

Machine translation for the purpose of ESPOO consultation.

Please note that only Chapter 15 of the EIA (Sw. MKB) has been reviewed by a Finnish speaker; the other chapters and documents have been translated by machine.

Please contact Madelene.Andersson@vinge.se if there are any unclarities regarding the translations.



Statkraft

marraskuu 2024

Liite 3.7 - Meren biologinen tutkimus

Bothnia Offshore Sigma

Valmistellut

Antopäivä

Pelagia Nature & Environment AB

28. marraskuuta
2024





PELAGIA

Raportti 2024-11-28

MERIBIOLOGINEN PERUSTILASELVITYS JA VAIKUTUSTEN ARVIOINTI - SIGMAN TUULIPUISTO

Statkraftin puolesta

Kirjoittaja:

Suora:

Quality reviewed by:

Johan Lidman
Johanna Nadmyr
Johnny Berglund
Johnny Berglund
Kenneth Karlsson
Madelene Fridell
Rickard Degerman
Tobias Österberg
Tobias Österberg

Johnny.berglund@pelagia.se

Peder Larsson

Kartat:

Julkaistu Metria AB:n luvalla, Katso Ruotsin sopimus ja Lantmäteriets open data.

Julkaistu OpenStreetMapin luvalla Open Database Licence -lisenssillä, openstreetmap.org/copyright.



Ruotsin akkreditointi- ja vaatimustenmukaisuudenarviointilautakunta (SWEDAC) akkreditoi laboratoriot Ruotsin lainsäädännön mukaisesti. Laboratorioiden akkreditoitu toiminta täyttää ISO/IEC 17025:2017 -standardin vaatimukset.

Tämä raportti voidaan jäljentää kokonaisuudessaan ainoastaan, ellei sen laatinut laboratorio ole antanut etukäteen kirjallista lupaa päinvastaiseen.

Luonnonympäristön
asiantuntijat

Pelagia Nature & Environment AB
Fredsgatan 1 (Umeå Business Park)
903 47 Umeå (Uumaja)

Puh: 090-70 21 70
Mail: info@pelagia.se www.pelagia.se



Tiivistelmä

Statkraft Offshore Wind AB aikoo hakea Bothnia Offshore Sigma (Sigma) -nimisen merituulipuiston perustamista keskelle Selkämeren Sundsvallin ja Hudiksvallin itäpuolelle. Pelagia Nature & Environment AB on Statkraftin toimeksiannosta tutkinut pohjasedimentit raekoon ja ympäristömyrkkyjen osalta sekä hankealueen olemassa olevan pohjaeläimistön. Pelagia on myös tutkinut olosuhteita ja arvioinut suunniteltujen toimien vaikutuksia kaloihin, pohjaeläimistöön ja -kasvistoon sekä merinisäkkäisiin. Selvitykseen sisältyy myös kumulatiivisten vaikutusten ja ympäristön laatustandardeihin kohdistuvien vaikutusten arviointi.

Hankealue sijaitsee noin 80 kilometrin päässä mantereesta ja on suhteellisen syvällä. Hankealueen keskisyvyys on 55 metriä. Pohjanäytteenoton tulokset osoittavat, että hankealueen pohjaeläimistö on tyypillistä Perämerelle. Pohjaeläimistön lajikoostumus ja tiheydet viittaavat ympäristön hyvään tilaan. Ympäristömyrkkyjen osalta sedimenttinäytteiden analyysit osoittavat, että pitoisuudet ovat suhteellisen alhaisia ja alittavat nykyiset kynnysarvot tai ehdotetut raja-arvot meren sedimentille. Toisin sanoen eliöihin ei kohdistu lainkaan tai on hyvin pieni riski, vaikka sedimentti samentuisi rakennusvaiheen aikana.

Rakennusvaiheessa paalutuksesta aiheutuvan vedenalaisen melun odotetaan aiheuttavan vähäisiä vaikutuksia, jotka ulottuvat hankealueen ulkopuolelle. Rakentamisvaiheessa voi kohdistua kielteisiä vaikutuksia lähinnä silakoihin ja harmaahylkeisiin. Muilla vaikutustekijöillä, kuten elinympäristön muutoksilla, sedimenttien leviämällä ja sähkömagneettisilla kentillä, ei odoteta olevan lainkaan tai olevan vähäisiä vaikutuksia merikasveihin ja -eläimiin.

Toimintavaiheessa Sigman tuulipuiston odotetaan aiheuttavan vähäisiä tai lievästi myönteisiä vaikutuksia meriympäristöön. Perustusten ja eroosiosuojan muodossa luotujen fyysisten rakenteiden aiheuttaman elinympäristön muutoksen odotetaan synnyttävän riittavaikutuksen, joka mahdollistaa kovapohjaisten lajien kiinnittymisen ja houkuttelee kaloja ja hylkeitä.

Sigman tuulipuiston käyttöäksi arvioidaan 40-45 vuotta, ja koska merituulivoiman kehitys on nopeaa, käytöstäpoistovaiheen vaikutuksia on vaikea arvioida. Pahimmassa tapauksessa käytöstäpoistolla on samanlaiset seuraukset kuin tuulipuiston rakentamisella. Seuraavassa taulukossa 1 on yleiskatsaus kunkin vaiheen ja eliöryhmän vaikutusarviointeihin.

Perämerellä on useita tuulipuistoja, jotka ovat jättäneet lupahakemuksia. Kumulatiivisten vaikutusten odotetaan syntyvän pääasiassa rakennusvaiheessa, koska tuulipuistojen aikataulut ovat arviolta päällekkäiset. Tällöin lähinnä vedenalainen melu ja vähäisessä määrin sedimenttien leviäminen voivat olla päällekkäisiä ja voimistaa toistensa vaikutuksia. Erityisesti paalutustoiminnasta aiheutuva vedenalainen melu voi aiheuttaa kumulatiivisia vaikutuksia, joilla on pieniä tai kohtalaisia kielteisiä vaikutuksia, varsinkin kun rakennustyöt voivat kestää noin kahdeksan vuotta, jos kaikki suunnitelmat toteutuvat. Kun puistot ovat toiminnassa, odotetaan myönteisiä vaikutuksia arvioituihin kasvi- ja eläinlajeihin.

Toiminnan ei katsota vaikuttavan mahdollisuuksiin säilyttää tai saavuttaa Perämeren vakiintuneet ympäristölaatunormit.

Taulukko 1. Yhteenveto vaikutusten arvioinneista, jotka koskevat kutakin organismiryhmää kunkin vaikutustekijän osalta rakentamis-, käyttö- ja käytöstäpoistovaiheessa.

Vaikuttava tekijä	tynnyri	Kala	Pohjaeläimistö	Pohjakaasvillisuus	Merinisäkkäät
Elinympäristön muutos ja riuttojen vaikutus	Kasvi	Ei vaikutusta/vaikutus on vähäinen	Ei vaikutusta/vaikutus on vähäinen	Ei vaikutusta/vaikutus on vähäinen	Ei vaikutusta/vaikutus on vähäinen
	Drift	Ei vähäisiä tai vähäisiä myönteisiä vaikutuksia	Myönteiset seuraukset	Myönteiset seuraukset	Ei vähäisiä tai vähäisiä myönteisiä vaikutuksia
	Käytöstäpoisto	Ei vaikutusta/vaikutus on vähäinen	Ei vaikutusta/merkityksen vaikutus	Vähäinen vaikutus	Ei vaikutusta/merkityksen vaikutus
Kiintoaine ja laskeuma (*saasteet mukaan luettuina).	Rakentaminen	Ei vaikutusta/merkityksen vaikutus	Ei vaikutusta/vaikutus on vähäinen*	Ei vaikutusta/vaikutus on vähäinen*	Ei vaikutusta/vaikutus on vähäinen
	Drift	-	-	-	-
	Käytöstäpoisto	Ei vaikutusta/merkityksen vaikutus	Ei vaikutusta/vaikutus on vähäinen*	Ei vaikutusta/vaikutus on vähäinen*	Ei vaikutusta/vaikutus on vähäinen
Vedenalainen melu	Kasvi	Vähäiset tai merkityksettömät vaikutukset lajista riippuen.	Ei vaikutusta/vaikutus on vähäinen	-	Pienet seuraukset
	Drift	Ei vaikutusta/merkityksen vaikutus	Ei vaikutusta/merkityksen vaikutus	-	Vähäinen vaikutus
	Käytöstäpoisto	Vähäiset tai merkityksettömät vaikutukset lajista riippuen.	Ei vaikutusta/vaikutus on vähäinen	-	Pienet seuraukset
Sähkömagneettiset kentät	Kasvi	-	-	-	-
	Drift	Vähäinen vaikutus	Ei vaikutusta/vaikutus on vähäinen	-	-
	Käytöstäpoisto	-	-	-	-

Sisällysluettelo

YHTEENVETO

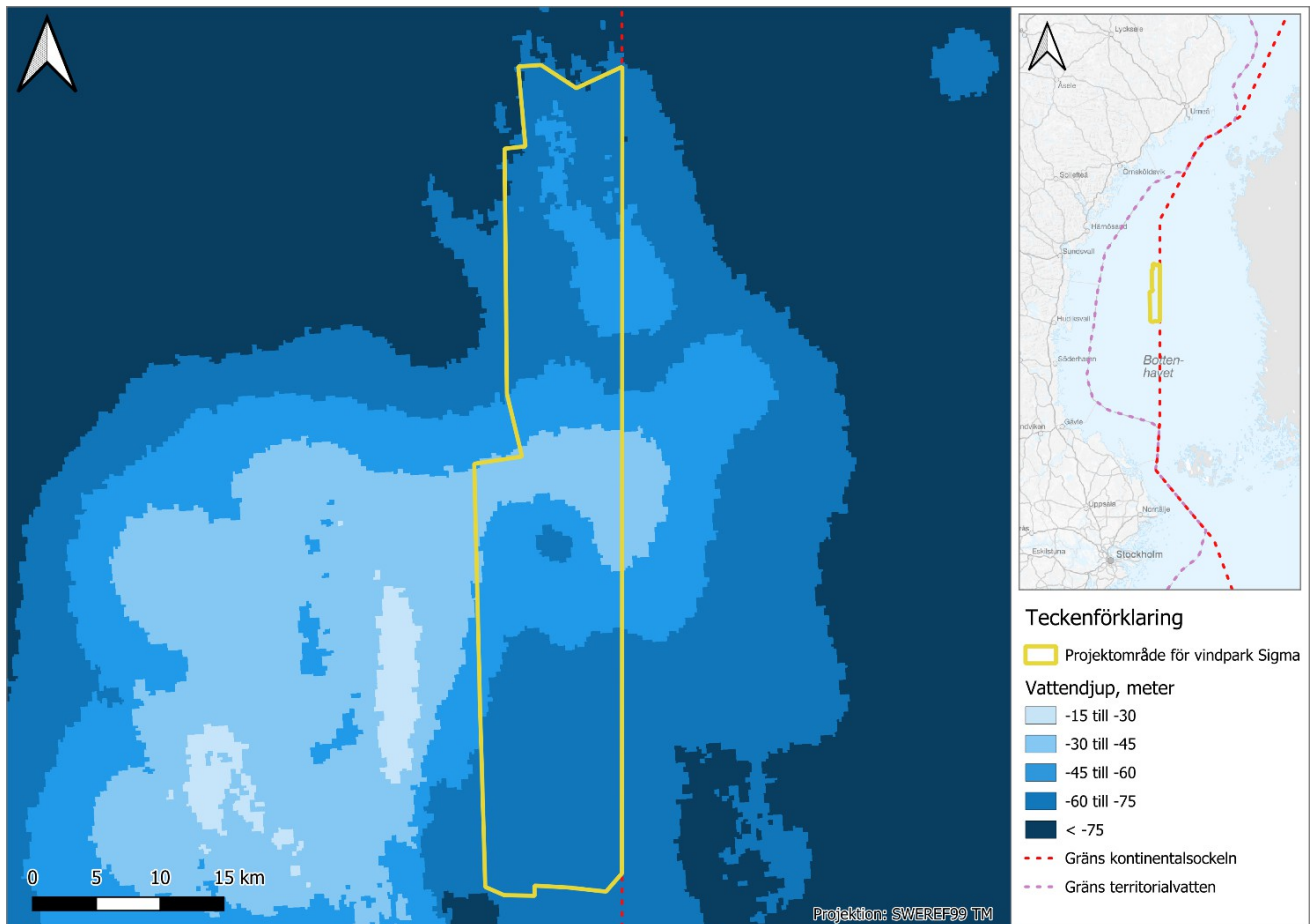
1.	TAUSTA JA TARKOITUS	1
2.	HANKKEEN KUVAUS	1
3.	YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOINTIMENETELMÄ	3
3.1	Vaikutustenarviointien arviointimenetelmät	3
3.2	Rajaukset	5
4.	HANKKEEN ODOTETUT YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	5
4.1	Kasvi	5
	Elinympäristön muutos ja riuttojen vaikutus	5
	Kiintoainepitoisuus ja sedimentaatio	6
	Vedenalaiset äänet	13
	Sähkömagneettiset kentät	16
4.2	Drift	16
	Elinympäristön muutos ja riuttojen vaikutus	16
	Kiintoainepitoisuus ja sedimentaatio	17
	Vedenalaiset äänet	17
	Sähkömagneettiset kentät	18
4.3	Käytöstäpoisto	18
	Elinympäristön muutos ja riuttojen vaikutus	18
	Kiintoainepitoisuus ja sedimentaatio	19
	Vedenalaiset äänet	19
	Sähkömagneettiset kentät	19
4.4	Sigman tuulipuiston lähialueilla harjoitettava toiminta	20
5.	EDELITYKSET JA SEURAUKSET	22
5.1	Kala	22
5.1.1	Rakentaminen	27
5.1.2	Drift	30
5.1.3	Käytöstäpoisto	32
5.1.4	Kumulatiiviset vaikutukset	33
5.2	Pohjaeläimistö	33
5.2.1	Rakentaminen	38
5.2.2	Drift	40
5.2.3	Käytöstäpoisto	41
5.2.4	Kumulatiiviset vaikutukset	42
5.3	Pohjakasvillisuus	42
5.3.1	Rakentaminen	43
5.3.2	Drift	44
5.3.3	Käytöstäpoisto	45
5.3.4	Kumulatiiviset vaikutukset	46
5.4	Merinisäkkäät	46
5.4.1	Rakentaminen	55

5.4.2	Drift.....	57
5.4.3	Käytöstäpoisto.....	58
5.4.4	Kumulatiiviset vaikutukset	58
5.5	Suojellut alueet.....	60
5.5.1	Vaikutukset suojelualueisiin.....	61
5.6	Ympäristövaikutukset ympäristölaatunormeihin.....	62
5.6.1	Hankealue	62
5.6.2	Meriympäristön tilaan kohdistuvien vaikutusten arviointi.....	63
5.6.3	Ympäristölaatunormeihin kohdistuvien vaikutusten arviointi.....	69
6.	KOKONAISARVIOINTI	75
7.	VIITTEET	79
LIITE 1. SEDIMENTTITUTKIMUKSET		
LIITE 2. POHJAJÄÄMISTÖ		



1. Tausta ja tarkoitus

Statkraft Offshore Wind AB (jäljempänä 'Statkraft') aikoo tutkia mahdollisuuksia perustaa merituulipuisto, Bothnia Offshore Sigma -hanke (jäljempänä 'Sigma-tuulipuisto'), joka sijaitsee Perämerellä Sundsvallin ja Hudiksvallin itäpuolella (kuva 1.1). Pelagia Nature & Environment AB:ltä (jäljempänä Pelagia) on tilattu tutkimukset kalojen, pohjaeläimistön ja -kasviston sekä merinisäkkäiden osalta vaikutusalueella sekä pohjasedimenttien tutkiminen raekoon ja ympäristömyrkköjen osalta hankealueella. Nykytilanteen kuvauksen lisäksi tutkimukseen sisältyy Sigman tuulivoimapuiston rakentamisen, käytön ja käytöstä poistamisen aikana suunniteltujen toimintojen vaikutusten ja seurausten arviointi sekä kumulatiivisten vaikutusten ja ympäristölaatuunormeihin kohdistuvien vaikutusten arviointi.



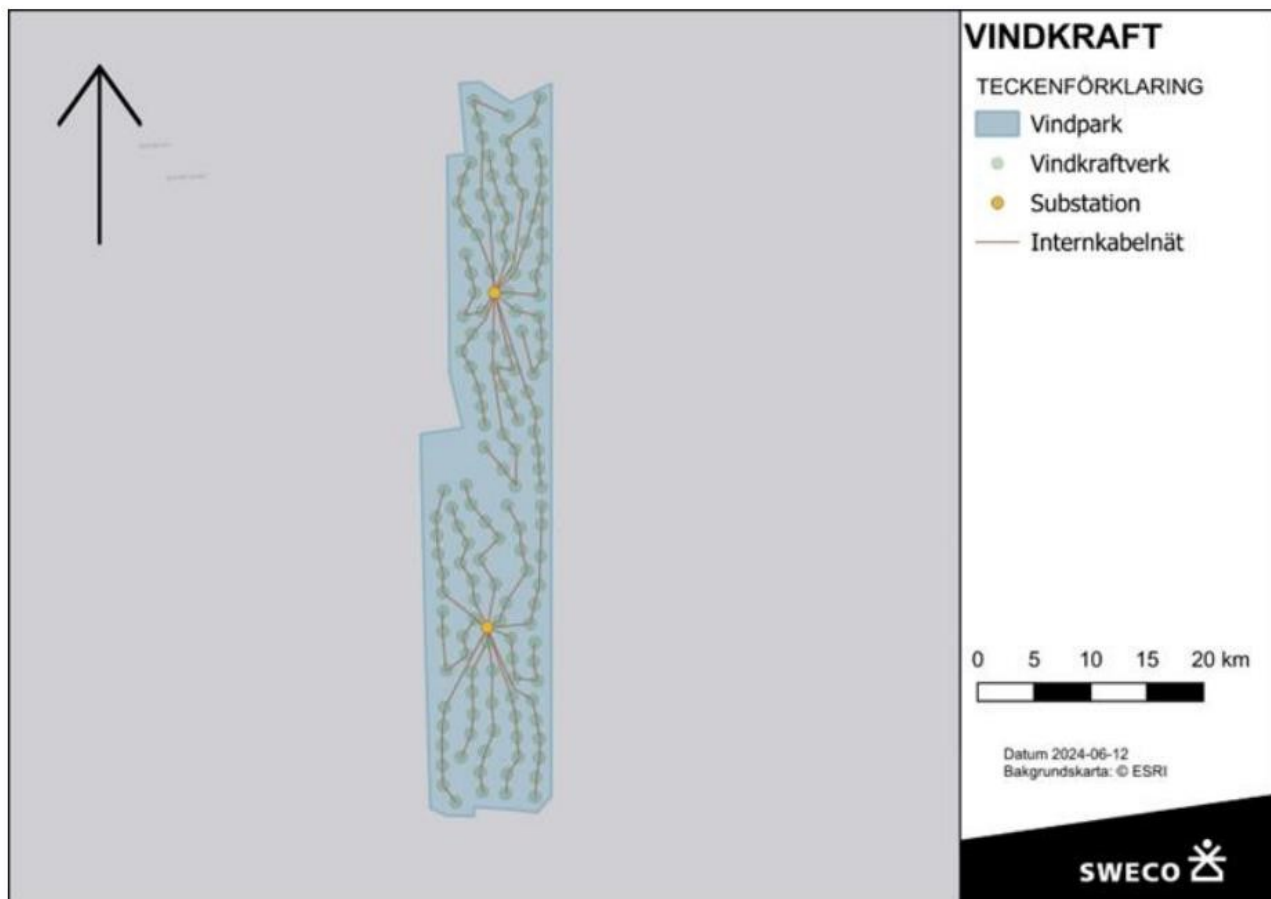
Kuva 1.1. Yleiskuva Sigman tuulipuiston hankealueesta, jossa sininen väriasteikko ilmaisee syvyyden välein legendan mukaisesti. Sisäkuvassa on yleiskuva hankealueen sijainnista Perämerellä sekä suhteessa Ruotsiin ja Suomeen.

2. Hankkeen kuvaus

Sigman tuulipuiston hankealue sijaitsee Ruotsin talousvyöhykkeellä Hudiksvallin ja Sundsvallin korkeudella. Hankealueen pinta-ala on 640 neliökilometriä, ja sinne rakennetaan enintään 143 tuulivoimalaa, joiden kokonaiskorkeus on enintään 370 metriä. Sigman tuulipuiston vuotuisen tuotannon odotetaan olevan noin 13,6 TWh. Hankealueen syvyysalue on 24-85 metriä ja keskisyvyys 55 metriä. Nopean teknisen kehityksen vuoksi Sigman tuulipuiston lopullisesta suunnittelusta päätetään myöhemmin. Offshore-tuulivoima voi koostua kelluvista tuulivoimaloista tai merenpohjaan ankkuroiduista tuulivoimaloista, jolloin merenpohjaan kiinnitettyjä perustoja pidetään merkityksellisinä Sigman tuulipuistossa. Tuulivoimaloiden lisäksi hankealueelle sijoitetaan myös

sisältyy myös kaksi merellä sijaitsevaa sähköasemaa tai muuntamoa, joihin kaikki tuulivoimaloiden kaapelit kerätään ja tuodaan sitten maihin vientikaapeleita pitkin. Tuulivoimalat ja sähköasemat yhdistävän sisäisen kaapeliverkoston pituus sähkönsiirtoa ja tiedonsiirtoa varten on arviolta noin 450 kilometriä, ks. kuvassa 2.1 esitetty esimerkki kaapelien sijoittelusta. Sigman tuulipuiston rakentaminen on tarkoitus aloittaa vuonna 2032, ja sen arvioitu käyttöikä on 40-45 vuotta vuodesta 2034 alkaen.

Sigman tuulivoimapuisto sijaitsee keskellä Perämeren, josta hankealueelle Härnösandiin on noin 82 kilometriä, Sundsvalliin noin 100 kilometriä, Hudiksvalliin noin 110 kilometriä ja Suomen lähimpään rannikkoon noin 98 kilometriä.



Kuva 2.1 Esimerkki Sigma-tuulipuiston pohjapiirroksista, johon on merkitty hankealueelle kaksi merialueen sähköasemaa, tuulivoimalat ja kaapelit. Kuva on otettu lähteestä Sedimenttien leviäminen, YVA:n liite 5.

Sigman tuulivoimapuiston hankealue sijaitsee alueella, jossa ei tällä hetkellä ole vakiintuneita tuulipuistoja tai vastaavaa toimintaa, mutta koska uusiutuvaan energiaan kohdistuva kiinnostus on suurta, Perämerellä on Sigman tuulivoimapuiston lisäksi useita suunniteltuja tuulipuistoja sekä Ruotsin että Suomen puolella aluemerien rajaa. Tässä raportissa tuodaan esiin suunniteltujen toimintojen mahdolliset kumulatiiviset vaikutukset, sekä Sigman tuulipuiston vaikutukset muihin toimintoihin että vaikutukset meren eliöstöön.

3. Ympäristöarviointimenetelmät

3.1 Vaikutustenarviointien arviointimenetelmät

Arvioinnissa hyödynnetään erilaisia tietolähteitä, kuten julkaistua tutkimuskirjallisuutta, tietokantoja, lajikohtaista tietämystä, asiantuntija-arvioita ja näytteenottoa, jotta voidaan luoda laaja perusta arviointien tekemiselle.

Tutkimuksessa käytetään pahinta mahdollista skenaariota, mikä tarkoittaa, että laskelmat ja mallit perustuvat pahimpaan mahdolliseen lopputulokseen eri skenaarioissa, jotka koskevat rakennustapaa, perustustyyppin valintaa, kaapelinlaskumenetelmää ja äänen leviämistä suunnitellun toiminnan yhteydessä. Tässä tutkimuksessa tehdyt sedimentin leviämistä, suspendoituneen aineksen pitoisuuksia ja vedenalaista melua koskevat arviot perustuvat Swecon tuottamiin Sigman tuulipuistoa ja suunniteltuja toimintoja koskeviin tietoihin, laskelmiin ja malleihin (Sedimentin leviäminen, YVA:n liite 5; Vedenalainen melu, YVA:n liite 6). Ympäristömyrkyjä koskeva arviointi perustuu aiemmin tehtyihin selvityksiin ja muiden lähialueen toimijoiden tuloksiin sekä Pelagian suorittamaan näytteenottoon hankealueelta. Arvioinnissa oletetaan, että Sigman tuulivoimapuiston alueella on 1,5 - 2 kilometrin välein sijoittuvia pohjaan kiinnitettyjä perustuksia.

