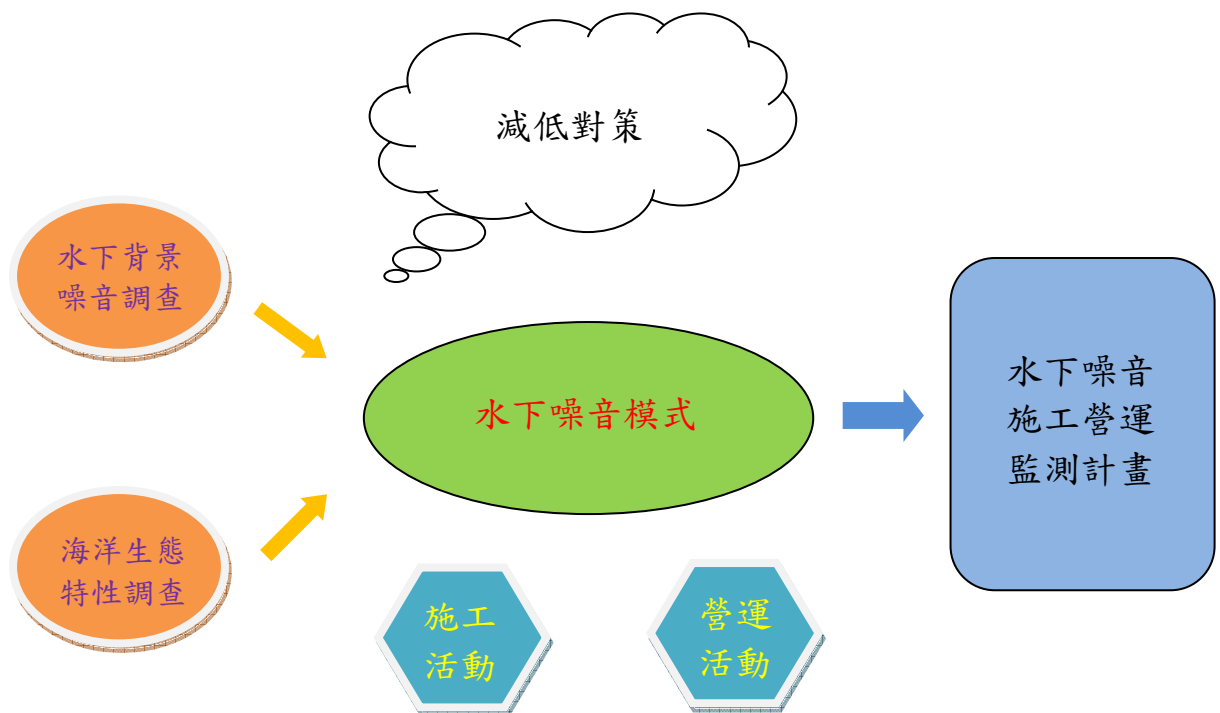


圖 19 離岸風場開發水下噪音環境監測計畫擬訂流程

## 八、離岸風力發電計畫環評案例

Kriegers Flak Offshore Wind Farm 位於丹麥瑞典和德國間海域，是丹麥開發規劃中的離岸風力發電計畫，Kriegers Flak 海上風場預計於 2021 年完工商轉，完成後將是丹麥最大的離岸風力發電廠，Kriegers Flak 離岸風力發電計畫由 Energinet.dk 開發規劃，委託 NIRAS 辦理環境影響評估工作。

丹麥許多海上風場開發的環境影響評估可以在一年內就完成，但 Kriegers Flak 離岸風力發電計畫的環境影響評估報告書編撰迄今已經花了三年時間，這是一個很長的時間，因為它是一個非常龐大的計畫，涵括了許多實地調查及評估研究，報告預定於 2016 年年底提交公開聽證會。本次實習特選定丹麥目前辦理中的 Kriegers Flak 離岸風力發電計畫環評案例，加以整理說明供公司參考。

### **Kriegers Flak 離岸風力發電計畫環評案例**

- 辦理依據：“Executive Order no.815 of Environment and Energy 28 August 2000”。
- 開發單位：Energinet.dk。
- 評估顧問：NIRAS。
- 開發場所：Baltic Sea between Bornholm and Møn。
- 開發內容：

為確保能源供應不虞匱乏，同時有助於減少全球溫室氣體排放，丹麥議會通過了 2012 - 2020 年能源政策協議，這項協議的目標

是 2050 年整個丹麥能源供應全面使用再生能源。該協議包括建立新的大型離岸風力發電廠等多種選項，而 Kriegers Flak Offshore Wind Farm 則是其中選項之一。

Kriegers Flak 海上風場位於丹麥與瑞典南端，德國北側間波羅的海的淺水區域，如圖 20。風場開發內容包括總裝置容量 600MW 的離岸風力發電廠，海底 75 公里的電纜走廊以及在岸上建立變電站。

風機規模介於 60 部 10MW 或 200 部 3MW 的風力發電機組，風機高度依所選擇規模類型介於 137m 和 220m 之間，如表 5。風機確切設計和外觀將取決於製造商。風場計畫開發時程如表 6，預計於 2021 年完工商轉，完成後可提供 60 萬戶家庭所需的電力，預計每年減少約 110 萬公噸的二氧化碳排放。

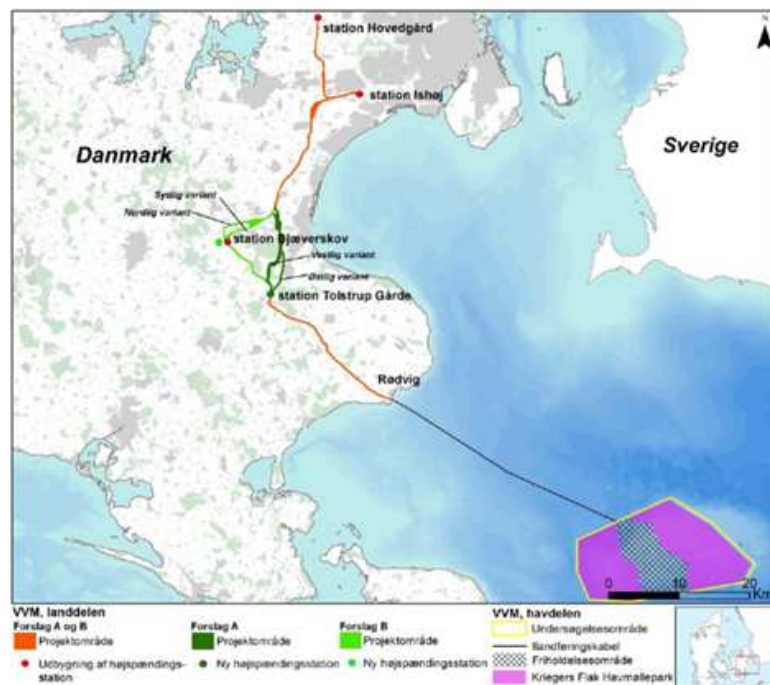


圖 20 Kriegers Flak Offshore Wind Farm 位置圖

資料來源：Environmental Statement of Kriegers Flak Offshore Wind Farm part1 Non-Technical Summary, Energinet.dk

表 5 Kriegers Flak 海上風場各種風力發電機組規劃規模

Turbine Capacity	Rotor diameter	Total height	Hub height above MSL*	Swept area
3.0 MW	112 m	137 m	81 m	9,852 m <sup>2</sup>
3.6 MW	120 m	141.6 m	81.6 m	11,500 m <sup>2</sup>
4.0 MW	130 m	155 m	90 m	13,300 m <sup>2</sup>
6.0 MW	154 m	179 m	102 m	18,600 m <sup>2</sup>
8.0 MW	164 m	189 m	107 m	21,124 m <sup>2</sup>
10.0 MW	190 m	220 m	125 m	28,400 m <sup>2</sup>

資料來源：Energinet.dk

表 6 Kriegers Flak Offshore Wind Farm 開發時程表



資料來源：Environmental Statement of Kriegers Flak Offshore Wind Farm part1 Non-Technical Summary, Energinet.dk