Tutkimus ja siinä tehdyt arvoinnit perustuvat vaikutustekijöihin ja niiden vaikutuksiin ja vaikutuksiin eri eliöryhmiin. Vaikutusten ja vaikutusten arvoinnit ja niiden yhdistäminen eri arvoihin, kuten suojeluarvoon, monimuotoisuuteen, sopeutumiskykyyn ja arvoon muiden etujen kannalta, johtavat vaikutusten arviointiin taulukossa 3.1 esitetyn matriisin mukaisesti.

Seuraavissa määritelmissä selitetään tarkemmin arviointimenetelmiä:

Ympäristövaikutus: Ympäristövaikutukset, kuten melun syntyminen, voivat aiheuttaa vaikutuksen, joka on vaikutuksen seurauksena ympäristössä tapahtuva muutos. Vaikutus voi olla esimerkiksi äänitason nousu (melu).

Ympäristönäkökulman arvo: Ympäristönäkökulman arvoa voidaan arvioida eri kriteerien perusteella, mukaan luettuina sen suojeluarvo, sopeutumiskyky, monimuotoisuus ja arvo muiden etujen kannalta.

Vaikutukset: Vaikutukset arvioidaan ympäristönäkökulman arvon ja siihen kohdistuvan ympäristövaikutuksen suuruuden perusteella lieventämistoimenpiteiden toteuttamisen jälkeen.

Taulukko 3.1 Vaikutusten arvioinnissa käytetty taulukko luvun 5 kussakin osassa.

YMPÄRISTÖNÄKÖKOH TA ARVO YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	Pieni arvo	Kohtalainen arvo	Korkea arvo
Suuri vaikutus	Kohtalainen vaikutus	Merkittävät seuraukset	Erittäin suuri vaikutus
Kohtalainen vaikutus	Pienet seuraukset	Kohtalainen vaikutus	Merkittävät seuraukset
Pieni vaikutus	Vähäinen vaikutus	Pienet seuraukset	Kohtalainen vaikutus
Ei vaikutusta/merkityksetön vaikutus	Ei vaikutusta/merkityksetön vaikutus		
Myönteinen vaikutus	Myönteiset seuraukset		

Taulukko 3.2 Luvussa 5 arvioinnissa käytetyt vaikutustasot ja niihin liittyvät arviot ja esimerkit, joissa alue viittaa vaikutusalueeseen.

Seuraukset	Arvostus
Erittäin suuret kielteiset vaikutukset	Vaikka lieventämistoimia ei toteutettaisi, merkittävä vaikutus säilyy pysyvästi. <i>Esimerkiksi: Vaikutus alueella siinä määrin, että populaatiot tai uhanalaiset lajit häviävät tai korvautuvat. Muutoksen odotetaan olevan (enemmän tai vähemmän) pysyvä.</i>
Suuret kielteiset vaikutukset	Vaikka lieventämistoimenpiteitä ei toteutettaisikaan, merkittävä vaikutus säilyy lähitulevaisuudessa. <i>Esimerkiksi: Vaikutukset alueella siinä määrin, että populaatioiden tai uhanalaisten lajien määrä ja monimuotoisuus vähenevät merkittävästi ja alueen ekologia muuttuu.</i>
Kohtalaiset kielteiset vaikutukset	Suojatoimenpiteistä huolimatta jonkinlainen vaikutus säilyy lähitulevaisuudessa. <i>Esimerkiksi: Vaikutus alueella siinä määrin, että se vaikuttaa haitallisesti populaatioihin ja yksilöihin (ei-uhanalaisiin lajeihin), mutta ei aiheuta suuria ekologisia muutoksia.</i>
Pienet kielteiset vaikutukset	Kaikilla lieventämistoimenpiteillä on edelleen pieni, suhteellisen lyhytaikainen vaikutus. <i>Esimerkiksi: Vaikutus alueella siinä määrin, että yksilöt (muut kuin uhanalaiset lajit) kärsivät tilapäisesti, mutta alueen ekologia pysyy kokonaisuudessaan ennallaan.</i>
Ei vaikutusta/vaikutus on vähäinen	Suojatoimenpiteillä ei ole vaikutusta tai vaikutus on hyvin vähäinen. <i>Esimerkiksi: Ei vaikutusta yksilöihin tai populaatioihin siinä määrin, että se olisi mitattavissa (luonnollisen vaihtelun puitteissa).</i>
Myönteiset seuraukset	Kaikilla suojatoimenpiteillä on myönteinen vaikutus. <i>Esimerkiksi: Alueella tapahtuvat muutokset edistävät eliöstön suotuisia olosuhteita, mikä vaikuttaa myönteisesti joko populaatioon tai yksilöihin.</i>

Vaikutusten arviointeja täydennetään arvioinnin varmuutta koskevalla arviolla, joka esitetään taulukossa 3.3. Arvioinnin varmuutta käytetään selvittämään sitä näyttöä, johon luvun 5 arvioinnit perustuvat, ja arvioinnin varmuus luokitellaan joko alhaiseksi, kohtalaiseksi tai suureksi varmuudeksi.

Taulukko 3.3. Turvallisuusarvioinnit tehdään jäljempänä olevassa taulukossa määriteltyjen kriteerien mukaisesti.

Turvallisuus arvioinnissa	Ohjelman kuvaus
Big	Tutkimusten ja kirjallisuuden tai muiden vakiintuneiden tieteellisten lähteiden muodossa oleva tiede tarjoaa hyvän perustan tieteellisesti perustellulle arviolle, jonka varmuusaste on korkea.
Kohtalainen	Arvioinnin perustana olevissa tutkimuksissa on puutteita tai suuria eroja, jotka riippuvat asiayhteydestä. On kuitenkin vielä tutkimuksia, jotka liittyvät toisiinsa ja joita voidaan käyttää arvioinnin perustana kohtalaisen varmasti.
Matala	Arvioinnin perustana ei ole kokonaan tai osittain asiaankuuluvia tutkimuksia tai kirjallisuutta, jolloin arviointi perustuu osittain esimerkiksi alan asiantuntemukseen. Näin ollen arvioinnin varmuus on vähäinen.



3.2 Rajaukset

Tiedot on rajattu ajallisesti ja maantieteellisesti tutkittavan eliöryhmän mukaan, jotta tutkimus olisi merkityksellinen suunniteltujen toimien kannalta. Arvioitu maantieteellinen alue on rajattu hankealueeseen ja vaikutusalueeseen, johon eri vaikutustekijät vaikuttavat, ja se on rajattu rakentamiskäytön, käyttöalueen ja käytöstäpoistovaiheen vaikutuksiin. Tämä tarkoittaa, että vaikutusalue vaihtelee sen mukaan, mitä vaikutustekijää arvioidaan. Esimerkiksi vedenalaisen melun vaikutusalue on huomattavasti laajempi verrattuna elinympäristön muutoksiin ja riuttoihin kohdistuviin vaikutuksiin, joiden vaikutusalue on huomattavasti suppeampi. Arvioinnissa ei oteta huomioon päätyneistä tutkimuksista ja rakennusvaihetta edeltävistä tutkimuksista aiheutuvia vaikutuksia.

Kumulatiiviseen arviointiin sisältyvät 50 kilometrin säteellä Sigmasta sijaitsevat tuulivoimahankkeet, jotka ovat jättäneet lupahakemuksen Sigman hakemuksen jättämisen aikaan, sekä Statkraftin omat lähistöllä sijaitsevat hankkeet, jotka eivät ole vielä hakeneet lupaa.

4. Hankkeen odotetut ympäristövaikutukset

Hankealuetta muutetaan rakennusvaiheen aikana muun muassa asentamalla tuulivoimaloiden ja sähköasemien perustukset pohjaan, asentamalla sisäinen kaapeliverkko ja pystyttämällä tornit. Tämä lisää liikennettä hankealueelle, hankealueelta ja hankealueen sisällä, mutta sen intensiteetti vaihtelee vuoden aikana ja toimeksiannon mukaan. Rakennustyöt liikkuvat hankealueella koko rakennusvaiheen ajan, ja vaikutukset siirtyvät maantieteellisesti ja vaihtelevat ajan myötä. Työt vaikuttavat merieliöryhmiin vaihtelevassa määrin, ja tässä jaksossa tarkastellaan merkityksellisiä vaikutustekijöitä rakennusvaiheen aikana.

4.1 Kasvi

Rakennusvaiheen aikana hankealueella tapahtuu muutos, jossa vaikutus siirtyy sekä alueellisesti että ajallisesti hankealueen sisällä ja jossa vaikutusalueen laajuus vaihtelee sen mukaan, mitä vaikutustekijää tutkitaan. Alusliikenne hankealueelle, hankealueelle ja hankealueelta lisääntyy tässä vaiheessa muun muassa materiaalikuljetusten myötä. Tässä jaksossa käsitellään rakennusvaiheen kannalta olennaisia vaikutustekijöitä.

Elinympäristön muutos ja riuttojen vaikutus

Kun merituulipuisto perustetaan, merenpohjaa hyödynnetään tuulivoimaloilla ja niihin liittyvällä infrastruktuurilla. Se, kuinka paljon merenpohjan pinta-alaa käytetään, riippuu perustustyyppin valinnasta, sillä eri perustustyyppit jättävät erilaiset jäljet merenpohjaan. Alkuperäisistä merenpohjan olosuhteista riippuen osa hankealueen merenpohjan pinta-alasta voi muuttua esimerkiksi pehmeästä merenpohjasta kovaksi merenpohjaksi koviin rakenteiden, kuten perustusten ja eroosiosuojauksen, rakentamisen seurauksena. Hankealueella enintään 1,93 neliökilometrin (0,3 prosenttia hankealueesta) pinta-ala muuttuu elinympäristöksi, mikä on pahin mahdollinen skenaario painovoimaisilla perustuksilla. Tähän sisältyy noin 0,58 neliökilometriä tuulivoimaloita ja sähköasemia varten perustuksineen ja eroosiosuojauksineen. Siihen sisältyy myös kolme metriä leveä kaapelikaivanto koko sisäisen kaapeliverkoston varrella (1,35 neliökilometriä), vaikka tämä elinympäristön muutos on suurelta osin väliaikainen, erityisesti pehmeän pohjan alueilla.

Sisäinen kaapeliverkosto, joka huuhdellaan, aurataan tai upotetaan merenpohjaan, voi aiheuttaa muutoksia sekoittamalla ja häiritsemällä sedimenttejä sekä luomalla kaivantoja ja pengerryksiä upotettujen kaapeleiden varrelle. Vaikutuksen laajuus riippuu pohjan kovuudesta, sillä pehmeämmässä sedimentissä huuhtelemalla voidaan olettaa syntyvän kahdesta kolmeen metriä leveä kaivanto, joka täytetään uudelleen työn aikana ja joka ajan mittaan palautuu alkuperäisen pehmeän pohjan kaltaiseksi (Tekninen kuvaus, liite 2a). Alueilla, joilla pohja on kova tai joilla kaapelit risteävät keskenään, kaapelit voidaan peittää kovalla materiaalilla, kuten betonimatoilla tai kivellä (kuulemisraportti, YVA-selostus, liite 1).

Sen lisäksi, että merenpohjan aluetta hyödynnetään ja siihen kohdistuu vaikutuksia, hankealueelle luodaan myös uutta mahdollista elinympäristöä pystysuorilla rakenteilla, tässä tapauksessa perustuksilla, jotka ulottuvat merenpohjasta koko vesipatsaan läpi ja pinnan yläpuolelle. Nämä rakenteet luovat mahdollisuuden eräänlaiselle riutarakenteelle, joka voi luoda riittavaikutuksen. Tämä vaikutus näkyy ensisijaisesti käyttöalueessa, mutta jossain määrin myös seuraavissa vaiheissa



rakennusvaiheessa, kun tuulivoimaloita ja niihin liittyvää infrastruktuuria rakennetaan. Mahdollisia riuttoihin kohdistuvia vaikutuksia käsitellään tarkemmin kohdassa "Elinympäristön muutokset ja riuttoihin kohdistuvat vaikutukset" toimintavaiheen aikana.

Tuulivoimaloiden rakentaminen voi jossain määrin vaikuttaa ja muuttaa veden virtauksia ja liikkeitä sekä paikallisesti tornien ympärillä että laajemmassa mittakaavassa (Bergström ym. 2022), mikä puolestaan vaikuttaa tuulivoimalan ympärillä oleviin elinympäristöihin ja olosuhteisiin. Virtausvaikutuksia on tutkittu Sigman tuulipuiston osalta, ja mallinnus osoittaa, että vaikutus virtausnopeuteen on suurempi pinnalla ja vähenee syvyyden kasvaessa. Malli osoittaa, että tuuli- ja virtausnopeudet vaikuttavat jopa 100 kilometrin etäisyyksillä siten, että virtausnopeus laskee tuulivoimaloiden takana olevassa leeassa ja samalla kasvaa tuulivoimaloiden välissä, mikä ajan mittaan vaikuttaa tasaisesti. Laskelmat osoittavat, että keskimääräinen virtausnopeus pinnalla laskee 2 mm/s 40 kilometrin etäisyydelle asti. Mallin tulokset osoittavat, että tuulivoimaloiden vaikutus virtausnopeuteen on vähäinen, eikä sitä arvioida tarkemmin (Sedimentin leviäminen, YVA:n liite 5).

Kiintoainepitoisuus ja sedimentaatio

Sameus ja sedimentin leviäminen

Sigman tuulivoimapuiston rakentamisen aikana merenpohjan pohjatöiden yhteydessä sedimentti suspendoituu vesimassaan ja laskeutuu merenpohjaan sekä Sigman tuulivoimapuiston hankealueella että sen ulkopuolella. Vaikutusten arvioinnin pohjaksi on tehty mallinnus sedimentin leviämisestä skenaariossa, jossa rakennetaan kahdeksan perustusta ja 67 kilometriä kaapelia. Mallinnuksessa on oletettu pahin mahdollinen skenaario, jossa ristikoiden perustukset, joissa on neljä paalua per perustus, porataan alas. Tämän lisäksi tuulipuistoon perustetaan sisäinen kaapeliverkosto. Kaapeleiden rakentamisen pahimpana skenaariona on oletettu, että koko kaapelin pituus huuhtoutuu alas. Mallinnuksen tulokset on ekstrapoloitu koko hankealueelle, minkä avulla on voitu arvioida sedimentin kokonaishajoamista ja sameutta rakennusvaiheen aikana. Mallinnustulokset perustuvat kesäskenaarioon, joka edustaa ajanjaksoa, jolloin vesipatsaan pitoisuudet ovat suurimmat.

Sedimentin leviämisen mallintamisessa on käytetty toiminnasta peräisin olevan suspendoituneen aineksen pitoisuuksia 10-20, 20-50, 50-100, 100-200, 200-500 ja >500 mg/l. Sedimentin leviäminen on suurinta kesäkuukausina, jolloin suurimman osan rakennustöistä odotetaan tapahtuvan. Kiintoaine, jonka pitoisuus on >20 mg/l, leviää enintään 2,2 kilometrin päähän hankealueesta. Korkeimmat kiintoainepitoisuudet (>500 mg/l) ovat odotettavissa vain paikallisesti veden pinnalla rakennustöiden aikana tai pohjassa, jossa kaapeli huuhtoutuu alas. Lisäksi mallinnus osoittaa, että pohjamateriaalin leviäminen on pääasiassa paikallista Sigman tuulipuiston hankealueella. Suurimmaksi osaksi häiriintynyt merenpohjan aines ei todennäköisesti leviä hankealueen ulkopuolelle kuin muutaman sadan metrin päähän, ja silloinkin pieninä pitoisuuksina. Hankealueen reuna-alueiden tuulivoimaloiden kohdalla sedimentti leviää hankealueen ulkopuolelle, ja tällöin pääasiassa pieninä suspendoituneen aineksen pitoisuuksina (<50 mg/l) (Sedimentin leviäminen, YVA-selostuksen liite 5).

Ruotsissa ei tällä hetkellä ole kiinteää raja-arvoa vesipatsaan kiintoaineelle, mutta tutkimukset ovat osoittaneet, että kiintoainepitoisuus voi luonnostaan olla jopa 20 mg/litra voimakkaan veden liikkeen yhteydessä, esimerkiksi myrskyjen aikana (Valeur & Jensen 2001). Yli 20 mg/litra kiintoaineen tasoja voidaan siis pitää "luonnottomina tasoina", vaikka niitä voi esiintyä luonnostaankin. Tämän tason ylittymisen arvioimiseksi mallissa on laskettu kokonaiskesto ja suurin yhtenäinen pinta-ala, joka voi sisältää yli 20 mg/l kiintoainetta, sekä se, kuinka kauan tasojen voidaan olettaa pysyvän vesipatsaassa pohjatyön päätyttyä.

Alue, jolla suspendoituneen aineen kokonaiskesto on missä tahansa vesipatsaassa, on laskettu sekä mallinnetuille että ekstrapoloituille skenaarioille, ks. taulukko 4.1. Suurin vaikutusalue odotetaan syntyvän alhaisimmista pitoisuuksista, joissa suspendoitunutta ainetta on >20 mg/l missä tahansa vesipatsaassa noin 990 neliökilometrin alueella tunti toiminnan (porauksen ja/tai kaapelinlaskun) päättymisen jälkeen. Tämän jälkeen alue pienenee lähes 730 neliökilometriin 24 tunnin kuluttua. 72 tunnin kuluttua töiden päättymisestä vaikutusalueen odotetaan pienentyneen noin 222 neliökilometriin (taulukko 4.1). Yli 100 mg/l:n pitoisuuksien osalta vaikutusalueen arvioidaan olevan enintään noin 715 neliökilometriä tunnin kuluttua työn päättymisestä. 72 tunnin kuluttua alueen, jonka pitoisuudet ovat yli 100 mg/l, arvioidaan pienentyneen 5,5 neliökilometriin. Talvisen skenaarion aikana vaikutusalue oli mallin mukaan pienempi (Sedimentin leviäminen, YVA:n liite 5).



Taulukko 4.1. Yli 20, 100, 500 ja 1000 milligrammaa litrassa (mg/l) olevien sedimenttipitoisuuksien vaihteluväli neliökilometreinä (km²) valittujen, yhtäjaksoisesti kestävien ajanjaksojen (tuntia (h)) aikana missä tahansa vesipatsaassa. Vaihteluväli on esitetty mallinnetun ja ekstrapoloitun keston osalta koko hankealueella (Sedimentin leviäminen, YVA:n liite 5).

Mallinnettu kesto	Pinta-ala (km ²)						
	1 h	6 h	12 h	24 h	36 h	72 h	144 h
Pitoisuus >20 mg/l	120,84	99,25	85,75	58,14	38,24	11,75	0,00
Pitoisuus >100 mg/l	52,85	33,04	14,33	2,79	0,79	0,09	0,00
Pitoisuus >500 mg/l	7,96	1,19	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Pitoisuus >1000 mg/l	1,62	0,14	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Ekstrapoloitu kesto							
	1 h	6 h	12 h	24 h	36 h	72 h	144 h
Pitoisuus >20 mg/l	989,64	821,75	730,85	544,7	420,95	222,84	70,35
Pitoisuus >100 mg/l	714,77	463,21	231,67	72,09	35,16	5,53	0,00
Pitoisuus >500 mg/l	107,65	17,18	1,35	0,27	0,00	0,00	0,00
Pitoisuus >1000 mg/l	21,91	2,03	0,27	0,14	0,00	0,00	0,00

Sedimentin laskeutuminen

Sen lisäksi, että porauksen ja kaapelin kelaamisen seurauksena pohja-aine suspendoituu vesipatsaaseen, pohja-aine myös hajoaa ja laskeutuu merenpohjaan. Perustusten läheisyydessä 130 metrin etäisyydellä odotetaan tapahtuvan yli viiden senttimetrin laskeumaa. Kaapelinlaskun aikana suurimman laskeuman odotetaan olevan 20 millimetriä korkeintaan 30 metrin päässä kaapelikäytävästä. Laskeumia odotetaan esiintyvän viidestä kymmeneen millimetriä 450 metrin etäisyydellä paalutustöistä ja 50 metrin etäisyydellä kaapelikäytävistä. Kun mallinnustulokset ekstrapoloidaan koko tuulipuistoon, yli kymmenen millimetrin laskeuman arvioidaan esiintyvän noin 14 neliökilometrin alueella, mikä vastaa noin kahta prosenttia tuulipuiston koko hankealueesta (taulukko 4.2).

Sedimentin laskeuma laskennallisilla alueilla neliökilometreinä (km²) ja vaikutusalueen osuus hankealueesta (prosenttia) mallinnetuista ja ekstrapoloituista tuloksista, jotka osoittavat vaikutusalueen kokonaismäärän (Sedimentin leviäminen, YVA:n liite 5).

Varastointi	Mallinnustuloksista saatu alue		Likimääräinen ekstrapoloitu alue	
	km ²	prosenttia	km ²	Prosenttia
Laskeuma >10 mm	1,060	0,17	14,33	2,24
Laskeuma >50 mm	0,093	0,01	1,25	0,20

Ympäristömyrkyt

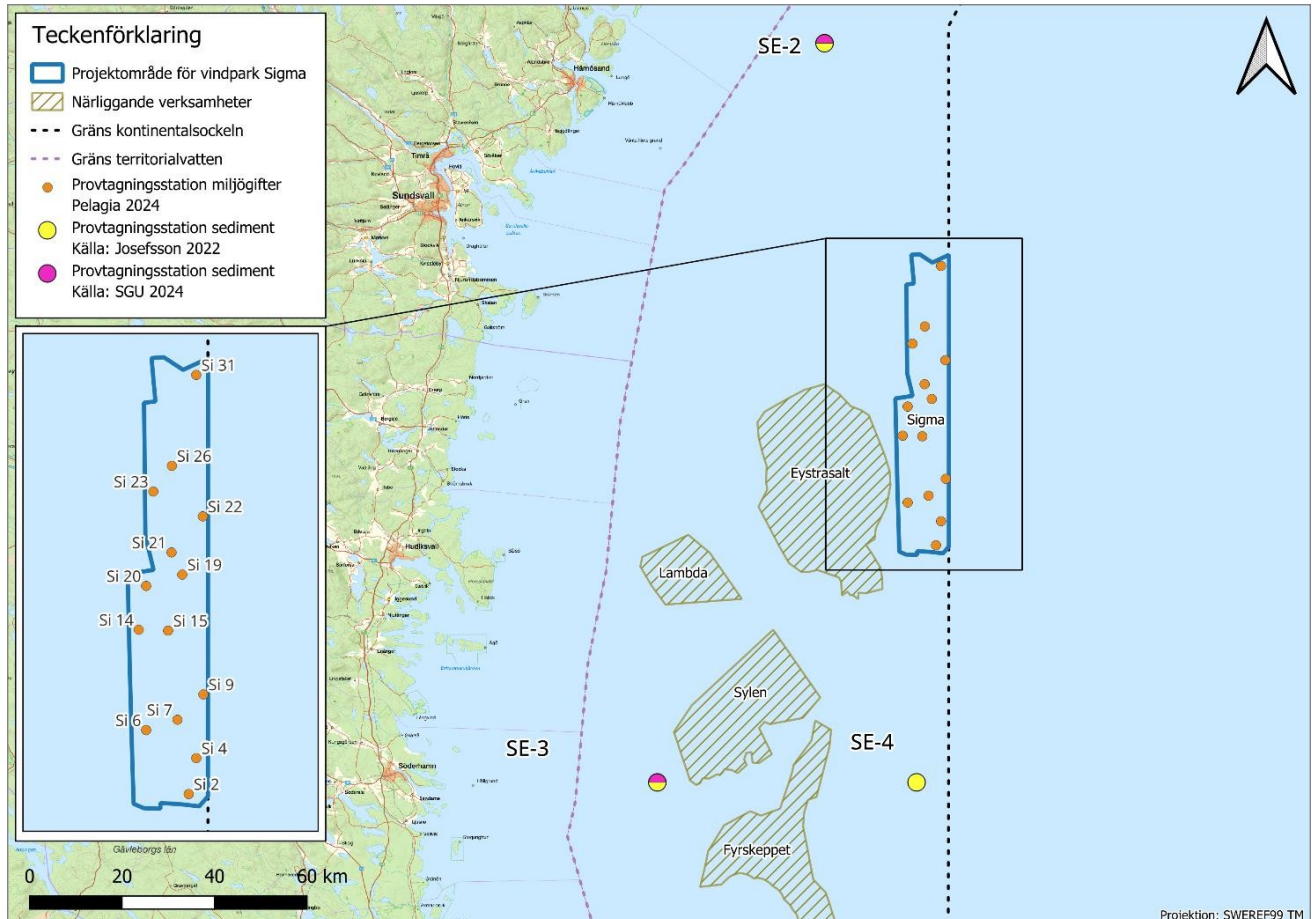
Sameuden ja sedimenttien laskeutumisen lisäksi rakennusvaiheessa on olemassa riski, että sedimenteissä mahdollisesti olevat ympäristömyrkyt vapautuvat ja leviävät ympäröiville alueille. Rakennusvaiheen aikana toiminta ei lisää alueelle uusia epäpuhtauksia, mutta ympäristömyrkkien leviäminen liittyy ympäristömyrkkien olemassa olevaan esiintymiseen ja sedimenttien leviämiseen rakennustöiden aikana. Mahdollisten vaikutusten voidaan siksi olettaa olevan suurimpia alueilla, joilla ympäristömyrkkien pitoisuudet ovat korkeammat, ja sellaisten töiden aikana, jotka aiheuttavat suurinta sameutta, eli perustusten ja sisäisten kaapeliverkoston rakentamisen aikana.

Ympäristömyrkkien esiintymistä Sigman tuulipuiston sedimenteissä on arvioitu analysoimalla hankealueen 14 näytteenottopaikan sedimentit. Analyysien tuloksia on verrattu Perämerellä aiemmin tehtyihin tutkimuksiin sekä vakiintuneisiin kynnysarvoihin ja vaikutuksiin perustuviin tieteellisiin tutkimuksiin. Pintasedimentistä (0-5 senttimetriä) analysoitiin yhteensä 119 ainetta. Kahdella asemalla on analysoitu myös syvempiä sedimenttejä (15-25 senttimetriä). Tutkimustulokset muodostavat perustan arvioinnille, joka on tehty, jotta voidaan arvioida riskiä vaikutuksista, joita toiminnalla voi olla ympäröivään ekosysteemiin. Yksityiskohtainen kuvaus sedimenttinäytteenotosta ja analyysituloksista on liitteessä 1.

Sedimentille on asetettu kynnysarvot kuudelle analysoitavalle aineelle Ruotsin meri- ja vesihallintoviraston määräyksissä HVMFS 2019:25. Nämä aineet ovat antraseeni, fluoranteeni, tributyylitina (TBT), lyijy, kadmium ja kupari.



Kynnysarvoja käytetään ensisijaisesti merenhoidossa arvioitaessa meren ympäristön tilaa, mutta niitä voidaan käyttää myös vaikutusten riskinarvioinnissa, koska kynnysarvot perustuvat ekotoksikologisiin tutkimuksiin. Näiden kynnysarvojen alittaminen tarkoittaa, että altistuneisiin sedimentissä eläviin eliöihin ei kohdistu riskiä altistumisesta akuutin tai pitkäaikaisen altistumisen aikana. Niiden aineiden osalta, joilla ei ole kynnysarvoja, mahdolliset riskit on arvioitu vertaamalla niitä Norjan vaikutuksiin perustuvaan sedimentin ympäristömyrkkypitoisuuksien luokitukseen (Norjan ympäristökeskus 2020) ja saatavilla oleviin tieteellisiin tietoihin. Mitattuja pitoisuuksia on myös verrattu Sigman tuulipuiston läheisyydessä aiemmin tehtyihin sedimenttitutkimuksiin, joihin kuuluvat SGU:n vuosina 2003-2021 tekemät tutkimukset (Josefsson 2022) ja tutkimukset ennen läheisen Eystrasalt Offshore -tuulipuiston lupahakemusta (Skyborn renewables 2023). Lisäksi SGU:lle raportoituja tietoja Perämeren sedimenttitutkimuksista vuosilta 2003-2021 on käytetty vertailuarvoina (SGU 2024). Näytteenottopisteiden sijainti suhteessa Sigman tuulipuistoon on esitetty kuvassa 4.1.



Kuva 4.1 SGU:n tutkimukseen (Josefsson 2022) sisältyneet näytepisteet, Sigman tuulipuiston hankealueella sijaitsevat näytepisteet ja Sigman tuulipuiston lähituulivoimalat.

Sigman tuulivoimapuiston alueella tehtyjen sedimenttitutkimusten tulokset osoittivat, että tutkittujen ympäristömyrkkyyden pitoisuudet olivat alhaisia, ja suurin osa analysoiduista parametreista oli alle laboratoriodien raportointirajan (liite 1). Kynnysarvoja sisältävien aineiden osalta kadmiumin, lyijyn ja fluoranteenin kynnysarvo ylittyi kaikissa näytteissä, kun taas antraseenin kynnysarvo ylittyi kuudessa analysoidussa näytteessä ja TBT:n ja kuparin kynnysarvo seitsemässä näytteessä (taulukko 4.3). Ylitys ei johtunut siitä, että näissä näytteissä olisi mitattu korkeita pitoisuuksia, sillä antraseenin ja TBT:n osalta kaikki pitoisuudet olivat alle laboratorion raportointirajan, vaan näytteiden alhaisesta orgaanisen hiilen pitoisuudesta, joka HVMFS 2019:25:n mukaisesti normalisoitaessa pitoisuudet johtivat kyseisen kynnysarvon ylittymiseen. TBT:n ja antraseenin riskiä vaikuttaa altistuviin eliöihin pidetään kuitenkin pienenä, koska pitoisuudet ovat selvästi alle näiden kynnysarvojen perustana olevien vaikutusarvojen 16 µg TBT/kg ja 1,2 mg antraseenia/kg (SCHEER 2023, SCHEER 2011). Kuparin osalta kaikki näytteet olivat selvästi alle vaikutuksen vähimmäistason 125 mg/kg kuiva-ainetta (DM), joka on

on kynnysarvon perusteena (Sahlin & Ågerstrand 2018), lukuun ottamatta näytteenottopaikan Si 26 syvemmällä sijaitsevan sedimentin kuparipitoisuutta (taulukko 4.3). Vaikutusriskiä pidetään kuitenkin vähäisenä, koska sedimentin mitattu kuparipitoisuus ennen normalisointia näytteenottopaikalla Si 26 oli 49 mg/kg TS, mikä on lähellä Itämerelle ehdotettua taustapitoisuutta 39 mg/kg TS (Shahabi-Ghahfarokhi et al. 2021). Mitattua pitoisuutta voidaan siten pitää alueella normaalina. Kun riskiä arvioidaan vertaamalla sitä kynnysarvoon, ei oteta huomioon sedimentin muita ominaisuuksia, kuten raekokoa, jotka voivat vaikuttaa kuparin myrkyllisyyteen (Sahlin & Ågerstrand 2018). Suurempi siltin ja saven osuus sedimentissä johtaa yleensä pienempään toksisuuteen, koska hiukkaspinta, johon kupari voi sitoutua, kasvaa (Zhang ym. 2014). Näytteenottopaikan Si 26 sedimentti koostuu >50 prosenttia (liite 1) savihiukkasista, mikä johtaisi pienempään toksisuuteen kuin esimerkiksi hiekan hallitsemassa sedimentissä.

Taulukko 4.3: Analysoitujen aineiden pitoisuudet milligrammaa TS-kiloa kohti (mg/kg TS) sedimentissä ja kynnysarvot HVMFS 2019:25:ssä. Vihreä väri tarkoittaa kunkin aineen kynnysarvon alittavia pitoisuuksia. Huomaa, että TBT on ilmoitettu µg/kg.

Näytteenottopaikka	Syvyys (cm)	Haltija (mg/kg DM)					
		Johto	kadmium	Kupari*	TBT* (µg/kg)	Antraseeni	Fluoraisaineet
Jos 2	0-5	3,9	<0,091	41,9	2,28 ^(b)	0,037 ^b	0,037 ^b
Jos 4	0-5	4,6	<0,091	41,4 ^a	3,59 ^b	0,054 ^b	0,054 ^b
Si 6	0-5	19	0,1	26,2 ^a	1,09 ^b	0,011 ^b	0,011 ^b
Jos 7	0-5	13	0,16	76,4 ^a	1,90 ^b	0,028 ^b	0,028 ^b
Jos 9	0-5	13	0,11	27,7 ^a	1,35 ^b	0,014 ^b	0,014 ^b
Si 14	0-5	5,8	<0,091	68,8 ^a	3,14 ^b	0,049 ^b	0,049 ^b
Jos 15	0-5	6,2	<0,091	48,3 ^a	2,38 ^b	0,040 ^b	0,040 ^b
Si 19	0-5	4,7	<0,091	32,1 ^a	2,90 ^b	0,044 ^b	0,044 ^b
Jos 20	0-5	17	0,16	33,2 ^a	1,39 ^b	0,014 ^b	0,014 ^b
Si 21	0-5	14	0,2	79,2 ^a	1,84 ^b	0,023 ^b	0,023 ^b
Si 22	0-5	16	0,27	78,9 ^a	1,52 ^b	0,018 ^b	0,018 ^b
Si 23	0-5	18	0,22	46,3 ^a	1,37 ^b	0,015 ^b	0,015 ^b
Si 26	0-5	20	0,28	52,7 ^a	1,31 ^b	0,014 ^b	0,014 ^b
Si 31	0-5	18	0,29	94,3 ^a	1,52 ^b	0,017 ^b	0,017 ^b
Jos 9	15-25	22	0,15	49,9 ^a	0,91 ^b	0,009 ^b	0,009 ^b
Si 26	15-25	22	0,22	124 ^a	1,48 ^b	0,017 ^b	0,017 ^b
Kynnysarvot							
Lyijy (mg/kg DM)	120						
Kadmium (mg/kg DM)	2,3						
Kupari (mg/kg DM)	52						
Tributyyliini (µg/kg DM)	1,6						
Antraseeni (mg/kg DM)	0,024						
Fluoranteeni (mg/kg DM)	2						

*Pitoisuudet normalisoitu poikkeavan orgaanisen hiilen (TOC) pitoisuuteen HVMF 2019:25:n mukaisesti ennen vertaamista kynnysarvoon. Mitatut pitoisuudet, ks. lisäys 1.

^aNormalisoidut tasot ottaen huomioon luonnollinen taustapitoisuus 39 mg/kg.

^bMitatut pitoisuudet, jotka alittavat raportointirajan. Vertailussa kynnysarvoon on käytetty raportointirajaa/2. Mitatut pitoisuudet, ks. liite 1.

Näiden tulosten lisäksi sedimenteistä mitattiin yleensä alhaisia pitoisuuksia sekä metalleja että orgaanisia epäpuhtauksia.

Muut metallit

Analysoitujen metallien osalta, joille ei ole asetettu kynnysarvoja, mitatut pitoisuudet luokiteltiin Ruotsin ympäristökeskuksen (2020) mukaan hankealueella yleensä alhaisiksi (*taustapitoisuus* tai *hyvä*), ks. taulukko 4.4. SGU:n Perämereltä tekemät analyysit suotovesisedimenteistä osoittivat kohonneita arseeni- ja kobolttipitoisuuksia (Josefsson 2022), minkä oletetaan osittain johtuvan kallioperän luonnostaan korkeista pitoisuuksista. Sedimenttien tasot 1900-luvun alkupuolelta, ennen laajamittaisten teollisuuspäästöjen syntymistä, osoittavat Perämeren sedimenttien arseenipitoisuuksien olevan noin 10-12 mg/kg TS (Shahabi-Ghahfarokhi et al. 2021). Näiden pitoisuuksien ylittyminen viittaa arseenin kulkeutumiseen yhdestä tai useammasta lähteestä valuma-alueella ja sen ulkopuolella. Yleisarvio on, että Sigman tuulivoimapuiston hankealueella mitatut tasot vastaavat Perämeressä yleisesti esiintyviä tasoja.

Arseenin pitoisuus kaikissa analysoiduissa Sigman tuulivoimapuiston sedimentinäytteissä oli kuitenkin alle tason 35,7 mg/kg TS, jota pidetään turvallisena sedimentissä elävien eliöiden altistumisen kannalta (ECHA 2024a). Useimpien analysoitujen näytteiden pitoisuudet olivat alhaisempia kuin mitä on mitattu muissa kohteissa Perämerellä ja Ahvenanmerellä, joissa pintasedimentin arseenipitoisuus vaihteli välillä 20-131 mg/kg TS (Shahabi-Ghahfarokhi et al. 2021). Nikkelin ja sinkin osalta mitatut pitoisuudet olivat lähellä luokitusrajaa *Hyvä*, mutta *kohtalaiseksi* luokitelluissa pitoisuuksissa on riski negatiivisista vaikutuksista pohjaeläimiin pitkäaikaisessa altistumisessa (Swedish Environment Agency 2020).

Kaikilla näytteenottoaikoilla paitsi Si 26:lla 15-25 senttimetrin syvyydessä mitatut sinkkipitoisuudet ovat kuitenkin alle tason 162,2 mg/kg DM, jota pidetään turvallisena sedimentissä elävien eliöiden altistumisen kannalta (ECHA 2024b).

Koboltin osalta ei ole vertailukelpoisia arvoja, mutta sedimentistä mitattuja pitoisuuksia voidaan verrata esiteolliseen tasoon 12 mg/kg DM (Josefsson 2022), joka ylittyi yhdessätoista analysoidussa näytteessä. Sigman tuulivoimapuiston mitatut kobolttipitoisuudet vastasivat SGU:n sedimenttitutkimuksissa mitattuja pitoisuuksia, jotka vaihtelivat välillä 9-24 mg/kg TS, mikä osoittaa, että Sigman tuulivoimapuiston mitatut pitoisuudet vaihtelevat sen tason sisällä, jota voidaan pitää Perämerellä yleisesti esiintyvänä.

Sigman tuulipuiston analysoitujen sedimenttien nikkelpitoisuudet olivat samansuuruisia tai pienempiä kuin SGU:n näytteenottoasemilla lähialueella (Josefsson 2022) ja Eyrasalt Offshore -tuulipuiston alueella (Skyborn renewables 2023) mitatut pitoisuudet, mikä osoittaa, että analysoiduissa näytteissä mitatut pitoisuudet ovat alueella yleisiä. Tällä hetkellä sedimentin nikkelille ei ole olemassa arviointikriteerejä, mutta mitattuja nikkelpitoisuuksia 9,6-59 mg/kg TS voidaan verrata sedimentin nikkelin vakiintuneeseen taustatasoon 30 mg/kg TS (Josefsson 2022). Mitattuja pitoisuuksia voidaan verrata sedimentin nikkelin raja-arvoja tutkittaessa koottuihin tutkimuksiin, joissa alin taso, joka ei aiheuttanut vaikutusta altistuviin eliöihin, oli 109 mg/kg TS (Nipera 2017), joka alittui kaikissa analysoiduissa näytteissä.

Sekä metallien että orgaanisten epäpuhtauksien korkeammat pitoisuudet esiintyvät pääasiassa sedimenteissä, joissa on korkeampi orgaaninen pitoisuus, mikä johtuu siitä, että metallit sitoutuvat yleensä orgaaniseen materiaaliin, mutta metallit sitoutuvat myös pienempiin hiukkasiin, kuten saveen ja silttiin (Zhang et al. 2014), minkä vuoksi siltin ja saveen hallitsemiin sedimentteihin kertyy usein korkeampia metallipitoisuuksia kuin sedimentteihin, joissa on karkeampia hiukkasia. Suurin osa Sigman tuulivoimapuiston sedimenteistä koostuu lohkoista ja jaksoista, joissa on suurempi osuus tilli- ja jäätikkösaven hallitsemia sedimenttejä ja erityisesti syvemmillä alueilla myös jäätikön jälkeisen saveen, liejusaven ja liejusaven osia, jotka sisältävät runsaasti savea ja silttiä ja joissa orgaanisen aineksen pitoisuus on alhainen (liite 1, sedimentit). Näin ollen on perusteltua olettaa, että suuria metallipitoisuuksia ei esiinny suurimmassa osassa hankealuetta, kuten myös metallianalyysien tulokset osoittavat (taulukko 4.4).

Taulukko 4.4. Metallien mitatut pitoisuudet, milligrammaa TS-kiloa kohti (mg/kg TS), joilla ei ole kynnysarvoja Sigman tuulipuiston analysoiduissa sedimentinäytteissä. Luokitus Ruotsin ympäristökeskuksen (2020) mukaan: sininen väri = *Tausta*, vihreä väri = *Hyvä*, keltainen väri = *Kohtalainen*, valkoinen väri = ei luokitusta.

Näytteenotto -asema	Syvyys (cm)	Taso (mg/kg DM)								
		Alumiini	Arseeni	Barium	Koboltti	Kromi	Elohopea	nikkeli	Vanadiini	Sinkki
Jos 2	0-5	7700	2,2	40	4,2	14	<0,046	9,6	11	24
Jos 4	0-5	6900	2,9	280	4,4	38	<0,046	10	17	32
Si 6	0-5	20 000	21	200	17	56	<0,046	31	50	99
Jos 7	0-5	14 000	21	400	27	41	<0,046	34	41	80
Jos 9	0-5	18 000	12	140	14	46	<0,046	26	41	80
Si 14	0-5	8100	6,6	300	7,0	31	<0,046	14	21	37
Jos 15	0-5	9800	3,4	310	5,2	38	<0,046	12	20	36
Si 19	0-5	6800	7,3	390	6,3	32	<0,046	10	16	32
Jos 20	0-5	22 000	29	270	22	54	<0,046	37	60	110
Si 21	0-5	24 000	15	320	19	56	<0,046	37	59	100
Si 22	0-5	30 000	13	430	23	65	<0,046	44	66	120
Si 23	0-5	25 000	29	600	24	65	<0,046	44	69	130
Si 26	0-5	30 000	14	350	30	63	<0,046	52	65	130
Si 31	0-5	30 000	10	310	23	78	<0,046	49	79	140
Jos 9	15-25	44 000	12	230	24	85	<0,046	55	86	160
Si 26	15-25	41 000	7,4	240	26	92	<0,046	59	94	170

Alumiinin, bariumin ja vanadiinin osalta ei ole luokitusvertailuja, mutta verrattuna SGU:lle aiemmin raportoituhiin paikalliselta alueelta saatuihin tietoihin (taulukko 4.5) Sigman tuulipuiston sedimentistä mitatut pitoisuudet olivat alhaisempia kuin raportoitujen pitoisuuksien keskiarvo. Kobolttin mitatut pitoisuudet olivat yksittäisissä näytteissä hieman korkeammat, mutta ne olivat yleisesti ottaen samalla tasolla kuin SGU:lle raportoidut tiedot (SGU 2024).

Taulukko 4.5: Alumiinin, bariumin, kobolttin ja vanadiinin keskimääräiset pitoisuudet milligrammoja kilogrammassa DM (mg/kg DM) Perämereltä SGU:lle ilmoitetuissa tiedoissa (SGU 2024). Suluissa olevat arvot osoittavat tietojen keskihajonnan.

metalli	Mittausasemien lukumäärä	Mittausten lukumäärä	Keskimääräinen pitoisuus (mg/kg DM)
Alumiini	2	34	68 912 (4866)
Barium	2	34	667 (58,8)
Koboltti	2	35	21,2 (3,31)
Vanadiini	2	35	99,1 (15,9)

Orgaaniset epäpuhtaudet

Mitä tulee orgaanisten ympäristömyrkkyjen esiintymiseen Sigman tuulipuiston sedimenteissä, aiempien tutkimusten tulokset ovat yleensä osoittaneet orgaanisten ympäristömyrkkyjen alhaisia pitoisuuksia Perämerellä (Josefsson 2022), mihin myös Sigman tuulipuiston tulokset viittaavat. Kaikki analysoidujen sedimenttien orgaanisten tinayhdisteiden, etyylibentseenin, tolueenin, ksyleenin, PCB-yhdisteiden ja EOX:n pitoisuudet olivat alle laboratorion raportointirajan (liite 1). Lisäksi mitattiin pieniä pitoisuuksia DDT:tä, PAH-yhdisteitä, dioksiinia sekä aromaattisia ja alifaattisia hiilivetyjä, joiden ei sen vuoksi katsota aiheuttavan merkittävää vaikutusta altistuviin eliöihin (liite 1).

Josefssonin (2022) tutkimuksen lähialueella poikkeuksena oli PFAS-pitoisuus, jota, toisin kuin muita tutkimuksessa analysoituja orgaanisia ympäristömyrkkyjä, mitattiin suuria määriä Perämeren suotovesisedimentistä verrattuna esimerkiksi varsinaiseen Itämereen ja eteläiseen Itämereen. Tämä siitä huolimatta, että alueen kaloista mitatut pitoisuudet olivat pienempiä kuin muilla tutkituilla alueilla. Sigman tuulivoimapuiston sedimentistä mitatut pitoisuudet olivat sen sijaan seuraavat



PELAGIA

huomattavasti alhaisemmat kuin Josefssonin (2022) tutkimuksessa (taulukko 4.6). Esimerkiksi Sigman tuulipuiston yhdentoista PFAS-yhdisteen kokonaispitoisuus vaihteli välillä 0,79-2,22 µg/kg DM, mitä voidaan verrata Josefssonin (2022) tutkimuksessa mitattuihin 7-25 µg/kg DM.

Tällä hetkellä sedimentissä oleville PFAS-yhdisteille ei ole olemassa raja-arvoja, mutta Sigman tuulipuiston sedimentistä mitattujen PFOS- ja PFOA-pitoisuuksien (taulukko 4.6) ei katsota aiheuttavan haittaa sedimentissä eläville organismeille pitkäaikaisessa altistumisessa. Tämä johtuu siitä, että PFOS:n normalisoidut pitoisuudet olivat alle ehdotetun EU:n raja-arvon 13,4 µg/kg DM PFOS:lle sedimentissä, jonka orgaanisen hiilen pitoisuus (TOC) on viisi prosenttia (SCHEER 2022), ja koska kaikki mitatut PFOA-pitoisuudet luokiteltiin Ruotsin ympäristöviraston (2020) mukaan luokkaan *Hyvä*, mikä tarkoittaa vähäistä riskiä vaikutuksista pitkäaikaisessa altistumisessa. Tulokset osoittavat, että Sigman tuulivoimapuistossa on alhaisia PFAS-pitoisuuksia, joiden ei katsota aiheuttavan vaikutusta altistuneisiin sedimentissä eläviin eliöihin.

Taulukko 4.6 PFOA:n, PFAS:n ja yhdentoista analysoidun PFAS-kongeneerin mitatut pitoisuudet, mikrogrammaa TS-kiloa kohti (µg/kg TS), Sigman tuulipuiston sedimentissä ja lähialueella aiemmin tehdyissä sedimenttitutkimuksissa (Josefsson 2022). Vihreä väri tarkoittaa Ruotsin ympäristökeskuksen (2020) mukaan *hyviksi* luokiteltuja pitoisuuksia. < tarkoittaa laboratorion raportointirajan alittavia pitoisuuksia.

Näytteenottopaikka	Syvyys (cm)	Taso (µg/kg DM)			
		PFOA (Perfluoro-oktaanihappo)	PFOS (Perfluoro-oktaanisulfonihappo)	PFOS* Perfluoro-oktaanisulfonihappo	ΣPFAS 11
Jos 2	0-5	0,052	0,072	0,53	0,84
Jos 4	0-5	0,054	0,075	0,82	0,84
Si 6	0-5	0,22	0,17	0,37	1,49
Jos 7	0-5	0,031	0,065	0,36	0,82
Jos 9	0-5	0,31	0,43	1,19	1,93
Si 14	0-5	0,068	0,063	0,62	0,84
Jos 15	0-5	0,037	0,052	0,41	0,80
Si 19	0-5	0,056	0,11	0,97	0,91
Jos 20	0-5	0,15	0,22	0,61	1,49
Si 21	0-5	0,15	0,13	0,59	1,10
Si 22	0-5	0,19	0,21	0,75	1,34
Si 23	0-5	0,28	0,48	1,41	1,88
Si 26	0-5	0,43	0,52	1,44	2,22
Si 31	0-5	0,16	0,14	0,47	1,19
Jos 9	15-25	<0,039	<0,039	0,036 ^a	0,94
Si 26	15-25	<0,033	<0,033	0,055 ^a	0,79
Josefsson (2022)	0-1				7-25
Norjan ympäristökeskus (2020)	Luokka 1	Luokka 2	Luokka 3	Luokka 4	Luokka 5
	Tausta	Jumala	Kohtalainen	Huono	Erittäin huono
PFOA (µg/kg DM)		0-71			
PFOS (µg/kg DM)		0-0,23	0,23-72		

*Normalisoitu TOC:hen nähden

^aNormalisointitarkoituksessa pitoisuutena on käytetty Euroopan komission direktiivin 2009/90/EY mukaista raportointirajaa/2.