離岸風力發電機組塔架必須附接到海床上的基座，基礎型式需考量安全、成本、施作時間與施工期間降低環境衝擊等項，該計畫規劃採用的風機基礎型式有下列 4 種選項，如圖 21：

- 1.單樁基礎(monopile foundation)：以單一鋼管打入海床，鋼管長度、直徑和厚度隨水深增加而增加。
- 2.重力基礎(gravity foundation)：由結構本身重量穩定於海床上的混凝土結構。
- 3.塔架基礎(jacket foundation)：以鋼質塔台空間框架，鋼管為骨架，基礎由三支腳或四支腳鋼柱構成。
- 4.吸筒基礎(suction bucket foundation)：由透過真空作用附接到海床的顛倒筒狀結構。



圖 21 單樁基礎、塔架基礎、重力基礎及吸筒基礎示意圖(左至右)

資料來源：Environmental Statement of Kriegers Flak Offshore Wind Farm  
part1 Non-Technical Summary ,Energinet.dk



- 環境現況：

Kriegers Flak 是位於丹麥東部，介於丹麥、瑞典和德國之間大約 15 公里處波羅的海的一個面積約 250 平方公里淺水區域。 Kriegers Flak 海上風場開發區域即位於此區域內。 Kriegers Flak 海域中心部分水深一般在 16 至 20 公尺之間，沿岸邊緣水深在 20 至 25 公尺之間，沿北部、南部和西部則是超過 25 至 30 公尺深的水域。 調查區的中央有一個限制區，該區域的一部分約 28 平方公里的海域，保留用於沙土開採，不允許安裝海上風機，限制區域的其餘部分則保留用於安裝海底電纜。

因此，風力發電機組將設在東部（110 平方公里）和西部（69 平方公里）區域，東部區域風機裝置規模為 400MW，西部區域風機裝置規模為 200MW。

海上風力發電廠產生的電力在海上變壓站平台收集後，通過海底傳輸電纜輸送到岸上，這些電纜將在 Stevns 的 Rødvig 南岸上岸，上岸後電力通過地下電纜傳輸到位於 Herfølge 南部的一個新的高壓變電站，再輸送到三個現有的高壓變電站：Substation Bjæverskov 變電站，Ishøj 變電站和 Ballerup 以西的 Hovegård 變電站，將海上風場產生的電力連接到現有電網。

Kriegers Flak 海域東南部，有一個德國的海上風場 Baltic II 正在建設中，而在瑞典領土亦有一個類似計畫，目前在初步調查後處於待命狀態。

- 環評項目

Kriegers Flak 離岸風場計畫環境影響評估項目包括海上風場對人們的影響(如陸上變電站設施、噪音與振動、電磁場、社會經濟影響、眩光、陰影、反射和視覺景觀、旅遊、航運、漁業等)；動植物生態(如鳥類、蝙蝠、海洋哺乳動物、底棲生物、魚類、棲息地等)；基礎設施影響(如雷達裝置、航空導航、商業捕魚、碰撞風險等)；以及其他環境問題(如氣候、空氣品質、土壤、廢棄物、水下噪音、海水水質、陸域及海域文化遺址考古、海岸地形變遷、風場變化、累積效應等)。

海上風場開發是否會干擾到生存於該海域的海豹或海豚等海洋哺乳類動物，是 Kriegers Flak 海上風場環評所關切的重要環境議題。一般而言，水下噪音對海洋哺乳類動物的影響可簡分為四類：物理傷害(physical damage)、行為改變(behavior change)、遮蔽(masking)及可察覺(audibility)，重要的是要注意，每個衝擊區域的限制並不是很明顯，在不同區域間存在很大的重疊，評估主要集中於物理傷害和行為變化。

物理傷害包括導致動物聽力永久損失(PTS, permanent threshold shift) 或只是暫時性的聽力損失 (TTS, temporary threshold shift)，於噪音衝擊後動物將慢慢恢復其原始檢測能力，此外，影響的持續時間亦將影響動物恢復的時間。當海洋哺乳類動物距離水下噪音源很近時，可能會造成物理傷害；當距離水下噪音源稍遠一點，雖然未對海洋哺乳類動物造成物理傷害，但仍可能會使海洋哺乳類動物