Kaiken kaikkiaan Sigman tuulivoimapuiston sedimenttitutkimus ja aiemmat tutkimukset suotovesien sedimenteistä osoittavat, että ympäristömyrkköjen pitoisuudet ovat alhaiset. Tämä tarkoittaa, että ympäristömyrkköjen nykyisiä kynnysarvoja alhaisempia pitoisuuksia suotautuvassa sedimentissä, pitoisuuksia, joilla on vähäinen riski altistuviin eliöihin kohdistuvasta vaikutuksesta, tai pitoisuuksia, jotka ylittävät ehdotetut raja-arvot. Poikkeuksena olivat arseeni, nikkeli ja sinkki, joita esiintyi joissakin näytteissä hieman kohonneina pitoisuuksina, mutta joita ei kuitenkaan ollut.



PELAGIA

joilla ei käytettävissä olevan tieteellisen näytön mukaan odoteta olevan merkittäviä vaikutuksia altistuviin sedimentissä eläviin eliöihin.

Sigman tuulivoimapuiston alueella esiintyvän sedimentin tyyppi vaikuttaa ympäristömyrkyjen esiintymiseen hankealueella ja leviämiskäyttöön sameustilanteessa. Analysoidut näytteet koostuvat hienorakeisesta sedimentistä, jonka orgaaninen pitoisuus on alhainen, minkä vuoksi orgaanisiin hiukkasiin sitoutuvia ympäristömyrkyjä esiintyy alhaisina pitoisuuksina, mitä tukee se, että mitatut pitoisuudet olivat yleensä alhaisia. Hienorakeiset sedimentit voivat kuitenkin johtaa ympäristömyrkyjen lisääntyneeseen kertymiseen, koska ympäristömyrkyillä on suurempi pinta-ala sitoutua niihin kuin karkearakeisissa sedimenteissä. Arvio eri sedimenttityyppien esiintymisestä Sigman tuulivoimapuiston alueella osoittaa, että merenpohja on vaihteleva ja että suuria alueita hallitsevat tilit ja jäätikön aikainen savi ja erityisesti syvemmällä alueella myös jäätikön aikainen savi, mutasavi ja mutasavi, joissa on hienojakoisia hiukkasia (tekninen kuvaus, lisäys 2a). Pohjan pohja koostuu karkeista aineksista, kuten lohkarista ja kivistä, koostuvista kiveys- ja moreeniharjanteista, joiden välissä on vastaavan kokoisia sulamisvesikanavia. Merenpohjan vaihtelevuus tarkoittaa, että epäpuhtauksien määrän voidaan olettaa vaihtelevan alueella.

Rakennusvaiheen aikana riski siitä, että sedimenteistä leviävät ympäristömyrkyt aiheuttavat vaikutuksia ekosysteemiin, arvioidaan vähäiseksi. Tämä johtuu siitä, että sedimenttien nykyisten ympäristömyrkyjen pitoisuuksien ei katsota aiheuttavan riskiä altistuville pohjaeläimille. Lisäksi merkittävä osa hankealueesta koostuu merenpohjasta, jossa on lohkarista ja karkeaa moreenia, jossa ympäristömyrkyjä ei odoteta esiintyvän.

Rakennusvaihetta varten tehty sameutta ja sedimentin leviämistä koskevat mallit osoittavat myös, että sameus ja sedimentin leviäminen rajoittuvat merenpohjaa häiritseviin toimintoihin, esimerkiksi tuulivoimaloiden pystyttämisen ja sähkökaapeleiden asentamisen aikana, ja että suurin osa leviämisestä tapahtuu suoraan sedimenttiä häiritsevien toimintojen läheisyydessä. Tämä tarkoittaa sitä, että eliöt altistuvat hiukkasiin sitoutuneille epäpuhtauksille vain niiden alueiden läheisyydessä, joilla töitä tehdään, ja sinä aikana, jolloin sedimenttihiukkaset ovat vesimassassa. Sameuden ja sedimentin leviämisen osalta tehty leviämismallinnus osoittaa, että suurin osa sameasta sedimentistä on jo laskeutunut pohjaan 36 tunnin kuluessa (taulukko 4.1), mikä tarkoittaa, että vesimuodostuman eliöiden altistuminen on lyhytaikaista. Se osa epäpuhtauksista, joka liukenee sedimentin resuspension aikana, laimenee ympäröivään meriveteen. Laimeneminen tarkoittaa, että veteen liunneen aineen pitoisuus on pieni osa sedimenteistä mitatuista alhaisista pitoisuuksista, eikä sen siksi odoteta aiheuttavan merkittävää vaikutusta ympäröivän veden altistuviin eliöihin. On lisättävä, että sedimenteissä esiintyvät epäpuhtaudet ovat laajamittaisia epäpuhtauksia, mikä tarkoittaa, että niitä esiintyy samankaltaisina pitoisuuksina myös hankealueen ulkopuolella. Tämä tarkoittaa sitä, että rakennustoiminnasta mahdollisesti aiheutuvat haitta-aineiden leviämiset eivät leviä vaikutuksettomille alueille.

Vedenalainen melu

Ihmisen toiminnasta aiheutuva melu valtamerissä vaikuttaa merkittävästi meren eliöihin, pääasiassa kaloihin ja merinisäkkäisiin, ja se luokitellaan yleensä impulssimeluun ja jatkuvaan meluun. Suunnitellut toiminnot lisäävät meren äänimaailmaa erityisesti rakennusvaiheen aikana. Yhtäältä alusliikenne hankealueelle, hankealueelta ja hankealueella lisääntyy ja toisaalta tuulivoimaloiden ja niihin liittyvän infrastruktuurin rakentaminen lisää sekä impulssimaista että jatkuvaa melua.

Meri ei ole äänetön, mutta meren, tuulen ja aaltojen sekä ihmisen aiheuttama melu meriliikenteen tai muun toiminnan muodossa on jatkuvaa. Ruotsin meri- ja vesivarojenministeriön nykyisessä arvioinnissa Perämeri on luokiteltu hyvään tilaan jatkuvan melun osalta (HVMFS 2012:18). Hankealueen itäpuolella on tällä hetkellä laivaväylä, joka aiheuttaa vedenalaista melua.

Äänen eteneminen äänilähteestä vedessä riippuu useista tekijöistä, kuten suolapitoisuudesta, batymetriasta, pohjan alustasta, vuodenaikasta ja termokliinistä (Bergström ym. 2022; Andersson ym. 2016). Vedenalainen ääni esiintyy sekä paineena/ääniaaltoina (dB) että hiukkasliikkeenä ($m \cdot s^{-2}$), jolloin hylkeet rekisteröivät äänenpaineen korvillaan, kun taas kalat, jotka lajista riippuen aistivat äänenpaineen lisäksi myös hiukkasliikkeen vedessä, erityisesti lajit, joilla ei ole uimarakkoa, ja pohjalla elävät kalat sekä myös pohjaeläimistö (Axenrot & Didrikas 2012; Andersson et al. 2016).

Kovat äänet voivat aiheuttaa vammoja ja kuolevuutta kaloille ja merinisäkkäille, mutta miedompiinkin ääniin liittyy monia riskejä, kuten tilapäinen kynnyksen siirtymä (TTS), pysyvä kynnyksen siirtymä (PTS), fysiologiset muutokset ja stressivaikutukset,



biologisesti tärkeiden äänien peittyminen, munien ja toukkien vahingoittuminen sekä käyttäytymismuutokset (Isæus ym. 2022; Johansson ym. 2016; Mickle & Higgs 2017; de Jong ym. 2018; Bergström ym. 2022; Andersen ym. 2012). Sen lisäksi, että lajin välillä on fysiologisia eroja vedenalaisten äänien havaitsemisessa ja kokemisessa, vasteet samalle vedenalaiselle äänelle voivat vaihdella saman lajin yksilöiden välillä riippuen muun muassa elämänhistoriasta, senhetkisestä kuulotilasta, aktiivisuudesta äänihäiriön aikana ja sijainnista suhteessa äänilähteeseen (Hawkins & Popper 2017; Aarts, Brasseur & Kirkwood 2018).

Swecon Sigman tuulipuistoa varten tekemässä vedenalaisessa akustisessa tutkimuksessa (vedenalainen ääni, YVA:n liite 6) käytetään hylkeille ja kaloille, tässä tapauksessa kilohailille ja silakalle, kehitettyjä kynnysarvoja, joista hylkeiden kynnysarvot ovat taajuuspainotettuja, koska näiden eläinryhmien kuuloalueet eroavat toisistaan, ks. taulukko 4.7. Kynnysarvot ovat myös erilaiset impulssimaisille äänille (kuten paalutus) ja muille äänille (kuten laivaliikenne) ja riippumatta siitä, onko kyseessä pakenen eläimen painotettu äänikuva enintään 24 tunnin ajalta (SEL_{cum}) vai yksittäisen äänen huippuarvo (L_{peak}), ks. lisätietoja vedenalaisesta melusta, YVA liite 6. Painotettu äänikuva (SEL_{cum}) ja SEL_{pcw} esitetään dB re. 1 μPa^2s , kun taas L_{peak} esitetään dB re. 1 μPa .

Taulukko 4.7 Hylkeiden ja kalojen (silakka ja kilohaili) kynnysarvot (Vedenalainen melu, YVA liite 6; Southall et al. 2019). L_{peak} ovat painottamattomia tasoja, ja ne on esitetty dB re. 1 μPa . SEL_{cum} -kynnysarvot esitetään dB re. 1 μPa^2s , jossa pcw (Phocid Carnivores in Water) on taajuuspainotettu hylkeiden osalta.

Äänityyppi	Mitat	PTS	TTS
SILAKKA JA KILOHAILI			
Impulsiivinen ääni	SEL_{cum}	203	186
	L_{peak}	207	206
MYYNTEI			
Impulsiivinen ääni	$SEL_{cum,pcw}$	185	170
	L_{peak}	218	212
Muu ääni	SEL_{PCW}	201	181

Swecon etäisyyslaskelmat perustuvat pahimpaan mahdolliseen skenaarioon, jossa pahimman skenaarion muodostavat monopile-perustusten paalutuksesta aiheutuvat impulssimaiset äänet. Mallinnus on tehty kahden pisteen, hankealueella sijaitsevan pohjoisen ja eteläisen pistemäisen lähteen perusteella, jotta katettaisiin mahdollisimman suuri vaikutus. Laskelmissa ei ole otettu huomioon laivojen toiminnasta tai läheisistä laivaväylistä aiheutuvaa melua (vedenalainen melu, YVA:n liite 6).

Paalutettaessa monopile-perustuksia ja myös muissa rakennusmenetelmissä on käytettävä äänenvaimennustoimenpiteitä. Kun kyseessä on vaimennuksen paalutus, ääni kantautuu hyvin laajoille alueille, jolloin Statkraft käyttää vähintään 6 dB:n vaimennuksen tuottavia suojaustoimenpiteitä, jotka pienentävät aluetta, jossa äänitaso on korkein. Esimerkkejä paalutuksen aikana käytettävistä suojaustoimenpiteistä ovat paalutuksen yhteydessä vasaran ja paalun väliin sijoitettava vaimennusjärjestelmä (PULSE) ja paalun ympärille luotu ilmatasku, joka vaimentaa ääntä, niin sanottu Hydro Sound Damper (HSD). Big Bubble Curtain (BBC) tai Double Big Bubble Curtain (DBBC) -vaimennusmenetelmä on menetelmä, jossa käytetään yksittäis- tai kaksoisrivissä olevia rei'itettyjä putkia, jotka vapauttavat ilmakuplia paalun ympärille ja vaimentavat näin äänen etenemistä. Eri menetelmien tehokkuus vaihtelee tilanteesta riippuen, esimerkiksi kuplaverhot eivät ole yhtä tehokkaita syvemmillä alueilla ja alueilla, joilla on virtauksia, koska kuplat ovat harvempia ja äänenvaimennus vähenee, ja HSD-menetelmää ei voida soveltaa ristikkoperustuksiin rakenteensa vuoksi (Vedenalainen melu, YVA liite 6). Yleinen menetelmä merieläimille aiheutuvien haittojen riskin vähentämiseksi on pelotella yksilöt pois äänilähteestä käyttämällä akustisia pelotuslaitteita (ADD). Toinen menetelmä on aloittaa paalutus varovasti (pehmeä alkua) ja lisätä vähitellen iskujen voimakkuutta (ramppi), jolloin täysi voima saavutetaan vasta, kun yksilöiden arvioidaan paenneen ja olevan sellaisella etäisyydellä, että haittojen riski on vähentynyt.

Taustaselvityksessä on laskettu etäisyys äänilähteestä siihen asti, kunnes kynnysarvot ylittyvät sekä hylkeille että silakoille, kun paalutusta ei vaimenneta ja kun käytetään edellä mainittuja suojaustoimenpiteitä, mukaan lukien pehmeä käynnistys ja rampaus, ks. taulukko 4.8.



Taulukko 4.8. Etäisyydet kilometreinä (km) äänilähteestä, joilla saavutetaan TTS:n ja PTS:n raja-arvo SELcum- ja Lpeak-arvojen osalta silakan ja kilohailin sekä hylkeen osalta. Etäisyydet on laskettu pohjoiseen ja etelään sijoitetusta äänilähteestä, ja etäisyydet on esitetty kullekin suojatoimenpiteelle pehmeää käynnistystä ja ramppia käyttäen.

Asema ja vertailuarvo	Vaikutuksen tyyppi	Pisin etäisyys (kilometreinä), jolla ohjearvo ylittyy.			
		Vaimentamaton	-6 dB	HSD	DBBC
KALAT					
ETELÄINEN SIJAINTI					
SELcum (186)	TTS	103,2	47,5	25,7	<1
SELcum (203)	PTS	3,0	<1	<1	<1
Lpeak (206)	TTS	1,1	<1	<1	<1
Lpeak (207)	PTS	<1	<1	<1	<1
POHJOISET ASEMAT					
SELcum (186)	TTS	90,4	43,7	25,5	<1
SELcum (203)	TTS	4,9	<1	<1	<1
Lpeak (206)	PTS	1,2	<1	<1	<1
Lpeak (207)	PTS	<1	<1	<1	<1
MYYNTEI					
ETELÄINEN SIJAINTI					
SELcum _{PCW} (170)	TTS	51,0	13,7	2,8	<1
Lpeak (212)	TTS	<1	<1	<1	<1
SELcum _{PCW} (185)	PTS	3,0	1,1	<1	-
Lpeak (218)	PTS	<1	<1	<1	-
POHJOISET ASEMAT					
SELcum _{PCW} (170)	TTS	43,9	14,7	3,0	<1
Lpeak (212)	TTS	<1	<1	<1	<1
SELcum _{PCW} (185)	PTS	3,0	<1	<1	<1
Lpeak (218)	PTS	<1	<1	<1	-

Sen lisäksi, että ääni vaikuttaa kaloihin ja hylkeisiin mahdollisen TTS:n ja PTS:n kautta, on tarkasteltava myös vaikutusta käyttäytymiseen. Hylkeet kuulevat hyvin sekä vedenpinnan ylä- että alapuolella, ja ääniä käytetään metsästyksessä, viestintään ja navigointiin, jolloin ihmisen aiheuttamat äänet voivat peittää nämä ja aiheuttaa stressiä ja muita käyttäytymismuutoksia (Ruser ym. 2014; Isæus ym. 2022). Hylkeet voivat paeta kovia vedenalaisia ääniä nostamalla päänsä vedestä, mutta kalat eivät pysty samaan. Ihmisen aiheuttamat äänet voivat toimia houkuttimena ja aiheuttaa lisääntyntä valppautta tai olla hylkeille pelotteita (Tougaard 2021). Käytännössä vedenalaiset äänet voivat peittää viestintää, aiheuttaa stressiä ja käyttäytymismuutoksia. Käyttäytymiseen kohdistuvien vaikutusten kynnysarvot puuttuvat sekä hylkeiden että kalojen osalta. Hylkeiden havainnot alueilla, jotka altistuvat vaimentamattomille paalutusäänille, ovat osoittaneet käyttäytymisreaktiota keskimäärin 20-30 kilometrin etäisyydellä äänilähteestä, mutta niitä on havaittu myös yli 36 kilometrin etäisyydellä paikallisissa olosuhteissa (Tougaard 2021; Aarts, Brasseur & Kirkwood 2018; Russel et al. 2016). Kalojen osalta vaikutus on erilainen eri lajeilla, minkä vuoksi yleisiä kynnysarvoja on vaikea kehittää, mitä korostetaan tarkemmin kohdassa 5.1.1.

Yksittäisillä häiriötekijöillä, kuten ravinnonhankinnan keskeytymisellä, on harvoin kielteisiä seurauksia esimerkiksi hylkeille, mutta alueilla, joilla esiintyy jatkuvasti useita häiriötekijöitä, yksilöihin voi kohdistua kielteisiä vaikutuksia ja siten mahdollisesti kielteisiä vaikutuksia populaatioon (Tougaard 2021). Se, miten vedenalainen melu vaikuttaa yksilöihin, riippuu myös yksilön aiemmista kokemuksista, iästä, sukupuolesta, ammatista äänihäiriön aikaan ja mahdollisista aiemmista kuulovaurioista (Aarts, Brasseur & Kirkwood 2018). Alueen merkitys yksilölle voi myös vaikuttaa siihen, miten ja miten paljon yksilö reagoi ääneen ja häiriöihin. Andersen ym. (2012) tutkivat satamahylkeiden reaktioita häiriöihin Anholtin hylkeiden suojelualueella Tanskassa ja havaitsivat, että hylkeet palasivat maalle nopeammin häiriön jälkeisenä hauloutumisjaksona verrattuna muihin jaksoihin.



Sähkömagneettiset kentät

Sähkömagneettisia kenttiä syntyy kaapeleiden ympärille, kun tuotettua sähköä siirretään tuulipuiston sisällä ja vientikaapeleiden kautta mantereelle. Sähkömagneettisia kenttiä ei siis synny rakennusvaiheessa, vaan vasta kun tuulipuisto otetaan käyttöön.

4.2 Drift

Kun Sigma-tuulipuisto on toiminnassa, ympäristövaikutusten odotetaan yleensä olevan vähäisempiä kuin rakennus- ja käytöstäpoistovaiheessa. Toiminnan valvonnan ja kunnossapidon aikana hankealueella, sinne ja sieltä pois kulkevan liikenteen odotetaan lisääntyvän verrattuna ennen perustettua toimintaa tapahtuneeseen liikennöintiin. Jaksossa käsitellään vaikutustekijöitä, jotka ovat merkityksellisiä toimintavaiheessa normaalissa toiminnassa.

Elinympäristön muutos ja riuttojen vaikutus

Kun Sigman tuulipuisto on toiminnassa, hankealueen elinympäristö ei enää muutu. Sisäisen kaapeliverkoston purkamisesta syntyneet kaivannot ja penkereet todennäköisesti pienenevät toimintavaiheessa, koska veden liikkuminen suhteellisen lyhyessä ajassa muuttaa pohjan alustan vaikutusta edeltävään tilaan.

Vaikka elinympäristö ei enää muuttuisi toiminnan aloittamisen jälkeen, riutтоваikutus jatkuu kunkin yksittäisen tuulivoimalan perustamisesta aina käytöstä poistamiseen saakka. Tuulivoimalat ulottuvat pohjasta pintaan, ja ne ovat hankealueella potentiaalisia uusia elinympäristöjä, jotka voivat tarjota eliöille kiinnittymispaikkoja. Ne voivat toimia myös kalojen ja muiden eliöiden kerääntymisalueina, jotka voivat käyttää näitä alueita suojana, ravinnonhankinta- tai kasvattamistarkoituksessa, ja siten toimia keinotekoisena riuttana. Näiden rakenteiden lisäämä pinta-ala riippuu rakenteiden syvyydestä, perustustyyppistä sekä niiden halkaisijasta ja eroosiosuojan tyypistä. Eroosiosuojalla pyritään nimensä mukaisesti estämään eroosio ja perustusten ankkuroinnin heikentyminen, ja se koostuu tavallisesti sorakerroksesta, jossa on erikokoisia kiviä ja joka on sijoitettu perustusten ympärille. Sen halkaisija ja muoto riippuvat muun muassa perustustyyppistä ja pohjan alustatyyppistä. Meriympäristöissä on osoitettu merituulipuistojen läheisyydessä sijaitsevien keinotekoisien riuttojen selkeä vaikutus lajirunsauden lisääntymiseen (Van Hal ym. 2017; De Troch ym. 2013). Sitä esiintyy myös ympäristöissä, joiden suolapitoisuus on alhaisempi (Andersson & Öhman 2010). Ruotsin meriympäristössä on selvä suolapitoisuusgradientti pohjoisesta etelään siten, että lähin makean veden osuus on Pohjanlahdella (2-3 prosenttia), Perämerellä noin 5 prosenttia, Selkämerellä noin 10 prosenttia ja Skagerrakissa jopa 30 prosenttia, jossa lajimäärä yleensä vähenee suolapitoisuuden laskiessa (Öhman 2023).

Kun uusia kovia rakenteita perustetaan, on myös olemassa riski, että vieraslajit käyttävät hyväkseen uusia kovia pohjaalueita. Vieraslajit eli vierasperäiset lajit, joilla on kyky vakiintua nopeasti ja lisääntyä, voivat syrjäyttää luontaiseen kasvistoon ja eläimistöön kuuluvia lajeja. Uusi elinympäristö voi toimia ponnahtuslautana, joka mahdollistaa vieraslajin asettumisen tai ponnahtuslautana tehokkaammalle leviämislle eri kovien pohjien elinympäristöjen välillä. Tieteellisiä tutkimuksia, joissa vieraslajien leviäminen yhdistettäisiin tuulipuistojen luomiin uusiin elinympäristöihin ja lisääntyneeseen alusliikenteeseen, ei kuitenkaan ole riittävästi (Dannheim ym. 2020). Mahdollinen lisääntynyt leviämiskäsi liittyy todennäköisesti vahvasti kyseisten tuulipuistojen sijaintiin ja etäisyyteen muista läheisistä alueista, joilla on sopivaa elinympäristöä.

Sigman tuulipuiston tapauksessa kaikkien vieraslajien on sopeuduttava Perämeren suhteellisen alhaiseen suolapitoisuuteen. Puhtaasti merellisten ja makean veden lajien ei odoteta pystyvän asettumaan Perämeren edustalla sijaitsevalle merialueelle. Sigman tuulivoimapuisto on myös suhteellisen kaukana maasta (> 80 kilometriä) ja sitä ympäröi syvämpi vesi, mikä tarkoittaa, että mahdollisuudet paikalliseen leviämiseen Perämerellä kovapohjaisten alueiden välillä ovat monille lajeille hyvin rajalliset. Yleisesti ottaen Perämeren nykyisten lajien leviämiskäsiydet ovat suhteellisen lyhyitä, alle 20 kilometriä, vaikka on lajeja, jotka voivat levitä yli 100 kilometriä sirpaleina (esim. merilevä) tai pelagisten toukkien (esim. sileäpohjainen merirousku) välityksellä (Berkström ym. 2019). Sirpaleiden tai toukkien avulla leviävät lajit seuraavat sitten merivirtoja sopiviin elinympäristöihin. Sen lisäksi, että pitkien



Etäisyydellä maasta vallitsevat virtaukset kulkevat kuitenkin pohjois-eteläsuunnassa (Leppäranta & Myrberg, 2009), mikä vaikeuttaa toukkien ja sirpaleiden luonnollista leviämistä muihin suuntiin. Sigman tuulivoimapuiston alue ei siis muodosta luonnollista tai helposti saavutettavaa siltaa lajien leviämiselle.

Alusten painolastiveden mukana leviävien lajien osalta on olemassa lainsäädäntöä, jolla estetään organismien leviäminen. YK:n Kansainvälisen merenkulkujärjestön (IMO) hyväksymä painolastivesiyleissopimus on pantu täytäntöön Ruotsin lainsäädännössä painolastivesiasetuksella (SFS 2017:74), ja siinä säännellään painolastisäiliöiden käyttöä ja hoitoa tavoitteena hillitä vieraslajien leviämistä satamien välillä. Suunniteltua toimintaa varten rakennusmateriaalia kuljettavien alusten odotetaan noudattavan tätä lainsäädäntöä ja toteuttavan turvatoimia uusien vieraslajien leviämiseen liittyvän riskin minimoimiseksi.

Sigman tuulivoimapuiston ja sen elinympäristöä muuttavan vaikutuksen vieraslajien leviämisen esteenä on edellä mainituista syistä katsottu olevan vähäinen, eikä sitä tutkita tarkemmin.

Elinympäristön muutokseen voi sisältyä myös varjostuksen vaikutus. Aurinkoisella säällä tuulivoimalat ja niiden pyörivät lavat luovat varjoja. Varjostus muuttuu vuoden ja päivän aikana auringon asennon mukaan. Se, kuinka syvälle vesistöön varjot ulottuvat, vaihtelee vuoden mittaan, koska näkösyvyys vaihtelee suhteessa vesistön kasviplanktonin määrään.

Kiintoainepitoisuus ja sedimentaatio

Toimintavaiheessa, kun kaikki infrastruktuuri on paikoillaan, ei tehdä mitään sellaisia töitä, jotka aiheuttavat suspendoituneen aineksen määrän lisääntymistä, sedimentaation lisääntymistä tai ympäristölle haitallisten aineiden pääsyä vesistöön.

Vedenalainen melu

Toimintavaiheessa syntyvä ääni on jatkuvaa melua, joka eroaa luonteeltaan impulssimaisista äänistä, kuten paalutuksesta. Jatkovaa melua esiintyy meressä, ja sen ominaisuudet ja näin ollen vaikutukset vaihtelevat muun muassa lähteen tyypin, äänen taajuuden, vastaanottajan ja vuodenajan mukaan, sillä talvella ääni etenee pidemmälle. Toimintamelun korkeimmat äänitasot ovat lähimpänä melulähdettä ja pienenevät etäisyyden kasvaessa (Tougaard, Hermannsen & Madsen 2020). Tuulivoimaloiden jatkuva melu ei ole riittävän kova aiheuttaakseen fyysistä haittaa, mutta se voi vaikuttaa meren eliöihin esimerkiksi viestinnän peittymisen kautta. Vedenalainen melu vaikuttaa moniin meren eliöihin, mutta tieto siitä, miten ja missä määrin, on vielä suhteellisen vähäistä.

Toimintavaiheessa tuulivoimaloiden aiheuttama ääni syntyy kahdella eri tavalla: osittain veden pinnalla roottorin lapojen kulkemisesta aiheutuvien paineenvaihtelujen kautta ja osittain tornien ja perustusten kautta tapahtuvan värinän kautta. Vedenalaiseen ääneen vaikuttavat pääasiassa tuulivoimalan tornissa syntyvät värähtelyt (Kikuchi 2010; Pangerc et al. 2016; Tougaard Hermannsen & Madsen 2020). Roottoreiden ilmaääni heijastuu suurelta osin veden pinnasta, joten sen merkitys vedenalaiseen meluun on vähäisempi (Andersson et al. 2016). Äänitasot vaihtelevat tuulen nopeuden mukaan, mutta ne ovat huomattavasti alhaisemmat kuin rakennusvaiheen aikana syntyvät äänitasot ja myös alhaisemmat kuin tavallisesti suurempien alusten aiheuttamat äänitasot (Tougaard, Hermannsen & Madsen 2020). Useimmat julkaistut äänimittaukset ovat kuitenkin peräisin tuulivoimaloista, jotka eroavat sekä kooltaan että äänen siirtymiseltään Sigman tuulipuistoon suunnitelluista tuulivoimaloista.

Taustataso meressä on tavallisesti noin 108 dB re 1 μPa^2 peilikirkkaissa/raikkaissa olosuhteissa Sigman tuulivoimapuiston lasketut toiminnalliset äänet osoittavat, että odotettavissa olevat äänitasot ovat noin 106-111 dB re 1 μPa^2 - mikä on verrattavissa tavanomaisiin taustääniin, minkä vuoksi vedenalaisen äänen vaikutuksen hylkeisiin ja kaloihin odotetaan olevan toimintavaiheessa vähäinen (Vedenalainen ääni, YVA-selostuksen liite 6). Mitattujen äänitasojen lisäksi sekä hylkeiden että kalojen on havaittu oleskelevan sekä tuulivoimaloiden välittömässä läheisyydessä että tuulipuistojen sisällä, mikä viittaa äänen vähäiseen vaikutukseen toimintavaiheen aikana (Russel et al. 2014; Russel et al. 2016; Andersson & Öhman 2010; Bergström et al. 2013). Taustaselvityksessä ei ole otettu huomioon toiminnallista laivaliikennettä, joka vaikuttaa vedenalaisella melulla toimintavaiheen aikana.



Koska sekä taustamelu että tuulen nopeus vaihtelevat ajan myötä ja koska vastaanottimilla on erilaiset kuuloalueet ja toleranssit, on todennäköistä, että myös toimintamelun vaikutus kaloihin ja hylkeisiin vaihtelee. Jos alukset kulkevat ohi, laivamelu hallitsee taustamelua (vedenalainen melu, YVA:n liite 6).

Sähkömagneettiset kentät

Sähkö- ja magneettikenttiä syntyy, kun tuotettua sähköä siirretään sisäisessä kaapeliverkostossa tuulivoimaloiden välillä ja niistä sähköasemille sekä vientikaapeleissa sähköasemilta rannikolle. Näiden kenttien voimakkuus kuitenkin vähenee nopeasti sekä vaaka- että pystysuunnassa, kun etäisyys kaapeleista kasvaa (Tricas & Gill 2011). Näin ollen vaikutuksia eliöihin voidaan vähentää haudamalla kaapelit sedimenttiin.

Sigman tuulivoimapuistossa suunnitellaan noin 450 kilometriä sisäistä kaapelia, joka peitetään noin metrin paksuisella sedimentillä tai muulla peittävällä materiaalilla, kuten kivellä ja betonimatolla (kuulemisraportti, YVA-selostus, liite 1). Sisäisen kaapeliverkoston teknisessä kuvauksessa (Tekninen kuvaus, liite 2 a) kuvataan kaapelia, joka synnyttää suurimmat magneettikentät, joissa magneettikentän voimakkuus on suoraan verrannollinen syntyvään virtaan. Vähentäviä vaikutuksia, kuten kaapeleiden lyijyvaippaa ja -varmistusta, ei ole otettu huomioon, minkä vuoksi kenttien voimakkuus voi olla hieman korkeampi kuin todelliset arvot. Sisäisen kaapeliverkon kaapelin yläpuolella suoraan kaapelin yläpuolella olevan magneettikentän suurimmaksi ylärajaksi on laskettu enintään noin 15,0 μT :n voimakkuus. Magneettikentän voimakkuus pienenee etäisyyden kasvaessa, ja kahden metrin etäisyydellä voimakkuus on pienentynyt noin 3 μT :iin ja neljän metrin etäisyydellä voimakkuus on noin yksi (1) μT . Magneettikentät voivat olla erilaisia, jos useita kaapeleita on sijoitettu lähelle toisiaan, kuten muuntamoilla, joissa sisäinen kaapeliverkko kootaan yhteen, jotta se voidaan kuljettaa edelleen maalle vientikaapeleiden kautta. Tutkimuksessa käytetään arvioinnin perustana yksittäisten kaapeleiden voimakkuutta (tekniinen kuvaus, liite 2a).

Sähkökentät on jätetty jatkotutkimusten ulkopuolelle, koska ei ole olemassa asianmukaista tutkimukseen perustuvaa näyttöä pohjaeläimistä, ja kalalajeja, joilla on eräänlainen sähköreseptori (Lorentzian ampullae), kuten haita ja rauskuja, ei esiinny alueella, joten ne eivät vaikuta niihin. Sähkömagneettisilla kentillä voi olla vaikutusta pohjaeläimiin ja kaloihin, ja niitä käsitellään tarkemmin luvussa 5.

4.3 Käytöstäpoisto

Käytöstäpoiston menetelmistä ja laajuudesta päätetään valvontaviranomaista kuullen sinä päivänä, jona toiminnan käytöstäpoisto tulee ajankohtaiseksi. Menetelmät, menettelyt, lainsäädäntö ja tietämys kehittyvät, ja nykyiset olosuhteet voivat muuttua, kun tuulipuisto poistetaan käytöstä 40-45 vuoden kuluttua. Ennen käytöstäpoistotoimenpiteiden toteuttamista Statkraft tekee ympäristöarvioinnin minimoidakseen vaikutukset ympäröivään ympäristöön.

Tässä tutkimuksessa arvioitu käytöstäpoisto perustuu siihen, että käytöstäpoistomenetelmien ympäristövaikutukset ovat pahimmassa tapauksessa samat kuin rakentamisen ympäristövaikutukset, vaikka odotettavissa olevat ympäristövaikutukset ovat todennäköisesti pienemmät. Käytöstäpoiston laajuus riippuu muun muassa ennen käytöstäpoistoa tehtyjen tutkimusten tuloksista. Tutkimuksessa käsitellään käytöstäpoiston laajuutta, ja siinä on kaksi vaihtoehtoa, jotka edustavat pahinta skenaariota: osittainen käytöstäpoisto (vain osa tuulivoimaloista) tai täydellinen käytöstäpoisto (tuulivoimalat ja niihin liittyvä infrastruktuuri).

Elinympäristön muutos ja riuttojen vaikutus

Osittaisessa purkamisessa, jossa pystysuuntaiset rakenteet puretaan, mutta pohjan perustukset ja eroosiosuojaukset jätetään paikoilleen, perustusten ympärillä oleva pohjaeläimistö pysyy muuttuneena verrattuna siihen, mitä se oli ennen tuulipuiston perustamista. Jos osia tuulivoimaloiden torneista jätetään, toimintavaiheessa syntynyt riuttavaikutus voi osittain säilyä jäljelle jäävissä osissa.

Jos tuulivoimalat ja niihin liittyvä infrastruktuuri puretaan ja siirretään kokonaan, alue palautuu alkuperäiseen tilaansa, jolloin merenpohjaan voi kohdistua jonkin verran vaikutuksia käytöstä poistamisen jälkeen. Sigman tuulipuiston toiminnan aikana mahdollisesti esiintyvä riuttavaikutus lakkaa kokonaan.



Kiintoainepitoisuus ja sedimentaatio

Sameus, sedimentin leviäminen ja sedimentin laskeutuminen

Kun kaapelit ja perustukset puretaan kokonaan, suspendoituminen ja suspendoituneen materiaalin määrä on suuri ja mahdollisesti samankaltainen kuin rakennusvaiheessa. Jos vain tuulivoimalat puretaan, suspendoituneen aineksen leviäminen ja sedimentaatio on vähäisempää. Seuraavissa luvuissa esitetyissä vaikutusten arvioinneissa oletetaan pahin mahdollinen skenaario, mikä tarkoittaa, että leviäminen ja pitoisuudet ovat samanlaisia kuin rakentamisvaiheessa mallinnetut, vaikkakin todennäköisesti pienempiä.

Ympäristömyrkyt

Käytöstäpoistovaiheen aikana työn ei odoteta aiheuttavan ympäristölle vaarallisten aineiden päästöjä. Koska Sigman tuulivoimapuiston käytöstäpoiston odotetaan pahimmassa tapauksessa aiheuttavan samanlaisia vaikutuksia kuin rakennusvaiheessa (kohta 4.1), myös käytöstäpoistovaiheen aikana on arvioitu, että on pieni riski, että ympäristömyrkyt leviäminen sedimenteistä aiheuttaisi merkittäviä vaikutuksia ympäröivään ekosysteemiin.

Vedenalainen melu

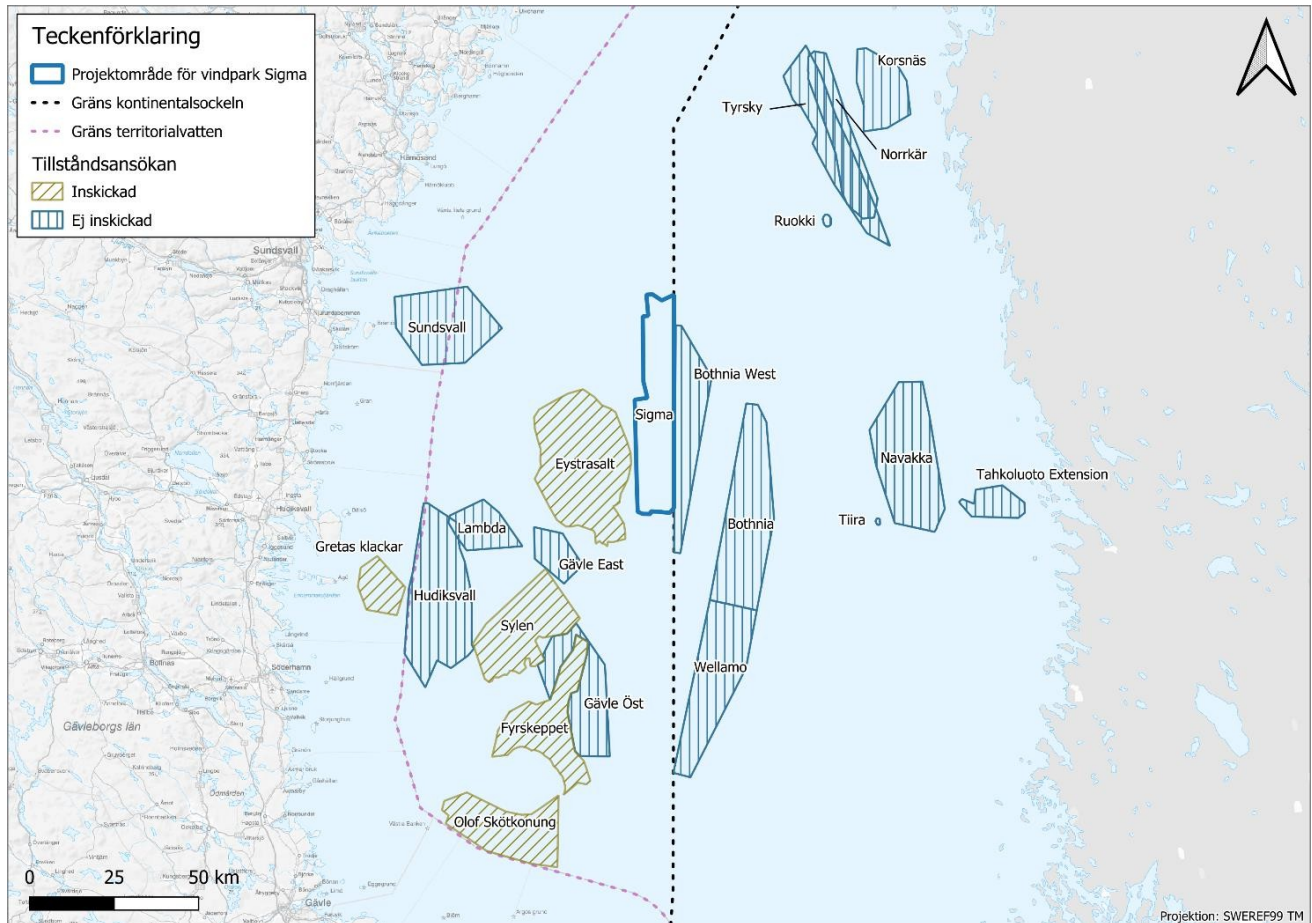
Käytöstäpoistovaiheen aikainen vedenalainen melu aiheutuu muun muassa itse purkamisesta, mutta myös lisääntyneestä laivaliikenteestä alueella. Purkamisessa käytettävää menetelmää ja sen aiheuttamia melutasoja ei voida arvioida tällä hetkellä, mutta pahimmassa tapauksessa voidaan olettaa, että melutasot vastaavat laitoksen melutasoja, vaikka oletetaan, että vedenalainen melu on sekä laajuudeltaan että tasoltaan vähäisempää käytöstäpoiston aikana. Melutasot ja asianmukaiset suojaustoimenpiteet olisi sen vuoksi esitettävä käytöstäpoistomenetelmien kehittämisen yhteydessä.

Sähkömagneettiset kentät

Toiminta ei tuota sähköä käytöstäpoiston aikana, joten sähkönsiirtoa ei tapahdu. Siksi sähkömagneettisia kenttiä ei ole merkityksellistä arvioida käytöstäpoistovaiheen aikana.

4.4 Sigman tuulipuiston lähialueilla harjoitettava toiminta

Sigman tuulipuiston läheisyydessä ei ole tällä hetkellä vakiintuneita merituulipuistoja. Perämerellä on useita suunniteltuja merituulipuistoja lupaprosessin eri vaiheissa, ks. kuva 4.2. Kaikki Suomen talousvyöhykkeellä tehdyt hakemukset on toistaiseksi keskeytetty, koska Suomen hallitus miettii ja tarkistaa merituulivoimaa koskevaa lainsäädäntöä.



Kuva 4.2. Sigman tuulipuiston hankealue ja suunnitellut toimet lupaprosessin eri vaiheissa. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan tarkemmin vain lähimpänä sijaitsevia tuulivoimapuistoja (kelta-vihreällä värillä). Sinisellä merkityt tuulipuistot on joko keskeytetty tai ne ovat prosessin aikaisemmassa vaiheessa, eikä niitä käsitellä tarkemmin, mutta ne on esitetty tässä yleiskatsauksena suunnitelluista toimista. Poikkeuksena on Lambdan tuulivoimapuisto, joka sisältyy kumulatiiviseen arviointiin, koska sitä koskeva hakemus käsitellään samanaikaisesti Sigman kanssa.

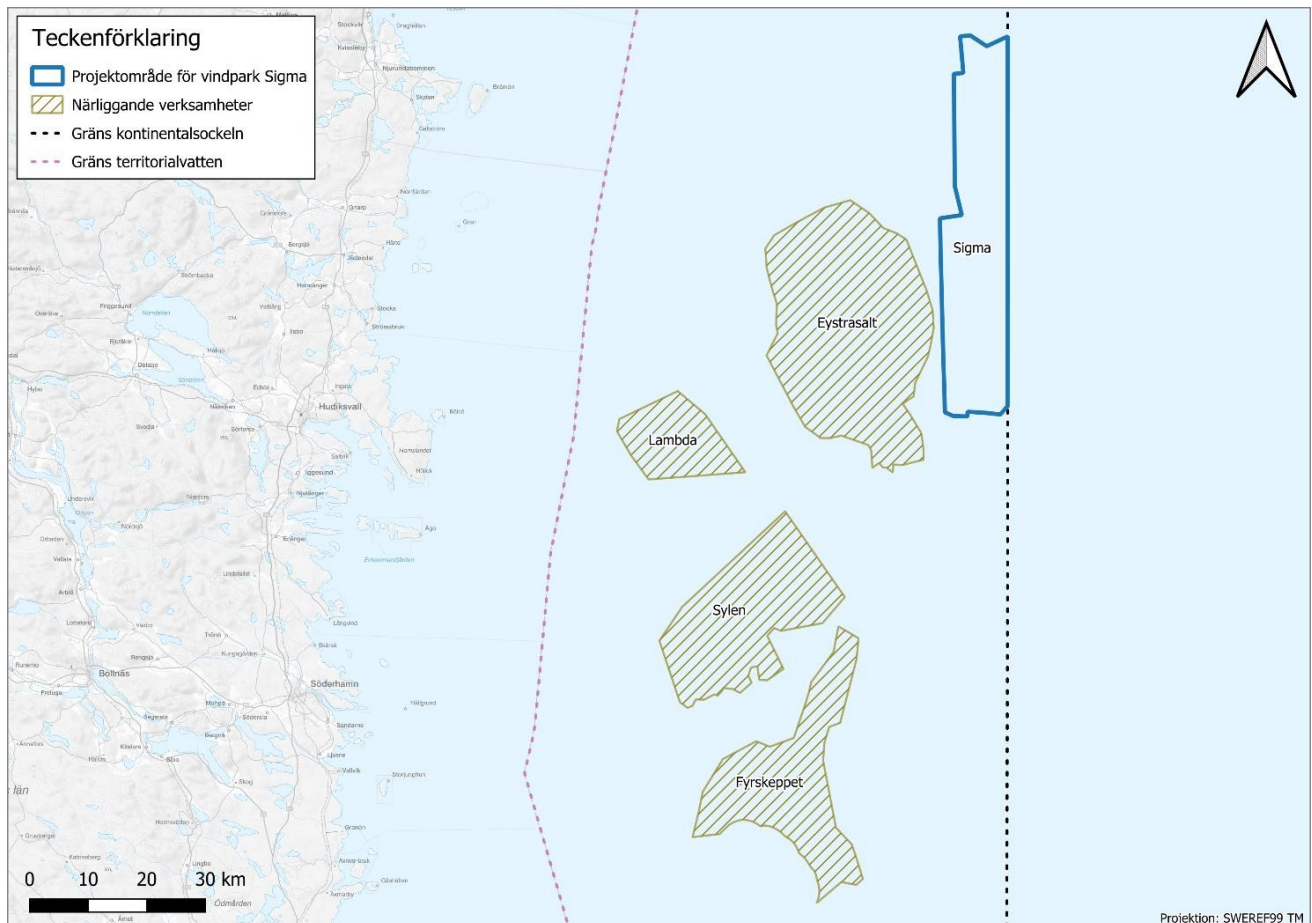
Kuvan 4.2 yleiskatsauskartta osoittaa, että suunnitteluvaiheessa on paljon toimintoja alueella, jolla voi olla useita nykyisiä ja uusia intressejä ja toimintoja rinnakkain. Toiminnot ja intressit, kuten meriliikenteen reitit, Ruotsin puolustusvoimien intressit, muut kansalliset intressit, kuten kaupallinen kalastus ja luonnonsuojelu, on yhdistettävä uusiutuvan energian tuotantoon kestäväällä ja tasapainoisella tavalla. Osana tätä on arvioitava nykyisin suunniteltujen ja olemassa olevien toimintojen kumulatiivisia vaikutuksia suhteessa Sigman tuulipuiston toimintaan ja vaikutuksiin. Tässä kumulatiivisessa arvioinnissa otetaan huomioon sellaisiin tuulipuistoihin liittyvät toiminnot, joilla on lupa tai jotka ovat jättäneet täydellisen lupahakemuksen, sekä itse suunnitellut toiminnot, ks. taulukko 4.9. Taulukossa esitetään myös hankealueiden pinta-ala, suunniteltu vuosituotanto, tuulivoimaloiden lukumäärä sekä rakentamisen ja toiminnan suunniteltu aloitusvuosi, ja tiedot on otettu kunkin hankkeen YVA-selostuksesta tai hankkeen verkkosivuilta. Suunniteltujen toimintojen ajankohtia on pidettävä alustavina.



Taulukko 4.9. Sigman tuulivoimapuiston läheisyydessä suunnitellut toiminnot, joihin on merkitty rakentamisen ja toiminnan suunniteltu aloitus, hankealueen koko (neliökilometreinä), tuulivoimaloiden enimmäismäärä ja arvioitu vuosituotanto (TWh) sekä etäisyys Sigman tuulivoimapuistosta (kilometreinä). Toiminnot, jotka ovat jättäneet lupahakemuksen, luetaan hakemuksen jättämisvuoden kanssa. Toiminnot, jotka eivät ole vielä jättäneet lupahakemusta, on merkitty viivalla.