產生行為上的干擾，動物的反應可以根據季節，年齡，年齡，性別以及引起行為變化的聲音強度、頻率和時間結構而有很大變化，行為變化本質難以評估，變化範圍會從非常強烈的反應，例如恐慌亂竄，到較溫和的反應；當距離更遠一點，行為的干擾更少，此時噪音量仍可能高過海洋哺乳類動物在環境中可能會聽到的聲音，即遮蔽效應，遮蔽效應係因噪音影響，使得動物難以檢測到其它重要的聲音而發生遮蔽；最後則是可察覺，海洋哺乳類動物雖然聽到人為噪音，但並沒有明顯的發生任何行為改變，或是遮蔽效應，僅限於聽見的層面。

- 環保措施

該計畫環評已進行了3年，在海上風場開發影響區域有許多的調查和研究，能充分掌握該區域海洋生態特性，妥適規劃風場佈置，以避免干擾到海洋哺乳類動物的棲息環境。

波羅的海是數種海洋哺乳類動物的家，包括海豹和海豚。海豚一生生活在水中，而海豹在岸上繁殖和休息。港口海豚(harbour porpoise)是丹麥最常見的海豚種類，可以在丹麥水域全年看到，由於 Kriegers Flak 地區港口海豚很少，預期海上風力發電廠開發不會對港口海豚造成影響。

海豹生活在波羅的海沿海地區，特別是在魚、魷魚和甲殼類動物等食物豐富的地方。海豹和海豚都受到國際保護，它們列於歐盟棲息地指令附件 II 和 V 中(Annexes II and IV of the EU Habitat Directive)。為了調查港口海豚和海豹使用 Kriegers Flak 的程度，環評