Suunnitellut toimet	Jätetty hakemus (vuosi)	Rakentamisen suunniteltu aloitus (vuotta)	Suunniteltu toiminnan aloitus (vuotta)	Hankealueen pinta-ala (km ²)	Tuulivoimaloiden enimmäismäärä	Vuotuinen tuotanto (TWh)	Etäisyys Sigmasta (kilometreinä)
Sigman tuulipuisto	-	2032	2034/2035	640	143	13,6	-
Eystrasalt Offshore	2023	2030	2035	949	256	15	1,5
Sylenin tuulipuisto	2024	2030	2033	524	347	29	32
Lightship Offshore	2023	2027	2029	488	187	8-11	41
Lambdan tuulipuisto	-	2032	2034	200	74	6	35

Taulukossa 4.9 luetellut toiminnot on esitetty visuaalisesti kuvassa 4.3, jotta kunkin toiminnon sijainnista suhteessa Sigman tuulipuistoon saadaan yleiskuva. Ainoastaan Fyrskeppet Offshore -hankkeella ei ole suunniteltua päällekkäistä rakentamisaikaa Sigman tuulipuiston kanssa. Nykyisen suunnitelman mukaan Sylenin tuulipuiston rakentamisvaihe on päällekkäinen vuoden, Eystrasalt Offshore -puiston rakentamisvaihe on päällekkäinen kolme vuotta ja Lambdan tuulipuiston rakentamisvaihe on päällekkäinen kaksi vuotta. Toimintavaihe on päällekkäinen kaikkien suunniteltujen tuulipuistojen osalta.



Kuva 4.3. Kartta Sigman tuulipuistosta ja lähialueiden toiminnoista, jotka sisältyvät kumulatiiviseen arviointiin: Fyrskeppetin meritulipuisto, Sylenin tuulipuisto, Lambdan tuulipuisto ja Eystrasaltin meritulipuisto.

5. Edellytykset ja seuraukset

Tässä luvussa esitetään hankealueella suoritettujen ympäristömyrkyä koskevan tutkimuksen tulokset ja arviot. Menetelmä, tulokset ja analyysiraportit ovat kokonaisuudessaan liitteessä 1. Tämän jälkeen on kaloja, pohjaeläimistöä, pohjaeläinten kasvillisuutta ja merinisäkkäitä koskevat luvut. Kukin jakso alkaa taustakuvauksella kyseisestä eliöryhmästä, sen esiintymisestä Sigman tuulipuiston hankealueella ja vaikutusten arvioinnilla vaikutustekijöistä, jotka ovat merkityksellisiä eri vaiheissa, rakentamisvaiheessa, käyttövaiheessa ja käytöstäpoistovaiheessa. Taulukossa 5.1 esitetään eri organismiryhmien kannalta merkitykselliset vaikutustekijät eri vaiheissa. Kutakin eliöryhmää koskeva kumulatiivinen arviointi esitetään kunkin jakson lopussa.

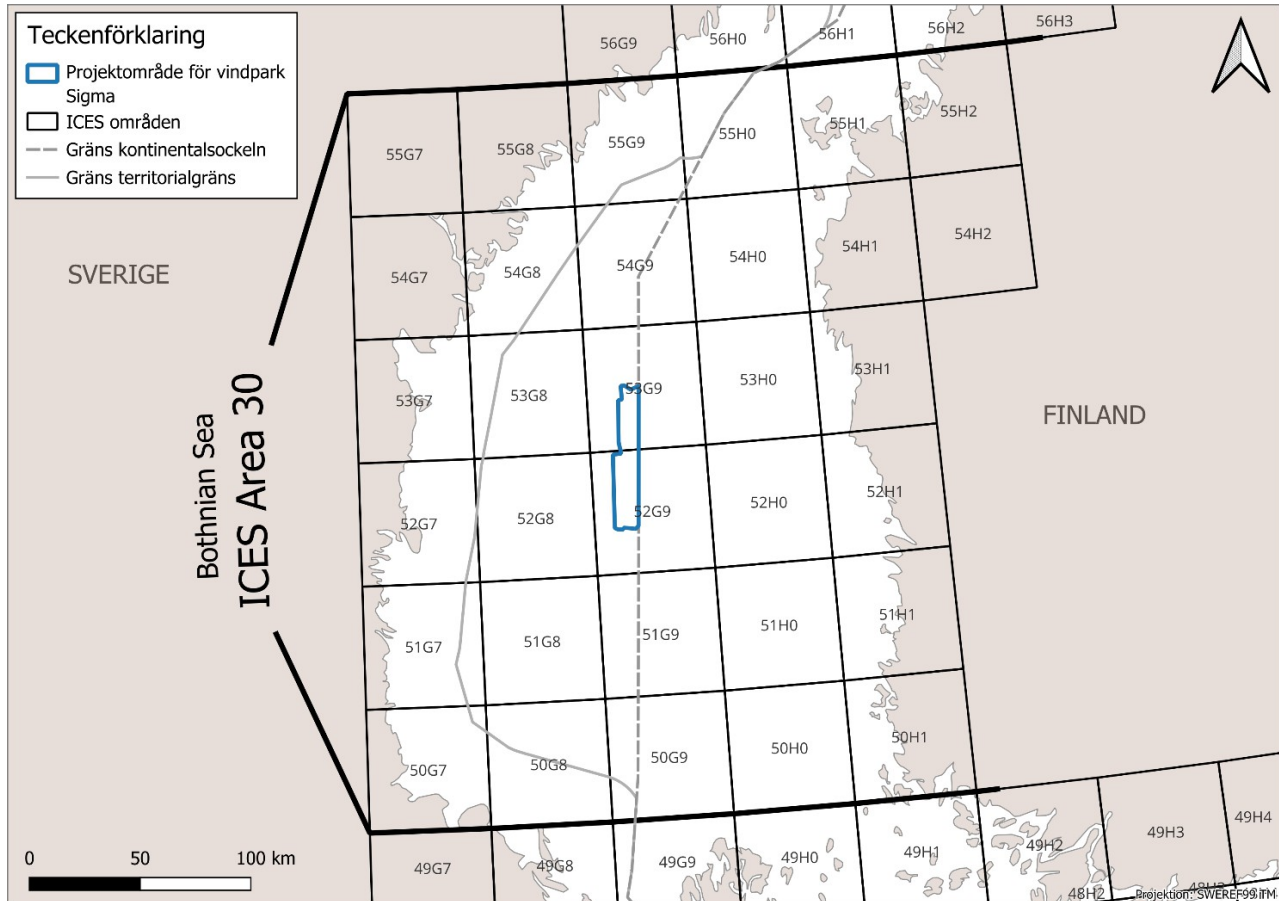
Taulukko 5.1 Taulukko, jossa esitetään vaihe, jossa eri vaikutustekijöiden arvioidaan vaikuttavan eri eliöryhmiin. Risti (X) osoittaa, mitkä tekijät ja missä vaiheessa arvioinnit on tehty kunkin eliöryhmän osalta.

tyyppi	Vaikuttavat tekijät	Kala	Pohjaeläimistö	Pohjakasvillisuus	Merinisäkkäät
TILAT	Elinympäristön muutos ja riuttojen vaikutus	X	X	X	X
	Kiintoaineet ja sedimentaatio, mukaan lukien ympäristömyrkyt	X	X	X	X
	Vedenalainen melu	X	X		X
	Sähkömagneettiset kentät				
DRIFT	Elinympäristön muutos ja riuttojen vaikutus	X	X	X	X
	Kiintoaineet ja sedimentaatio, mukaan lukien ympäristömyrkyt				
	Vedenalainen melu	X	X		X
	Sähkömagneettiset kentät	X	X		
KEHITYS	Elinympäristön muutos ja riuttojen vaikutus	X	X	X	X
	Kiintoaineet ja sedimentaatio, mukaan lukien ympäristömyrkyt	X	X	X	X
	Vedenalainen melu	X	X		X
	Sähkömagneettiset kentät				

5.1 Kala

Sigman tuulipuiston hankealueelta on noin 80 kilometriä Ruotsin rannikolle ja noin 100 kilometriä Suomen rannikolle. Sigman tuulivoimapuiston alueella syvyys vaihtelee 24-85 metrin välillä, ja keskisyvyys on 55 metriä. Itämeri on murtovesipitoinen sisämeri, jonka suolapitoisuus on yleensä alhainen, ja suolapitoisuus laskee Pohjanlahdella jokien makean veden tulon vuoksi. Suolapitoisuus luonnehtii meriekosysteemiä. Tyypillisesti merilajit vähenevät suolapitoisuuden laskiessa, ja monien merilajien pohjoisin levinneisyysraja (Itämeren osalta) on Perämerellä (Havet.nu 2024). Alhainen suolapitoisuus tarkoittaa, että kalafauna koostuu makean ja suolaisen veden lajien sekoituksesta (Isæus ym. 2022). Perämerellä on yhteensä noin 40 kalalajia (SLU Artdatabanken 2024), joista makean veden lajit muodostavat enemmistön, ja ne elävät pääasiassa rannikollisemilla ja matalammilla alueilla. Tyypilliset suolaisen veden lajit ovat yleensä vallitsevia syvemmillä merialueilla (Havet.nu 2024). Sigman tuulivoimapuiston kalojen elinympäristö luokitellaan offshore-ympäristöksi, joka on pääasiassa yli 30 metriä syvää ja jonka suolapitoisuus on 5-6 promillea.





Kuva 5.1. Sigman tuulipuiston hankealue (sininen monikulmio) suhteessa ICES-alueisiin ja Ruotsin talousvyöhykkeenajaan.

Saatavilla olevat tiedot ja todisteet kalaeläimistöstä

Kansainvälinen merentutkimusneuvosto (ICES) käyttää kaupallisten kalansaaliiden raportoinnissa merialueiden jakamista tilastoruuuihin. Sigman tuulivoimapuiston hankealue sijaitsee keskeisesti kahdessa ICES-alueessa 53G9 ja 52G9 (kuva 5.1). Sigman tuulivoimapuiston vaikutusalueen kalakannan kuvaamiseksi ei ole tehty aiempia tutkimuksia. Rannikon näytekälastustietokannassa (KUL, SLU 2024) ei ole yhtään näytekalaä Perämeren edustan merialueelta (lukuun ottamatta Ruotsin ympäristökeskuksen rannikkopankkiluetteloä 2010), vaan siinä kuvataan pikemminkin matalammissa rannikkovesissä esiintyvää kalafaunaa. Ruotsin ympäristöviraston meripankkien kartoituksiin sisältyy koekälastuksia suhteellisen lähellä sijaitsevilla Länsi- ja Itä-Finngründenillä (Ruotsin ympäristövirasto 2010), ks. kuva 5.12. Finngründenin lajiluettelo antaa jonkin verran tukea arvioitaessa, mitä lajeja Sigman tuulipuiston hankealueella voidaan odottaa esiintyvän. Meripenkereet ovat kuitenkin matalampia ja tarjoavat monimutkaisemman ympäristön ja ovat siten lajirikkaampia kuin muut merialueet. Lähde, jonka uskotaan parhaiten kuvaavan Perämeren keskiosien kalafaunaa, on läheisellä Eystrasalt Bankilla vuonna 2020 ICES-alueella 52G8 tehty tutkimus (Skyborn renewables 2023). Tutkimukseen sisältyy sekä verkkonäytteenotto että eDNA-näytteenotto, ja koska Eystrasalt Bank on lähellä ja sillä on samanlaiset olosuhteet syvyyden ja pohjatyypin osalta, tulosten katsotaan edustavan nykyistä Sigman tuulipuiston hankealuetta. Eystrasaltin tutkimus tehtiin syvyydellä 0-65 metriä. Lisäksi on käytetty Suomen ja Ruotsin kaupallisen kalastuksen kalastuspäiväkirjatietoja (saalisraportteja) vuosilta 2010-2022 sen selvittämiseksi, mitä kalalajeja alueella on pyydetty (HaV 2024a; Luke 2024a).

Sen määrittämiseksi, esiintyykö hankealueella tai sen läheisyydessä kalojen kutua, on olemassa useita eri tietolähteitä, vaikka todisteet keskittyvätkin lähinnä kaupallisesti tärkeisiin lajeihin. Kaupallisesti tärkeä silakka on luultavasti laji, josta on eniten tieteellistä tietoa.



vaikka se ei olekaan täydellinen. Ruotsin silloisen kalastushallituksen vuonna 2003 tekemässä laajassa haastattelututkimuksessa kartoitettiin kaupallisten kalalajien kutualueet ja muut kutuolosuhteet koko Ruotsin itärannikolla (Gunnartz ym. 2011). HELCOM on myös teettänyt mallinnuksen Itämeren silakan todennäköisistä tai potentiaalisista kutualueista (HELCOM 2024). Ruotsin meri- ja vesihallintovirasto (SwAM) on myös kehittänyt työkalun (kutuaiportaali), jonka avulla voidaan havainnollistaa kalojen kutuaikoja eri merialueilla ja sitä, milloin vuoden aikana eri lajit ovat herkimpiä häiriöille (SwAM 2024b).

Yhteenvedon voidaan todeta, että käytettävissä olevien lähteiden ja muiden analyysien, esimerkiksi syvyyssolosuhteiden ja pohjasubstraatin, katsotaan olevan riittäviä, jotta saadaan hyvä käsitys hankealueella esiintyvistä kalalajeista.

Sigman tuulipuiston kalalajisto

Taulukossa 5.2 on lueteltu lajeja, joita on havaittu Perämeren avomerialueella Eyrasalt-pankin tutkimusten (Skyborn renewables 2023), Finngrundenin avomeripankkiinventoinnin (Ruotsin ympäristövirasto 2010) ja kaupallisen kalastuksen saalisraporttien (HaV 2024a) perusteella. Taulukossa on yleisen kirjallisuuden, kuten SLU:n lajitietokeskuksen Artfakta-julkaisun, ja kalabiologian tuntemuksen avulla arvioitu, mitkä lajit ovat tyypillisiä Perämeren sille osalle, jolle Sigman tuulipuistoa suunnitellaan, ja mitkä lajit esiintyvät vain satunnaisesti. Satunnaisesti esiintyviä lajeja ei pidetä merkityksellisinä vaikutusten arvioinnin kannalta. Kaikki taulukossa 5.2 luetellut lajit arvioidaan Ruotsin punaisen listan (SLU Artdatabanken 2020) mukaan elinvoimaisiksi (LC, least concern) lukuun ottamatta turskaa, jonka Itämeren kantaa pidetään haavoittuvana (VU).

Yleisarvion mukaan siika, silakka, kilohaili, isokampela, kampela, pitkäselkäinen piikkikampela, merilevä, rannikon tuulenkala, tobiskung, punakalmar ja sarvikalmarit ovat oletettavasti yleisiä Sigman tuulipuiston hankealueella. Lohella on lisääntymis- ja ruokailualue pääasiassa Itämerellä, mutta se vaeltaa lisääntymisalueille ja niiltä pois Perämeren kautta. Tämä vaellus tapahtuu kuitenkin pääasiassa rannikoita pitkin, minkä vuoksi sitä ei pidetä kaikkialla esiintyvänä tai tyypillisenä Perämeren keskiosassa sijaitsevalle alueelle. Taimenet käyttävät Selkämeren poikasalueena, mutta ne eroavat lohista siinä, että ne eivät vaella merellä yhtä laajasti, vaan pysyttelevät lähempänä rannikkoa ja rajoitetummalla etäisyydellä synnyinjoestaan. Silakka ja kilohaili pysyttelevät yleensä talven ajan rannikon syvissä vesissä, mutta vaeltavat kesällä matalampiin vesiin kutemaan. Molemmat lajit ovat yleisiä hankealueella.

Turskan esiintymistä Perämerellä voidaan pitää satunnaisena. Sitä esiintyy Ahvenanmerelle asti, jossa tutkijat ovat havainneet suhteellisen vahvan turskapopulaation, mutta on jokseenkin epäselvää, voiko turska siellä kutaantua, sillä laji vaatii yleensä korkeampaa suolapitoisuutta lisääntymisen onnistumiseksi (Heimbrand ym. 2023). Eyrasaltissa turskaa on havaittu hyvin harvoin eDNA-näytteissä (Skyborn renewables 2023), eikä sitä ole havaittu koekalastuksissa. Turskaa ei tarkastella tarkemmin tässä arvioinnissa, koska se saattaa esiintyä vain satunnaisesti eikä varmasti voi kutua hankealueella. Kriittisesti uhanalaisen ankeriaskannan (SLU Artfakta 2024) katsotaan esiintyvän säännöllisesti Norra Kvarkeniin asti (Helcom 2024). Laji esiintyy ICES-alueiden 51G7, 52G7 ja 53G8 saalisraporteissa (kuva 5.1) eli Norrlannin etelärannikolla. Perämeren keskiosista ei ole dokumentoituja ankeriashavaintoja, mikä ei sinänsä sulje pois satunnaista esiintymistä, mutta lajin sisällyttämistä vaikutusten arviointiin ei pidetä perusteltuna. Ahven, lahna, hauki, särki ja särki ovat tyypillisiä makean veden lajeja, joiden ei katsota olevan merkityksellisiä Sigman tuulipuiston vaikutusten arvioinnin kannalta. Tämä johtuu siitä, että kyseisiä lajeja on pyydetty hyvin vähän, ja niiden biologian ja ekologian kannalta meri ei ole lajin varsinainen elinympäristö. Sigman tuulivoimapuiston alueella esiintyy todennäköisesti myös isokoskelo, mutta sen elintavoista tiedetään vain vähän. Mustakaloja on pyydetty Finngrundenin koekalastuksissa, ja niitä esiintyy todennäköisesti satunnaisesti myös Sigman tuulivoimapuiston hankealueella, mutta laji elää yleensä lähempänä rannikkoa ja lisääntyy sivujoissa tai jokisuissa. Samoin Eyrasaltissa on saatu saaliiksi pikkuhopeasimppua, mutta se esiintyy yleensä matalammalla pohjalla kuin Sigman hankealueella. Eyrasaltin eDNA-tutkimuksissa on havaittu jokiheimisimpukoita, mutta ne ovat todennäköisesti muiden lajien loisia eläviä yksilöitä. Se, että ne hakeutuisivat vapaaehtoisesti näin kaukana rannikosta sijaitseviin avomerialinympäristöihin, vaikuttaa kohtuuttomalta sen perusteella, mitä lajin biologiasta tiedetään.



Taulukko 5.2. Luettelo siitä, missä kutakin lajia on havaittu, ja arvio siitä, minkä lajien voidaan olettaa olevan yleisiä Sigman tuulipuiston hankealueella ja voiko niiden olettaa kutevan alueella. Luettelon perustana ovat Eyrasalt Bankin (Skyborn renewables 2023) ja Finngrundenin (Ruotsin ympäristövirasto 2010) tutkimuksissa ja kaupallisen kalastuksen saalistiedoissa (ICES-ruutu 52G9 ja 53G9) todetut esiintymät. Ks. kuva 5.1 maantieteellisistä viitteistä. Lajin uhanalaisuus nykyisen punaisen listan (SLU Artdatabanken 2020) mukaan on esitetty suluissa. (LC) = elinvoimainen, (VU) = haavoittuva.

Tyyppi	Eyrasalt	Finngrundnen	ICES-alueet 52G9 ja 53G9	Arvioitu yleisesti Sigmassa	Arvioitu kutemaan Sigmaan
Ahven (LC)			x	Ei ole.	Ei ole.
Ahven (LC)			x	Ei ole.	Ei ole.
Hauki (LC)			x	Ei ole.	Ei ole.
Hauki ahven (LC)	x			Ei ole.	Ei ole.
Miekkakala (LC)	x	x		Kyllä	Ei ole.
Lohi (LC)	x		x	Ei ole.	Ei ole.
Pieni simpukka (LC)	x			Ei ole.	Ei ole.
Särki (LC)	x			Ei ole.	Ei ole.
Leijonan silmä (LC)	x			Ei ole.	Ei ole.
Nors (LC)		x		Ei ole.	Ei ole.
Punasimppu (LC)	x	x		Kyllä	Kyllä, mahdollisesti
Iso hevosenkenkälepakko (LC)	x			Kyllä	Kyllä, luultavasti
Siika (LC/uhanalainen)	x	x	x	Kyllä	Ei ole.
Skarpsill (LC)	x		x	Kyllä	Kyllä, luultavasti
Kampela (LC)	x	x		Kyllä	Kyllä, mahdollisesti
Lacy-lapsenlapset (LC)	x			Kyllä	Kyllä, luultavasti
Spiggar (LC)	x		x	Kyllä	Ei ole.
Silakka (LC)	x	x	x	Kyllä	Kyllä, luultavasti
Tobis-kalat (rannikon tuulenkala ja Tobis-kuningas) (LC) (LC)	x			Kyllä	Kyllä, luultavasti
Turska (VU)	x	x	x	Ei ole.	Ei ole.
Merileväsuolaliuos (LC)	x	x		Kyllä	Kyllä, luultavasti
Taimen (LC)	x		x	Ei ole.	Ei ole.

Kalojen kutu Sigman tuulipuiston hankealueella

Kalojen kutu- ja poikasalueista avomerellä on vain vähän tietoa. Yleisesti voidaan sanoa, että matalat ja erityisesti rannikkoalueet ovat tärkeitä lisääntymisalueita useimmille Perämerellä esiintyville lajeille. Taulukossa 5.2 esitetään arvio Sigman tuulivoimapuiston hankealueella kutevien lajien esiintymistodennäköisyydestä. Lajit, joilla on suuri todennäköisyys kutua hankealueella tai sen välittömässä läheisyydessä, ovat kilohaili, kilohaili, silakka, rannikkoturska, tuulenkala ja meriharjuksen kutu. Kaikki nämä lajit ovat merestä peräisin, eli niillä on biologiset edellytykset ja niiden oletetaan löytävän alueelta sopivia pohjasubstraatteja kutemaan. Myös punasimpun ja kampelan katsotaan pystyvän kutemaan alueella, vaikka tämä ei olekaan yhtä varmaa ("Kyllä, mahdollisesti" taulukossa 5.2), sillä ne suosivat yleensä merellisempiä olosuhteita, joissa suolapitoisuus on korkeampi. Esimerkiksi kampela vaatii lisääntymiseensä vähintään kuuden tuhannesosan suolapitoisuuden, aivan kuten turskakin vähintään yhdentoista tuhannesosan suolapitoisuuden (SLU Artfakta 2024).

Lajit, joita alueella voi esiintyä, mutta joiden ei katsota voivan kutua alueella, ovat ahven, lahna, hauki, särkikalat, ahven, särki, lahna, salakka, salakka, lohi, siika, isokokoinen siika ja taimen. Periaatteessa kaikki nämä lajit kutevat rannikon läheisyydessä, yleensä sivujoissa tai makeissa rannikkovesissä. Ne kutevat myös suhteellisen matalalla eli muutaman metrin syvyydessä. On olemassa siikaa, joka kutee meressä, esimerkiksi Gävleborgissa, mutta se kutee myös rannikon ja rannikon läheisyydessä hiekka-, kivi- ja sorapohjilla ja jopa kuuden metrin syvyydessä (Gunnartz ym. 2011). Särkikalajien odotetaan myös suosivan matalampia kutualueita (SLU Artfakta 2024) kuin Sigman hankealueella.



Ruotsin meri- ja vesihallintoviraston kutuaikaportaalista tehty haku Perämeren avomerialuetta vastaavilla kriteereillä eli Sigman tuulipuiston kannalta merkityksellisillä hakukriteereillä tuottaa luettelon seitsemästä lajista, taulukko 5.3 (Sea 2024b). Haku ei löydä punasimppua tai rannikkosimppua, mutta se sisältää särkikaloja, jotka voivat mahdollisesti kutia Perämeren avomerialueella. Härkäsimppua esiintyy Norra Kvarkeniin asti (SLU Artfakta 2024), mutta se on harvinainen eikä sitä ole löydetty koekalastuksissa tai tutkimuksissa. Punasimppun ja rannikkotonnikalan oletetaan yleensä kutevan lähempänä rannikkoa ja matalammilla pohjilla, minkä vuoksi ne eivät näy kutuaikaportaalisissa, mutta tämä ei sulje pois kutumisen mahdollisuutta. Rengasahven, rantakilpi ja tuulenkala todennäköisesti kutevat alueella, vaikka ne eivät olekaan kovin yleisiä lajeja. Portaaliin kirjataan myös kalalajien kutuajat, mikä osoittaa, milloin ne ovat vuoden aikana herkempiä häiriöille (taulukko 5.3). Portaali tarjoaa myös yleisen herkkyysindeksin, joka osoittaa erityisen herkeit kuukaudet, jolloin monet kalalajit kutevat. Vuoden aikana ei ole selvästi muita herkempiä kuukausia, koska eri lajien kutu tapahtuu eri vuodenaikoina (taulukko 5.3).