不僅彙整以前完成的相關文獻和調查結果，此外也在海豹身上標記有 GPS 發射機，並觀察一段時間。圖 22 顯示了海豹在春季、夏季、秋季和冬季的棲息地狀況。

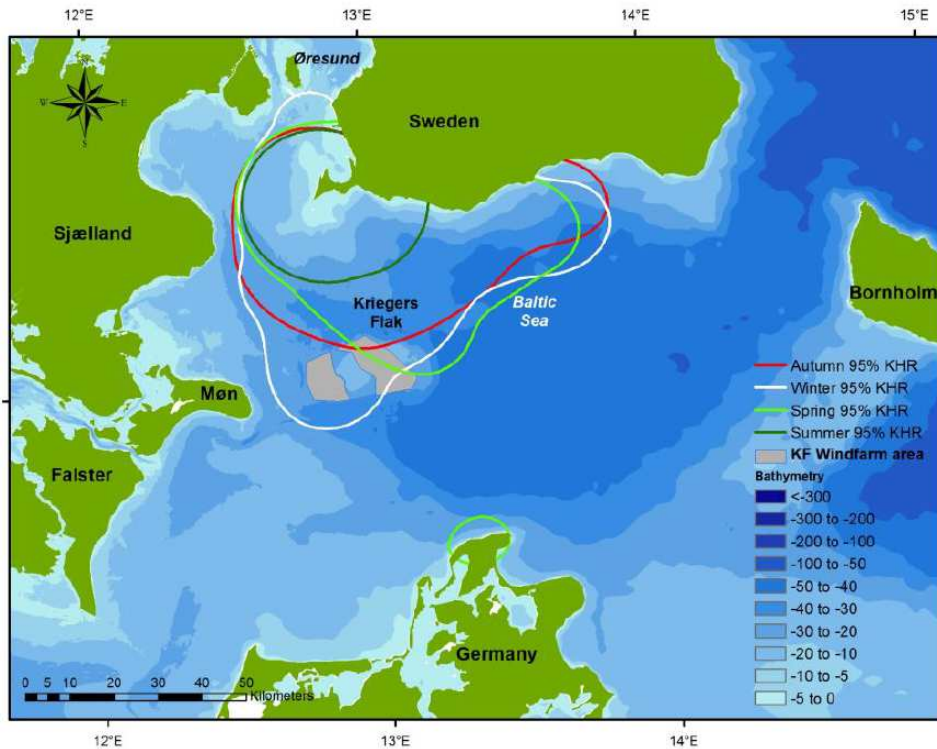


圖 22 海豹春季、夏季、秋季和冬季在波羅的海的棲息地  
資料來源：Kriegers Flak Offshore Wind Farm Marine Mammals  
EIA - Technical Report 2015 ,Energinet.dk

該計畫以影響最嚴重情況的 10 m 直徑單樁打樁作業，進行水下噪音影響評估，根據來自施工活動的水下噪音模擬和海豹、海豚聽力損失的潛在性計算，該計畫認為有必要將打樁作業噪音源降低 16dB，以確保對海豹和海豚不會有負面影響。基礎施作必須審慎認真地考慮水下噪音減低對策，最後決定採用氣泡幕來減少輻射到水

中的能量。氣泡幕在歐洲多種場合已有豐富的使用經驗，可有效降低打樁作業施工活動所產生的水下噪音影響。

除了水下噪音減低措施外，離岸風力發電廠完工商轉後，風機基礎和沖刷保護結構引入新的硬質基材，形成新的棲地，類似人工魚礁結構，會吸引魚類和其他捕食動物，使得海生物族群再度群聚。在丹麥的離岸風場開發經驗中已證實海上風力發電廠商轉營運後，海域生態會自然復育，成為海域生物良好的棲息場所，對漁業有正面的效益。

## 肆、建議事項

- 一、水下背景噪音及海域生態特性會影響離岸風場施工方式與減低對策的選定，以及監測計畫研擬考量，且水下背景噪音及海域生態特性為長時間的趨勢，在實際觀測時必須取得長期資料，才能獲得客觀、有代表性的環境資訊。世界上 18 個最適合設置離岸風力發電的最佳風場，就有 16 個在台灣海峽，公司應考量對有開發潛力的可能離岸風場，先行展開水下背景噪音及海域生態調查工作，收集彙整國內外相關文獻資料加以研究分析，以充分瞭解海域水下背景噪音時空分佈及海域生態特性，以供日後本公司推動離岸風場開發規劃、環境影響評估及海事工程施工參考。
- 二、廣泛收集國際間各種商業化或發展中的風力發電機組施工營運的噪音源水下噪音資料，水下噪音模式，以及水下噪音減低對策效能資料，以供本公司未來開發離岸風場時，規劃水下噪音環境保全對策及研擬監測計畫參考。
- 三、目前在丹麥及歐洲開發的離岸風場中，使用最廣泛的基礎型式仍是以單樁基礎為最多，原因應是施工速度及經濟考量，然而單樁基礎施工過程會產生較大的水下噪音，歐洲離岸風機施工時，基於便利性、經濟性及使用經驗考量，常採用氣泡幕工法降低水下噪音，此種水下噪音減低措施值得公司參考。
- 四、丹麥、德國及英國均具有相當豐富的離岸風場開發經驗，渠等於施工及營運期間所遇到的瓶頸和挑戰，可做為公司發展離岸

風場的借鏡。台灣海峽有地震及颱風，此係歐洲海域所沒有的特性，將來公司興建離岸風場將比歐洲風場面臨更艱難更嚴峻的挑戰，建議收集更多歐洲離岸風場施工及營運所遭遇的困難及解決方案資訊，以供本公司未來全力推動離岸風場參考。

五、NIRAS 計劃未來 10 年朝向深海，海域生物影響少，無視覺景觀衝擊的海上漂浮式風力發電機組發展，進行相關技術研發以及調查評估研究。目前海上漂浮式風力發電機組世界上僅日本及挪威有運轉實績，蘇格蘭正進行 5 部 6MW 機組設置中，公司應該密切注意該項技術發展，持續蒐集國外相關技術資訊以及環評經驗，以供未來推動新計畫參考。