Taulukko 5.3: Ote Ruotsin meri- ja vesihallintoviraston kutuaikaportaalista, josta käy ilmi, minkä kalalajien odotetaan kutevan Perämerellä 20-100 metrin syvyydessä ja milloin ne kutevat. Kutuaikaportaalista löytyy myös yleinen herkkyysindeksi, jossa korkeammat indeksiarvot ja punainen väri osoittavat herkempiä kuukausia ja matalammat indeksiarvot ja vihreä väri vähemmän herkkiä kuukausia (Hav 2024b).

Känsliga perioder - Tabell & Diagram

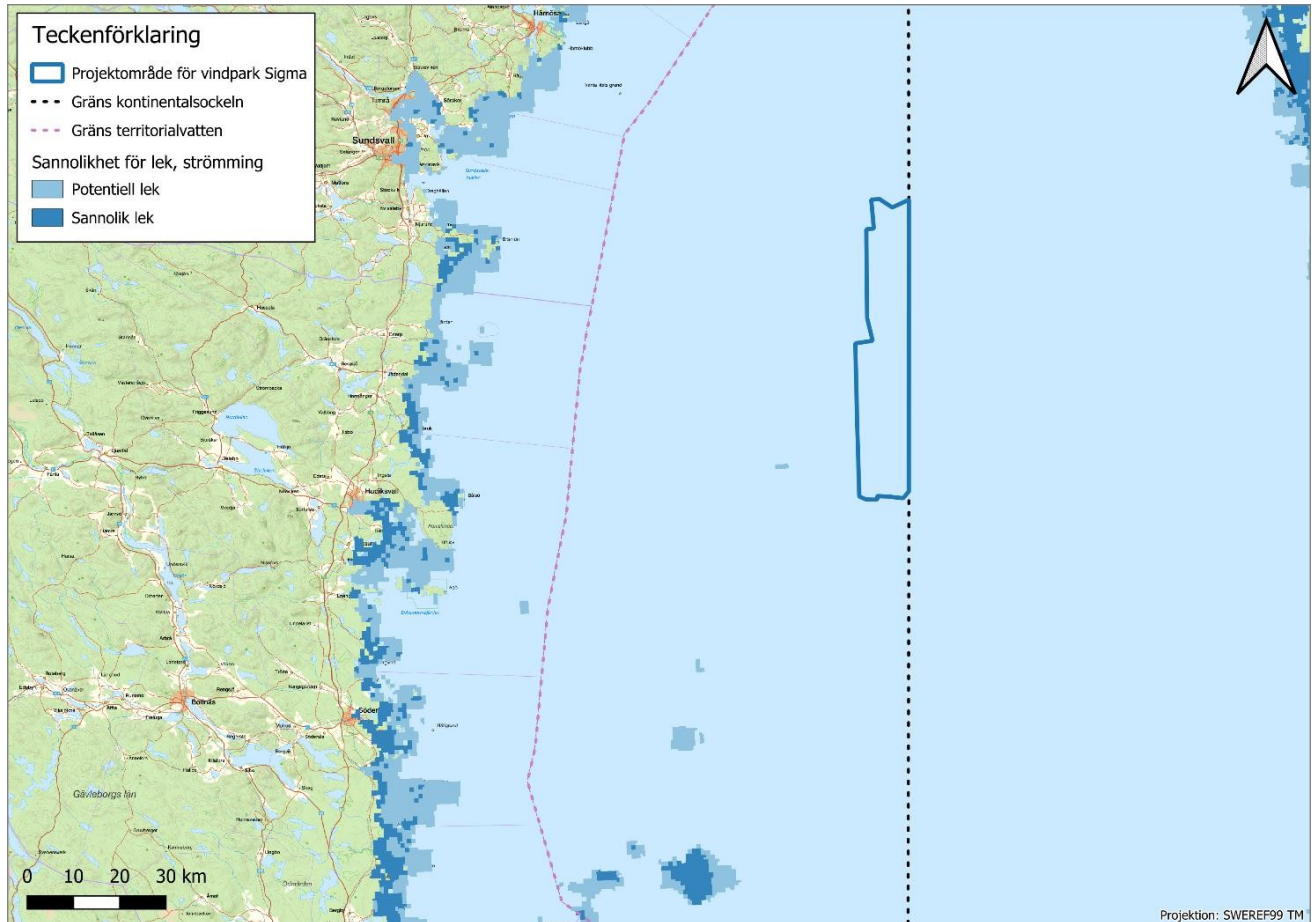
Län: Gävleborgs län Vattentyp: Utsjö Delvattentyp: Bottenhavet Höjd: 0 - 200 Lekdjup från: 20 Lekdjup till: 100 Lekhabitat beskrivning: (alla kolumnvärden)

Art	Lekperiod	Lektemperatur °C	Lekdjup meter	Kommentarer	Illustrerad grafisk period	Jan 2 °C	Feb 1 °C	Mar 1 °C	Apr 2 °C	Maj 4 °C	Jun 9 °C	Jul 15 °C	Aug 16 °C	Sep 15 °C	Okt 8 °C	Nov 6 °C	Dec 4 °C
Ringbuk	Nov - Mar	2 - 6	5-300														
Sill/Strömming (höst)	Sep - Feb	4 - 13	0-40	Mer info													
Sjyrygg	Feb - Maj	3 - 15	5-40	Mer info													
Skarpsill	Jan - Aug	5 - 13	0-40														
Spetslångebarn	Dec - Jan	0 - 3	10-100														
Tobiskung	Mar - Aug	3 - 19	20-100	Mer info													
Tånglake	Aug - Sep	9 - 15	2-20 m														
*KÄNSLIGHETSINDEX						6	5	4	3	5	3	4	5	3	2	4	5

Itämerellä on kaksi erillistä geneettistä populaatiota, keväällä ja syksyllä kuteva silakka (Wennerström ym. 2022; Wennerström ym. 2023). Selkämerellä keväällä kuteva silakka on hallitseva. Molemmat variantit pysyttelevät talven ajan syvillä avomerialueilla. Aikaisin keväällä kevätkutuihin variantti hakeutuu kutualueille, jotka koostuvat matalista saaristoalueista, joiden syvyys on 0-15 metriä (Polte ym. 2017). Kuvassa 5.2 on esitetty Itämeren silakan kutualueet Selkämerellä Helcomin mallinnettujen tietojen mukaan (Helcom 2024). Syksyllä kutevan silakan katsotaan kutevan ulkosaaristossa ja rannikon edustalla olevilla rannoilla yleensä 20 metrin syvyyteen, mutta mahdollisesti 40 metriin asti, minkä vuoksi se on mainittu kutuaikaportaalisissa. Sigman tuulipuiston nykyisellä hankealueella ei kuitenkaan ole tiedossa Itämeren silakan kutualueita. Läheisellä Eyrasaltin avomeripenkereellä on pieni alue, joka on tunnistettu Itämeren silakan potentiaalisesti kutualueeksi (Helcom 2024). Se sijaitsee noin 20 kilometriä Sigman tuulipuiston hankealueesta länteen (kuva 5.2). Kilohaili kutee yleensä etelämpänä Itämerellä (Helcom 2024), koska lajin mätimunat kehittyvät pelagisesti (vapaasti kelluen vesimassassa), jolloin vaaditaan vähintään 5-6 promillen suolapitoisuus (SLU Artfakta 2024). Selkämeren suolapitoisuus on todennäköisesti kampelan tavoin lajille maantieteellisesti rajoittava tekijä. Rannikkotonnikala esiintyy rantaviivasta 40 metrin syvyyteen asti, kun taas sen sukulainen tuulenkala elää kesäisin rannikon läheisyydessä hiekkapohjilla 60 metrin syvyyteen asti (SLU Artfakta 2024). Se, että tobiskungin katsotaan menevän hieman syvemmälle, lienee syynä siihen, että se poimitaan etsinnöissä avomeriolosuhteilla kutuaikaportaalisissa. Lisäksi molempien lajien oletetaan esiintyvän ja luultavasti kutevan Sigmassa, jossa kutuaika on samanaikainen, minkä vuoksi niitä käsitellään tässä yhtenä lajina.

Sigman tuulivoimapuiston hankealueen kalalajistoa pidetään suhteellisen vähäarvoisena, koska se on todennäköisesti lajiköyhä ja tyypillinen syville merivesille, joita Perämerellä on laajoja alueita. Hankealueella ei ole havaittu uhanalaisten kalalajien erityisiä kutualueita tai elinympäristöjä.





Kuva 5.2. Itämeren silakan todennäköiset (tummansininen) ja potentiaaliset kutualueet (vaaleansininen) HELCOMin kartta- ja tietopalvelun mukaan (Helcom 2024). Sigman tuulivoimapaiston hankealueella Itämeren silakan kutualueita ei esiinny.

5.1.1 Kasvi

Merituulipuiston rakentamisen ja käytön aikana kaloihin voi kohdistua vaikutuksia. Seuraavassa arvioidaan mahdollisia riskejä ja vaikutuksia, joita kaloille voi aiheutua elinympäristön muutoksista ja riuttojen vaikutuksista, materiaalin suspendoitumisesta ja sedimentoitumisesta, vedenalaisesta melusta ja sähkömagneettisista kentistä Sigman tuulipuiston suunnitellun toiminnan yhteydessä. Arviointi perustuu edellä kohdassa 5.1 esitettyyn yleiskuvaukseen hankealueen kalafaunasta ja biologiasta.

Elinympäristön muutos ja riuttojen vaikutus

Elinympäristömuutosten laajuus sekä pohjaolosuhteiden että uusien pystysuuntaisten rakenteiden osalta kasvaa asteittain tuulipuiston rakentamisen aikana ja saavuttaa maksiminsa, kun kaikki laitokset ovat paikoillaan. Riuttovaikutus syntyy tietyn ajan kuluttua, sillä se on seurausta siitä, että kasvit ja eläimet asuttavat uusia pintoja ja rakenteita. Arvioidaan, että elinympäristön muutoksen ja riuttavaikutuksen ympäristövaikutukset ovat rakentamisvaiheessa merkityksettömiä. Kalat saattavat käyttää aluetta koko rakennusvaiheen ajan, mutta ne todennäköisesti välttävät alueita, joilla on paljon toimintaa, ja aikoja, jolloin rakennustyön aikana on kova tai häiritsevä melu. Rakennusvaiheen aikana tapahtuvalla elinympäristön muutoksella **ei** arvioida olevan **mitään/niukkaa** vaikutusta, ja koska kalojen ympäristönäkökulman arvioidaan olevan **vähäinen**, vaikutukset ovat näin ollen **vähäisiä/niukkaa**. Arvioinnin varmuus on **suuri**.



Kiintoainepitoisuus ja sedimentaatio

Materiaalin suspendoitumisella eli sameudella ja sitä seuraavalla sedimentaatiolla voi olla suoria ja epäsuoria vaikutuksia kaloihin. Suoria vaikutuksia voivat olla kuolleisuus, erityisesti sedimenttihiukkasten aiheuttamat fyysiset vauriot kiduksissa ja munakalvoissa, psykologinen stressi ja käyttäytymismuutokset (Kjelland ym. 2015; Wenger ym. 2017). Epäsuorat vaikutukset voivat olla vähintään yhtä vakavia kuin suorat vaikutukset (Barbier ym. 2011). Esimerkkejä epäsuorista vaikutuksista voivat olla saaliin (erityisesti pohjaeläimistön) saatavuuden väheneminen ja elinympäristöjen häviäminen, jolloin esimerkiksi kasvillisuuden väheneminen voi merkitä saaliin suojamahdollisuuksien vähenemistä. Toinen esimerkki ovat muuttuneet kutupaikkojen olosuhteet (substraatit) (Kjelland ym. 2015; Wenger ym. 2017). Riski sameuden vakavista vaikutuksista kalayhteisöihin riippuu pääasiassa altistumisen voimakkuudesta ja kestosta (Newcombe & MacDonald 1991; Karlsson ym. 2020), mutta myös lajin stressinsietokyvystä, sedimenttityypistä ja paikan luonnollisista taustakosteustasoista (Browne, Tay & Todd 2015; Erftemeijer & Lewis 2006; Wilber & Clarke 2001). Vaikka kalat saattavat välttää alueita, joilla sameus on liian korkea, on yleisesti osoitettu, että kalat sietävät suhteellisen hyvin lisääntynyttä sameutta vesipatsaassa. Altistumisella 100 mg/l kiintoainepitoisuudelle enintään 14 päivän ajan tai altistumisella 1 000 mg/l pitoisuudelle enintään 24 tunnin ajan on yleensä vähäinen suora vaikutus altistuviin eliöihin (Karlsson ym. 2020).

Kutuaika on herkkä osa kalojen elinkaarta, jolloin sameus voi heikentää mätimunien ja toukkien selviytymistä pohja-alustassa peittämällä ne sedimentin alle, jolloin ne myöhemmin kuolevat hapenpuutteeseen (Karlsson ym. 2020). Myös pelagisiin mätimuniin ja toukkiin voi kohdistua sekä tappavia (suoraan tappavia) että subleetaalisia (ei suoraan tappavia mutta pitkällä aikavälillä haitallisia) vaikutuksia. Leijuvan sedimentin vaikutus pelagisiin mätimuniin ja toukkiin voi johtaa viivästyneeseen tai heikentyneeseen kuoriutumiseen, kasvun hidastumiseen ja epämuodostumien yleistymiseen (Corell et al. 2023). Toleranssirajat ovat lajikohtaisia, ja pohjaeläinlajit, kuten kampelakalat, sietävät yleensä korkeampia pitoisuuksia. Yleisesti ottaen aikuiset kalat ovat suhteellisen epäherkkiä sameudelle, ja nuorten ja aikuisten kalojen välttämiskäyttäytyminen ilmenee mikrogramman litraa kohti olevissa pitoisuuksissa, kun taas tappavien vaikutusten aikaansaamiseksi tarvitaan gramman litraa kohti olevia pitoisuuksia (Bruton 1985). Silakalla välttämiskynnyksen katsotaan olevan noin 10 mg/l (Johnston & Wildish 1981; Westerberg ym. 1996). Kalojen mätimunilla ja toukilla ei ole kykyä välttää sameutta, ja ne ovat yleensä herkempiä kuin vanhemmat elämänvaiheet. Poikkeuksena on silakka, jonka mätimunien kehitykseen ei ollut vaikutusta, kun ne altistettiin suspendoituneelle sedimentille pitoisuuksina 300 mg/l (Kiörboe ym. 1981). Samanlaisessa tutkimuksessa silakan mätimuniin ei havaittu vaikutusta jopa 7 000 mg/l pitoisuuksissa (Messieh 1981), vaikka mätimunien kuolleisuus oli suurta, jos ne peittyivät kokonaan. Silakan toukat ovat osoittaneet heikentyneen ravinnon syönnin noin 20 mg/litra sameustasoilla (Johnston & Wildish 1981), mutta sietävät lyhytaikaista altistumista yli 500 mg/litra tasolle (Messieh ym. 1981).

Sigman tuulivoimapuiston rakennusvaiheen aikana rakennustöiden läheisyydessä odotetaan esiintyvän muutaman tunnin ajan yli 1 000 mg/l:n sedimenttipitoisuuksia (Sedimentin leviäminen, YVA:n liite 5). Vaikutuksen arvioidaan kohdistuvan rajoitetulle, yhteensä noin 22 neliökilometrin suuruiselle alueelle, ja sen keston arvioidaan olevan yksi tunti koko rakennustyön aikana. Yleisesti ottaen kalat kestävät näin lyhyet altistukset vahingoittumatta (Karlsson et al. 2020), mutta kalat todennäköisesti välttävät alueita, joilla on tällaisia pitoisuuksia, joko itse korkeiden pitoisuuksien tai muiden häiriöiden, kuten kovan melun ja tärinän, vuoksi. Nuoret vaiheet voivat kärsiä hieman enemmän, mutta esimerkiksi silakan toukatkin kestävät lyhytaikaista altistumista yli 500 mg/l pitoisuuksille (Messieh et al. 1981), joiden on laskettu kestävän enintään 24 tuntia.

Yli kymmenen millimetrin sedimenttikerrostumia on laskettu syntyvän vajaan 14 neliökilometrin alueella koko Sigman tuulipuiston rakentamisaikana. Tällainen sedimentaatio voi vaikuttaa kalojen kutumenestykseen, jos mätimunat ja toukat ovat päällekkäin. Vaikutusalue on kuitenkin verrattain pieni, ja lajeilla, joiden odotetaan voivan kutua kyseisellä alueella, kuten tuulenkalalla ja miekkakalalla (täydellinen luettelo kohdassa 5.1), on laaja maantieteellinen levinneisyys ja siten pääsy vastaaville kutualueille. Lisäksi kalalajit, jotka voivat kutua alueella, on lueteltu elinkelpoisiksi kansallisessa punaisessa luettelossa (taulukko 5.2). Sigman tuulivoimapuiston hankealueella tai alueella, johon sedimentaation odotetaan vaikuttavan tuulivoimapuiston ulkopuolella, ei ole havaittu silakan kutualueita. Rakennusvaiheen aikana on olemassa riski, että merenpohjan sekoittaminen suspendoi sedimentissä olevia ympäristömyrkyjä ja tekee niistä siten biologisesti saatavilla olevia. Ympäristömyrkyjen uudelleen suspendoitumisen aiheuttaman merkittävän vaikutuksen riskiä kalakantoihin pidetään pienenä, koska tasot ovat alaiset, kuten luvussa 4.1 todetaan.



Kaiken kaikkiaan arvioinnin mukaan rakennusvaiheen aikaisella suspendoituneella materiaalilla ja sedimentaatiolla **ei ole mitään/merkittävää** vaikutusta. Tämä ja se, että ympäristönäkökohtia pidetään **vähäisinä**, tarkoittaa sitä, että kaloihin kohdistuvia seurauksia **ei pidetä vähäisinä**. Arvioinnin varmuus on **suuri**, koska arvioinnin perustana ovat tieteelliset tutkimukset ja paikkakohtainen mallinnus.

Vedenalainen melu

Äänen eteneminen vedessä tapahtuu hiukkasten liikkeenä ($m \cdot s^{-2}$) ja paine-/ääniaaltoina (dB) (Axenrot & Didrikas 2012). Hiukkasliike vähenee nopeasti etäisyyden kasvaessa lähteestä, kun taas kalat voivat havaita paineen pitkällä etäisyyksillä. Useimmat lajit pystyvät havaitsemaan molemmat äänityypit. Yleisesti ottaen kaloilla on hyvä kyky havaita matalataajuisia ääntä (alle 100 Hz) (Axenrot & Didrikas 2012). Kalojen ääniherkkyys on kuitenkin hyvin lajiriippuvainen. Pohjalla eläviä kalalajeja, kuten kampelaa, pidetään yleensä vähemmän herkkinä äänelle (Isæus 2022). Kalojen kaasua sisältävät elimet (kuten uimarakko ja ruoansulatuskanava) ja kuulojärjestelmät ovat erityisen alttiita vaurioille. Korkeiden äänitasojen kaloille aiheuttamat vauriot voivat liittyä pitkälti siihen, onko lajilla uimarakkoa, ja uimarakon rakenteeseen, kun taas matalammat äänitasot voivat aiheuttaa samankaltaisia vaurioita eri kalalajeille riippumatta uimarakon olemassaolosta tai puuttumisesta (Halvorsen ym. 2012). Äänilähteen läheisyydessä oleville kaloille aiheutuvien suorien fyysisten vahinkojen lisäksi kyse on lähinnä subletaalisista vaikutuksista, kuten tilapäisestä kuulon heikkenemisestä ja käyttäytymismuutoksista, jotka voivat johtaa kielteisiin seurauksiin sekä yksilö- että populaatiotasolla (Hawkins & Popper, 2019). Popper & Hawkins (2019) ja Popper et al. (2020) toteavat, että ymmärryksessämme ihmisen aiheuttamien äänien vaikutuksista ja erityisesti niiden vaikutuksista populaatiotasoon ja vesiekosysteemeihin on edelleen suuria puutteita osittain siksi, että monet tutkimukset on tehty vankeudessa olevilla kaloilla laboratorio-olosuhteissa eikä luonnonvaraisilla kaloilla. Tekijöitä, joiden on havaittu vaikuttavan vasteeseen ääniärsykkeille, ovat muun muassa elämänhistoria, koko suhteessa äänen aallonpituuteen, anatomiset erot ja sijainti vesipatsaassa suhteessa äänilähteeseen (Hawkins & Popper 2016).

Sigman tuulipuiston vedenalaista akustiikkaa koskevassa tutkimuksessaan Sweco on tehnyt laskelmia etäisyyksistä äänilähteestä, joilla silakan kynnysarvot saavutetaan (vedenalainen ääni, YVA:n liite 6). Itämeren silakkaa pidetään niin sanottuna kuulospesialistina, sillä on matala kuulokynnys ja siten suuri herkkyys vedenalaiselle melulle (Axenrot & Didrikas 2012), ja se on myös kaupallisesti tärkeä laji. Näistä syistä on tullut yleiseksi käytännöksi, että silakka on kohdelaji pahimmissa skenaarioissa, kun arvioidaan vedenalaisen melun vaikutuksia. Ruotsissa ei kuitenkaan ole hyväksyttyjä ohjeita vedenalaisesta melusta ja kynnysarvoista, joten Sweco käytti TTS- ja PTS-kynnysarvoja, jotka ovat peräisin Popper et al. (2014). Ruotsin ympäristönsuojeluviraston raportissa (Andersson et al. 2016) ehdotetaan paalutusmelulle haitallisia äänitasoja (PTS) kaloille, kalanmunille ja toukille. PTS-ehdotus perustuu Popper et al. (2014) tutkimukseen, mutta TTS:n raja-arvoa ei kuitenkaan sisällytetty Ruotsin ympäristönsuojeluviraston ehdotukseen. Tätä perusteltiin sillä, että toisin kuin sisäelinten fysiologiset vauriot, sekä pakokäyttäytyminen (käyttäytymisen muutos) että tilapäiset kuulovauriot liittyvät lajin erityiseen herkkyteen taajuudelle ja äänen voimakkuudelle. Olemassa olevan kirjallisuuden perusteella ei myöskään ole mahdollista arvioida, vaikuttaako pakokäyttäytyminen negatiivisesti lajiin populaatiotasolla vai liittyykö vaikutuksen vaikutus alueeseen ja ajanjaksoon. Turskaa (Mueller-Blenke ym. 2010) ja kilohailia, jonka kuulo on samankaltainen kuin silakan (Hawkins ym. 2014), koskevat tutkimukset osoittavat, että kalat reagoivat paalutusmeluun ja niiden odotetaan siten pakenevan ääntä. Samaan aikaan on tutkimuksia, jotka osoittavat, että korkeille äänitasoille altistuvat kalat pysyvät alueella, jos se on riittävän tärkeä niiden selviytymisen tai lisääntymisen kannalta (Wardle ym. 2001; Peña ym. 2013). Kalojen mätimunilla ja toukilla on vain vähän tai ei lainkaan mahdollisuuksia paeta äänilähteestä, mikä tekee niistä haavoittuvampia (Andersson ym. 2016).

Akustinen arviointi (Vedenalainen melu, YVA:n liite 6) osoittaa, että ilman lieventämistoimenpiteitä kaikki silakat 90-103 kilometrin etäisyydellä äänilähteestä pystyvät havaitsemaan paalutusmelun niiden tasojen rajoilla, jotka voivat aiheuttaa tilapäistä vahinkoa (TTS). Lisäksi vaimennuksen puuttumisen arvioidaan aiheuttavan pysyvästi haitallisia äänitasoja (PTS) 3-4,9 kilometrin etäisyydellä melulähteestä. Vähintään 6 dB:n vaimennus tarkoittaa, että etäisyys, jolla TTS-raja ylittyy, puolittuu, ja jos käytetään HSD:tä, etäisyys pienenee neljännekseen. Toisin sanoen 6 dB:n vaimennuksella silliin voi vaikuttaa ääni noin 44 kilometrin etäisyydelle lähteestä ja HSD:llä noin 25 kilometrin etäisyydelle. Kaikilla lasketuilla lieventämistoimenpiteillä (-6 dB, HSD ja DBBC) PTS-rajat eivät ylitä yli kilometrin päässä lähteestä (taulukko 4.8). Jos paalutus aloitetaan ramp-up-menetelmällä, ympäröivän riskialueen (yhden kilometrin säteellä) oletetaan olevan vapaa kaloista 30 minuutin kuluttua kaikkien lieventämistoimenpiteiden osalta, jolloin pysyvilä vaurioilta vältytään.



Seuraavassa vaikutusten arvioinnissa keskitytään ensisijaisesti silakkaan ja sen kutuun, koska laji on yleinen kyseisellä alueella ja sillä on kaupallista arvoa. Tärkeä lähtökohta arvioinnissa on se, että tieteellisessä kirjallisuudessa usein esiintyvä käsite "käyttäytymisen muutos", joka liittyy äänihäiriöihin, ei ole synonyymi pakenemiskäyttäytymiselle tai kutumenestykseen vaikuttamiselle. On osoitettu, että silakan reagoitukynnys äänelle on korkeampi kutuaikana. Skaret et al. (2015) osoittivat, että laji ei reagoi laivameluun samalla tavalla pakenemiskäyttäytymällä, joka on muuten normaalia kutuajan ulkopuolella. Tutkijat päättelivät, että kutuaikana lisääntymisvaisto asetetaan tärkeämmälle sijalle kuin normaali vaaraa välttelevä pakokäyttäytyminen.

Jos lieventämistoimenpiteenä käytetään vähintään 6 dB:n vaimennusta, vaikutus arvioidaan **vähäiseksi**. Itämeren silakan TTS-kynnysarvon ylittävä ääni saavuttaa noin 20 kilometrin päässä olevat Eystrasalt Bankin alueet, jotka Helcom on määritellyt Itämeren silakan potentiaalisiksi kutualueiksi (Helcom 2024). Itämeren silakka saattaa yhden tai kahden vuoden ajan olla poissa alueelta, eikä kutua välttämättä tapahdu, jos paalutus suoritetaan kutuaikana. Eystrasaltin mahdollinen kutualue on kuitenkin suhteellisen pieni, joten ympäristönäkökohdan arvo on **kohtalainen** ja seuraukset näin ollen **vähäiset**.

Rakentaminen voi vaikuttaa jossain määrin myös muihin lajeihin, kuten tuulenkaloihin, miekkasimpukoihin tai vesisimpukoihin, jotka mahdollisesti kutevat hankealueella, mutta näistä lajeista ainoastaan tuulenkalat kutevat kesällä, jolloin suurimman osan rakennustöistä odotetaan tapahtuvan (taulukko 5.3). Vaikutukset näihin arvioidaan **vähäisiksi** ja seuraukset **merkityksettömiksi**, koska niiden ympäristöarvo alueella on arvioitu **vähäiseksi**. Lajeilla katsotaan olevan runsaasti kutualueita tai ne kutevat siihen vuodenaikaan, jolloin rakennustöitä ei tehdä.

Kaiken kaikkiaan 6 dB:n vaimennuksella suoritettavien paalutustyön seurausten katsotaan olevan vähäisiä tai merkityksettömiä kaloille. Arvioinnin varmuus on **kohtalainen**, koska on jonkin verran epävarmuutta siitä, miten vaikutukset kohdistuvat pohjaeläimiin ja kutevatko silakat Eystrasalt Bankissa.

5.1.2 Drift

Elinympäristön muutos ja riuttojen vaikutus

Ruotsin merenpohjan ympäristö voidaan jakaa kahteen päätyyppiin: kovaan ja pehmeään pohjaan (Öhman & Wilhelmsson 2005). Kovat pohjat ovat periaatteessa riuttaympäristöjä riippumatta siitä, koostuvatko ne koralleista, mineraaleista vai keinotekoisesta materiaalista (Öhman ym. 1997; Öhman & Rajasuriya 1998; Öhman ym. 1998). Kovat pohjat ovat usein tärkeitä kalojen kutu- ja poikasalueita, ja niiden biologinen monimuotoisuus on yleensä suuri (Pihl ym. 1994; Årno ym. 1996; Kääriä & Esko 1997; Malm 1999). Tätä hyödynnetään tietoisesti keinotekoisien riuttojen rakentamisessa kaloille suotuisten elinympäristöjen luomiseksi. Riuttavaikutus määritellään kalatiheyden paikallisena lisääntymisenä (Bohnsack 1996; Hylkema ym. 2020). Kalatiheyden lisääntymisen keinotekoisella riutalla ei kuitenkaan tarvitse johtua lisääntyneestä tuotannosta, vaan se voi johtua jo olemassa olevien kalojen kerääntymisestä lähialueelta (Bohnsack 1996). Merituulivoimalat voivat toimia keinotekoisena riuttana. Merituulivoimaloiden rakentamiseen liittyy merenpohjan olosuhteiden fyysinen muuttaminen ja kovien pystysuorien pintojen luominen koko vesipatsaaseen. Perustukset ja eroosiosuojaukset luovat uusia pintoja ja rakenteita, jotka voivat synnyttää riuttavaikutuksen eli houkutella ja suosia lajeja (Wright ym. 2020). Esimerkiksi kalat voivat vetää puoleensa näitä kiinteitä rakenteita, niiden tarjoama suoja voi suosia niitä ja siten johtaa kalojen määrän kasvuun (Bergström ym. 2012). Kuten mainittu, tämä on kuitenkin osoitettu pääasiassa pääasiassa merivesissä.

Tutkimuksia riuttojen vaikutuksista Itämeren merituulivoimaan on tehty Kalmarsundin (Andersson & Öhman 2010) ja Öresundin (Bergström et al. 2013) tuulipuistoissa. Nämä tutkimukset osoittivat, että jälkimmäisellä oli konkreettisempi riuttavaikutus. Selityksenä pidetään sitä, että Juutinrauman suolapitoisuus on korkeampi, minkä vuoksi siellä elää suurempi kalayhteisö. Ruotsin vesillä riuttavaikutuksen laajuuden voidaan olettaa vaihtelevan tuulipuiston sijainnin mukaan, koska lajien esiintyminen vaihtelee rannikon eri osissa (Isæus 2022; Andersson & Öhman 2010; Bergström ym. 2022). Keinotekoisien rakenteiden ympärillä oleva riuttavaikutus on hyvin dokumentoitu selvästi merialueilla, kuten Pohjanmerellä, jossa vallitsee yksimielisyys sekä kalojen lisääntyneestä houkuttelevuudesta että lisääntyneestä tuotannosta. Samaa ei voida sanoa suurimmasta osasta Itämeren eikä varsinkaan Perämerestä. Riuttovaikutusta on toki tutkittu ja osoitettu Lillgrundin tuulipuistossa Öresundissa ja Utgrundinissa Kalmarsundissa, mutta koska Itämeren pohjoisempana sijaitsevia tuulipuistoja ei ole, ei ole tutkimuksia elinympäristön muutoksista ja elinympäristön muuttumisesta.



riuttavaikutuksen vaikutus kaloihin. Useissa artikkeleissa ja yhteenvetoraporteissa korostetaan, että pienemmällä lajirikkaudella voidaan odottaa olevan heikompi vaikutus (Andersson & Öhman 2010; Isæus ym. 2022; Langhamer 2012; Öhman 2023).

Lajien esiintymisen lisäksi monet muut tekijät vaikuttavat siihen, esiintyykö ketun vaikutus ja miten se ilmenee. Tällaisia tekijöitä voivat olla rakentamistavan valinta, laitosten ympärille syntyvä virtauskuvio ja valon saatavuus (Paine 1974; Knott ym. 2004). Jossain määrin ei ole tietoa odotettavissa olevasta vaikutuksesta, joka liittyy elinympäristön muutokseen ja riuttavaikutukseen, kun tuulivoimaa rakennetaan Sigman tuulivoimapuistossa esiintyviin syvyyksiin ja jos tuulivoimalat sijoitetaan harvempaan kuin tutkituissa puistoissa (Bergström ym. 2022).

Koska Sigman tuulipuiston hankealueella Perämeressä kalojen monimuotoisuus on suhteellisen vähäistä verrattuna selvemmin merialueilla sijaitseviin tutkittuihin tuulipuistoihin, elinympäristön muutoksen ja riuttojen vaikutuksen voidaan olettaa johtavan siihen, että **myönteisiä** ympäristövaikutuksia **ei synny lainkaan tai että ne ovat vähäisiä tai vähäisiä**. Elinympäristömuutoksen aste riippuu siitä, miten erilaiset käyttöön otetut rakenteet ja substraatit ovat alkuperäiseen tilaan verrattuna. Suurin vaikutus elinympäristöön on, jos tuulivoimalat sijoitetaan pehmeille pohjille, jolloin uutta kovaa materiaalia on lisättävä enemmän kuin jos tuulivoimalat rakennetaan olemassa oleville kovalle pohjille. Rakenteet saattavat houkutella kaloja, jos ne tarjoavat suojaa tai luovat elinympäristöjä ravinto-organismeille, mutta vaikutuksen ei odoteta olevan merkittävä. Kaupallisen kalastuksen lopettaminen voidaan katsoa elinympäristön muutokseksi, koska kalojen kuolleisuus muuttuu. Vaikutuksen arvioidaan olevan **olematon tai vähäinen**, koska alueella ei harjoiteta kaupallista kalastusta merkittävässä määrin (kaupallista kalastusta koskeva analyysi, YVA:n liite 4). Arvioinnin varmuus on **kohtalainen**, koska riuttavaikutuksen myönteisten vaikutusten asteeseen liittyy jonkin verran epävarmuutta.

Vedenalainen melu

Vedenalaisen akustisen tutkimuksen mukaan Sigman tuulivoimapuiston toiminnasta aiheutuvan melun arvioidaan jäävän alle sen taustamelun tason, joka aiheutuu pääasiassa meren aaltoliikkeestä (vedenalainen melu, YVA:n liite 6). On mahdollista, että toimintamelu voidaan havaita vedenpinnan alapuolella heikon tai normaalin tuulen aikana, mutta tällöin äänitasot ovat melko alhaisia tai tuskin havaittavissa. Näin ollen arvioidaan, että toiminnan aiheuttaman melun ympäristövaikutukset **eivät ole vähäiset tai merkityksettömät** ja vaikutukset kaloihin **ovat vähäiset tai merkityksettömät**.

Sähkömagneettiset kentät

Sähkömagneettisia kenttiä syntyy kaapeleiden ympärille, kun tuotettua sähköä siirretään puiston sisällä ja vientikaapeleiden kautta mantereelle. Sähkömagneettiset kentät voivat vaikuttaa esimerkiksi kalojen ravinnonhankintaan, suunnistukseen ja ympäristön havainnointiin, kuten petojen havaitsemisen peittämiseen (Tricas & Gill 2011).

Sähkömagneettisten kenttien mahdollisia vaikutuksia kaloihin olisi tarkasteltava kahdessa mittakaavassa: yhden (1) kaapelin läheisyydessä ja koko tuulipuiston kaapeliverkon läheisyydessä, sen suunnittelussa ja sijainnissa suhteessa esimerkiksi kutualueisiin ja vaellusreitteihin. Kirjallisuudessa on tavallista, että sähkömagneettisten kenttien vaikutuksia koskeissa tutkimuksissa keskitytään kalojen käyttäytymisen havainnointiin vain yhden kaapelin kohdalla/ympäristä (Dunlop ym. 2016; Westerberg & Lagenfelt 2007). Westerberg & Lagenfelt (2008) ovat poikkeus, he tutkivat kolmen kaapelin järjestelyä. Tutkijat päättelivät, että toistuvien kaapeleiden läpikulkujen vaikutuksista tarvitaan lisää tietoa. Tuulipuiston (sen kaapeliverkoston kokonaisuutena) kumulatiivista vaikutusta on tutkittu vähän, ja tämäntyyppisten tutkimusten tuloksia on usein vaikea tulkita, koska kalojen vaelluskäyttäytymiseen vaikuttavat monet tekijät, kuten virtaukset (Lagenfelt, Andersson & Westerberg 2012).

Kolme tekijää määrittää sen, missä määrin jännitteisten kaapeleiden sähkömagneettisille kentille altistuminen vaikuttaa kaloihin: 1) kaapelin virranvoimakkuus, 2) kaapelin rakenne ja 3) kaapelin ja kalojen välinen etäisyys. Kaapeleiden eristys vähentää sähkömagneettisia kenttiä ja ne pienenevät nopeasti etäisyyden kasvaessa, minkä vuoksi merenpohjaan upottaminen toimii suojaavana toimenpiteenä vesieläimille. Kentän voimakkuus kaapeleiden läheisyydessä (metrin etäisyydellä) on jopa 15 μT :n luokkaa, ja noin kymmenen metrin etäisyydellä kentän voimakkuus on laskenut lähes nolleen (tekniinen kuvaus, liite 2a).

Kalat, jotka ovat evolutiivisesti sopeutuneet havaitsemaan maapallon staattisen magneettikentän (taajuudella 0 Hz), eivät pysty havaitsemaan sähkömagneettisia kenttiä, joiden taajuudet ovat tavallisesti vaihtovirtakaapeleissa (50 Hz), ellei kentän voimakkuus ole riittävän suuri. Näin ollen vaihtovirtakaapeleilla on vain vähän tai ei lainkaan vaikutusta kalojen käyttäytymiseen. Tasavirtakaapeleiden sähkömagneettinen kenttä muistuttaa enemmän maan luonnollista staattista kenttää, ja sitä voivat havaita seuraavat tahot



kaloja, joilla on magneettisesti herkäät aistielimet, mutta ne eivät vaikuta niihin merkittävästi (Snyder ym. 2019). Öhman, Sigray & Westerberg (2007) korostavat, että vaihtovirta- (AC) ja tasavirtakaapeleita (DC) ei pitäisi pitää samoina ympäristöarvioinnin näkökulmasta, kalat kokevat staattiset ja vaihtovirtakentät todennäköisesti eri tavalla.

Joillakin kaloilla on magneettikenttiä aistivia elimiä, ja erityisesti vaelluskaloilla on tutkittu magneettikentän vaikutuksia. Useita eri lohikaloja on tutkittu poikasvaiheesta aikuisvaiheeseen havaitsematta magneettikenttien vaikutuksia (Kavet ym. 2016; Snyder ym. 2019; Wyman ym. 2018; Fey ym. 2019). Joitakin vaikutuksia lohikalojen varhaisiin kehitysvaiheisiin on kuitenkin havaittu (Fey ym. 2019; Formicki ym. 2021). Selkämerellä esiintyy kuitenkin vain aikuisia lohikaloja. Yano et al. (1997) eivät havainneet todisteita desorientaatiosta kirjolohilla (*Oncorhynchus keta*), jotka altistuivat kentänvoimakkuudelle, joka oli suuruusluokkaa kaksi kertaa Maan magneettikentän suuruinen. Merisimpukoita (*Ammodytes marinus*) koskeva tutkimus osoitti, että magneettikentillä (50-150 μ T) ei ollut vaikutusta tähän pelagiseen lajiin (Cresci ym. 2022).

Sähkömagneettisten kenttien, riippumatta siitä, onko kaapeleissa vaihto- vai tasavirtaa, ei odoteta vaikuttavan Sigman tuulipuiston alueella esiintyviin pelagisiin lajeihin, kuten silakkaan, kilohailiin, kilohailiin, siikaan ja tuulenkalaan. Ympäristövaikutuksen arvioidaan olevan **olematon/merkityksetön**, minkä seurauksena seurauksia **ei ole/merkittäviä**.

Vaikutukset pohjaeläinlajeihin, erityisesti muihin kuin kaupallisesti merkittäviin lajeihin, näyttävät olevan suhteellisen tutkimaton alue. Näin ollen kampelaa, lapasimpukkaa, miekkakalaa ja merilevää koskeva arviointi on hieman epävarmempi, ja siksi ympäristövaikutukset arvioidaan näihin lajeihin kohdistuviksi **vähäisiksi**, ja ympäristönäkökohtien **pienen** arvon vuoksi myös seuraukset ovat **vähäisiä**.

Arvioinnin varmuutta pidetään **kohtalaisena**, koska pohjakaloihin kohdistuvien ympäristövaikutusten asteeseen liittyy jonkin verran epävarmuutta.

5.1.3 Käytöstäpoisto

Elinympäristön muutos ja riuttojen vaikutus

Elinympäristön muutosten odotetaan vaikuttavan kalojen populaatiotasolla vain vähän tai ei lainkaan/merkittävästi rakentamisen ja toiminnan aikana, ja tämä arvio pätee myös käytöstä poistamisen aikana. Käytöstäpoiston aikana tapahtuvien elinympäristömuutosten pitäisi johtaa siihen, että elinympäristö palaa perustasolle tai sen kaltaiselle tasolle, jolloin vaikutuksia **ei ole tai ne ovat merkityksettömiä**, ja että elinympäristön arvo on **alhainen**, jolloin vaikutuksia **ei ole tai ne ovat merkityksettömiä**.

Kiintoainepitoisuus ja sedimentaatio

Sigman tuulipuiston purkamisen odotetaan aiheuttavan jonkin verran suspendoitunutta ainesta ja sedimentaatiota. Sen laajuus riippuu menetelmän valinnasta, ja se olisi arvioitava käytöstäpoiston yhteydessä. Vaikutuksia **ei odoteta olevan lainkaan tai ne ovat vähäisiä**.

Vedenalainen melu

Tuulipuiston käytöstä poistaminen aiheuttaa vedenalaista melua toistaiseksi tuntemattomassa määrin. Melutasot riippuvat käytöstäpoiston menetelmästä, tekniikasta ja laajuudesta. Jos oletetaan, että käytöstäpoiston aikana voidaan soveltaa pahinta rakennusaikaista skenaariota vastaavia arvoja, on arvioitu, että tarvitaan samanlaisia tai vastaavia suojatoimenpiteitä, jotta vältetään kalojen altistuminen äänitasoille, jotka voivat aiheuttaa TTS- ja PTS-oireita. Vaikutukset hankealueella käytöstäpoiston aikana voivat näin ollen olla samanlaisia kuin rakennusvaiheessa, eli vaikutukset **voivat olla vähäisiä tai vähäisiä** lajista riippuen.

5.1.4 Kumulatiiviset vaikutukset

Tässä arvioidaan kumulatiivisia vaikutuksia olettaen, että taulukossa 4.9 kuvatut tuulipuistot rakennetaan määritellyn aikataulun mukaisesti. Suunnitelmien mukainen toteutus merkitsisi 8-9 vuoden aikana tapahtuvia rakennustöitä suhteellisen rajatulla osalla Selkämeren. Kaloihin kohdistuvien kumulatiivisten vaikutusten arviointi perustuu peruskysymykseen: voisiko pitkittynyt/pitkä rakennusaika mahdollisesti aiheuttaa kumulatiivisia vaikutuksia populaatioiden tai kantojen tasolla. Kuten muissakin vaikutustenarvioinneissa, tässä kumulatiivisessa arvioinnissa keskitytään ensisijaisesti silakkaan. Sigmassa tavatun silakan katsotaan kuuluvan Pohjanlahden kalakantaan, johon kuuluvat kaikki Perämeren ja Pohjanlahden silakat. Viimeaikaiset tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet, että on olemassa useita geneettisesti erillisiä osapopulaatioita, joilla on paikallisia sopeutumismahdollisuuksia (Han et al. 2020). Jälkimmäinen sekä se, että lisääntyminen on populaatioiden kestävyys kannalta olennaisen tärkeää, johtavat siihen, että suspendoituneen sedimentin ja sedimentaation sekä vedenalaisen melun kumulatiivisessa arvioinnissa keskitytään mahdollisiin vaikutuksiin tunnetuilla ja potentiaalisilla kutualueilla eteläisellä Perämerellä. Yleisesti ottaen elinympäristön muutosten ja riuttojen vaikutusten arvioidaan olevan vähäisiä Perämerellä sijaitsevien tuulivoimapuistojen osalta, Sigman tuulivoimapuisto mukaan luettuna. Merkittäviä kumulatiivisia vaikutuksia ei odoteta.

Kaupallisen kalastuksen kieltäminen voidaan nähdä elinympäristön muutoksena siinä mielessä, että muuttunut elinympäristö johtaa eloonjäämisen lisääntymiseen. Tässä arvioinnissa mukana olevissa puistoissa on ilmeisesti otettu hyvin huomioon kaupallisen kalastuksen maantieteellinen jakautuminen, joten lajin kausittaisen vaelluksen vuoksi eloonjäämisen merkittävää lisääntymistä ei pidetä kohtuullisena odotusta.

Sedimentaatioreportin (Sedimentin leviäminen, YVA:n liite 5) mukaan Sigman sameusvaikutus ei ulotu silakan potentiaaliselle kutualueelle Eystrasalt Bankissa, joten kumulatiivista vaikutusta ei odoteta. Leijuvan aineksen ja sedimentaation kumulatiivinen vaikutus voisi teoriassa ilmetä, jos Sigman tuulipuisto yhdessä muiden puistojen kanssa vaikuttaisi ratkaisevasti jonkin lajin kutumenestykseen. Kaiken kaikkiaan minkään lajin ei kuitenkaan odoteta kärsivän merkittävästä vaikutuksesta populaatiotasolla.

Eystrasalt Offshore -tuulipuiston rakentamisaika (2030-2035) on päällekkäinen Sigma-tuulipuiston kanssa (2032-2035). Jos silakan kutu tapahtuu tunnistetulla potentiaalisella silakan kutualueella, se voi tapahtua sekä keväällä että syksyllä, koska syksyllä kuteva variantti kutee avomerellä sijaitsevilla rannoilla. Eystrasaltin merituulipuiston YVA:n liitteessä M5 raportoidaan eDNA-tutkimuksesta, jonka mukaan silakka kuti keväällä/alkukesällä, mutta näytteenottopäivän (syyskuu) jälkeen myöhemmin syksyllä tapahtuvaa kutua ei voitu todistaa eikä sulkea pois. Kuten aiemmin on kuvattu, Sigman tuulivoimapuiston rakentamisesta aiheutuvan melun odotetaan kantautuvan kutualueelle, mutta vain rajoitetuissa osissa rakennusvaihetta, jolloin sen kielteiset vaikutukset ovat hyvin **vähäisiä** tai **merkityksettömiä**. Vaikka sekä Eystrasalt Offshore -tuulivoimapuiston että Sigman tuulivoimapuiston odotettu vaikutus alueella mahdollisesti tapahtuvaan kutumiseen katsotaan vähäiseksi, päällekkäisiä rakennusvaiheita pidetään pikemminkin etuna kuin haittana, koska ajallinen vaikutus on tällöin lyhyempi.

Perämerelle suunniteltujen tuulipuistojen toimintavaiheessa merialueen kokonaisuus, jolla voi esiintyä (tuulivoimaloiden aiheuttamaa) vedenalaista melua, kasvaa. Tuulivoimaloiden toiminnallisesta melusta ei kuitenkaan odoteta aiheutuvan kumulatiivisia vaikutuksia kaloihin. Tällä hetkellä on mahdotonta arvioida, aiheuttaako alusliikenne muutoksia melun kokonaiskuvaan. Tuulivoimalat vaativat huoltoa, mikä luonnollisesti aiheuttaa alusliikennettä, mutta samalla kaikessa muussa alusliikenteessä on todennäköisesti otettava huomioon tuulivoimalat. Alusten melulla ei myöskään odoteta olevan merkittävää vaikutusta kalojen lisääntymiseen.

Kaikkien tarkasteltujen tuulipuistojen sähkömagneettisten kenttien vaikutukset ovat vähäisiä, ja arvioinnin mukaan kumulatiivisten vaikutusten riskiä ei ole.

5.2 Pohjaeläimistö

Sigman tuulipuiston hankealueen pohjaeläimistön kartoittamiseksi on etsitty aiemmin raportoituja tutkimuksia pehmeän pohjan eläimistöstä hankealueen läheisyydessä. Tietokannoista etsittiin Helcomin kartta- ja tietopalvelua (2024-04-25), ICES DataPortalia (2024-04-25) ja SHARKwebiä (SMHI, 2024-04-25). Lisäksi ympäristötutkimuksissa otettiin 32 pohjanäytettä. Näytepisteet satunnaistettiin koko hankealueella (kuva 5.3). Kovaa pohjaa ei ole erityisesti tutkittu, sillä

