

FYRSKEPPET
OFFSHORE AB



Fyrskippet Offshore

Bilaga K1: Skrivbordsstudie gällande
alunskiffer

Skrivbordsstudie gällande alunskiffer

Vindkraftpark Fyrskeppet

Skrivbordsstudie gällande alunskiffer

Vindkraftpark Fyrskeppet

Projektnamn **Vindkraftpark Fyrskeppet - Alunskiffer**
Projekt nr **1320056344-002**
Mottagare **Fyrskeppet Offshore AB (FYOAB)**
Typ av dokument **PM**
Version **Slutversion**
Datum **2024-04-23**
Förberett av **Annie Björk, Eric Acevall, Jon Höglund och Kajsa Palmqvist**
Kontrollerad av **Sebastian Bram**
Godkänd av **Kajsa Palmqvist**
Beskrivning **Skrivbordsstudie gällande förekomst av alunskiffer inom projektområdet för vindkraftpark Fyrskeppet. Komplettering till MKB för SEZ-ansökan.**

Ramboll
Köpmangatan 40B
Box 850
972 33 Luleå

T +46 (0)10 615 60 00

Innehållsförteckning

1.	Bakgrund	2
2.	Alunskiffer i Sverige – Förekomst och egenskaper	4
2.1	Generell förekomst	4
2.2	Generella egenskaper	7
2.3	Förekomst i Södra Bottenhavet	7
2.4	Egenskaper i Södra Bottenhavet	11
2.5	Förekomst i projektområdet	11
2.6	Egenskaper i projektområdet	13
3.	Tekniska förutsättningar	14
4.	Masshantering och skyddsåtgärder	16
5.	Sammanfattning	18
6.	Referenser	19

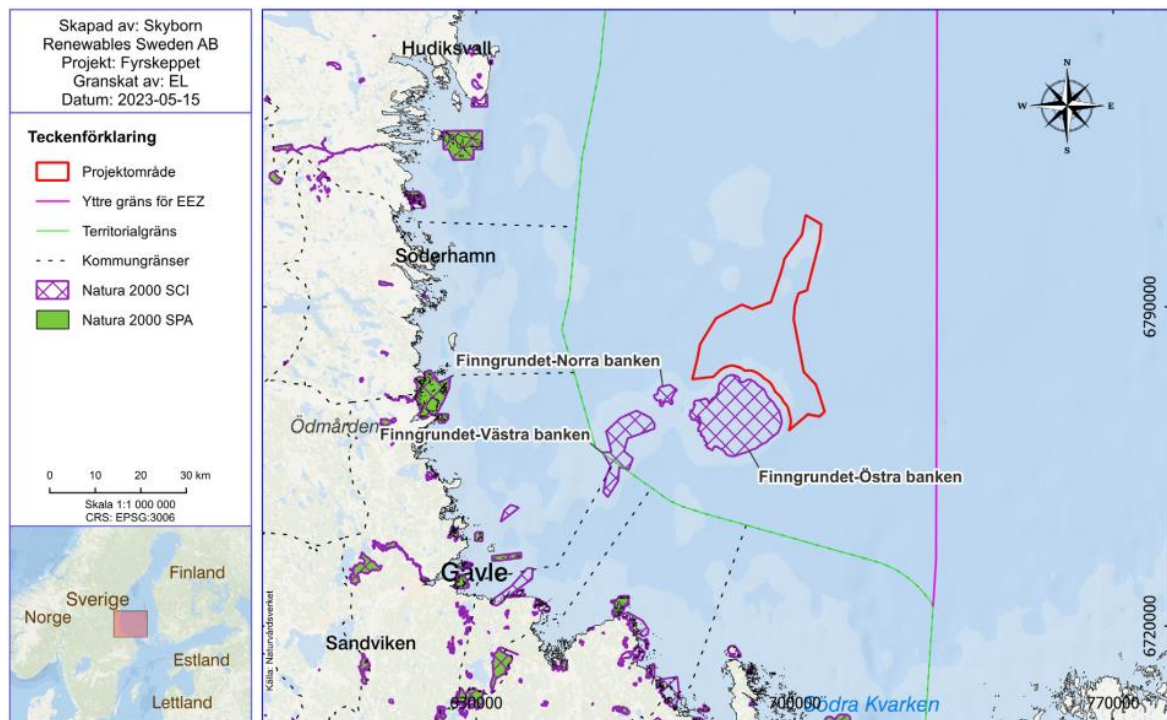
1. Bakgrund

Fyrskippet Offshore AB (FYOAB) har ansökt hos regeringen om tillstånd för vindkraftparken Fyrskippet Offshore enligt 5 § lagen om Sveriges ekonomiska zon (SEZ). Vindkraftparken planeras inom Sveriges ekonomiska zon i Bottenhavet, nordost om Finngrundet i Gävle, ca 50 km utanför Upplands kust, se Figur 1. Vidare har en ansökan om tillstånd enligt 7 kap. 28 a § miljöbalken (Natura 2000-tillstånd) gjorts till Länsstyrelsen i Uppsala län för uppförande, drift och avveckling av vindkraftparken. Till ansökningarna har en miljökonsekvensbeskrivning (MKB) upprättats.

Länsstyrelsen i Uppsala län har inkommit med en begäran om komplettering av MKB:n och ansökan om tillstånd enligt SEZ gällande eventuell förekomst av alunskiffer mot bakgrund av att alunskiffer har påträffats inom Finngrundet. Länsstyrelsen har i tidigare samrådsyttrande framfört att *”egenskaperna av alunskiffern inom projektområdet behöver klargöras för att eventuella skyddsåtgärder ska kunna vidtas vid anläggandet av vissa typer av fundament inom projektområdet”*. Vidare framför de att FYOAB skriver i MKB:n att resultatet av undersökningarna visar *”att det inte finns några skifferformationer i de grundaste delarna av havsbotten”* vilket länsstyrelsen inte håller med om då det inte gjorts någon undersökning av berggrunden.

I länsstyrelsens yttrande (punkt H) har följande framförts: *”Komplettera miljökonsekvensbeskrivningen med ett underlag avseende förekomst av alunskiffer inom verksamhetsområdet. Kompletteringen kan göras genom att använda resultat från andra källor om bergartens egenskaper och förekomst genom en så kallad skrivbordsanalys. I avsaknad av genomförd provtagning inom verksamhetsområdet kan bedömningen göras utifrån de egenskaper som bergarten har uppvisat i Sverige. Redovisningen behöver också innehålla en bedömning av lämplig masshantering och skyddsåtgärder utifrån massornas förväntade egenskaper och miljökonsekvenser i händelse av dumpning vid etablering av parken, inklusive anläggande av internkabelnätet och pålning.”*

Denna rapport utgör skrivbordsstudie som omfattar beskrivning av eventuell förekomst av alunskiffer inom planerat projektområde för vindkraftpark Fyrskippet (enligt karta i Figur 1), alunskiffers egenskaper, masshantering, samt eventuella skyddsåtgärder och miljökonsekvenser om alunskiffer påträffas inom projektområdet. Skrivbordsstudien har utförts genom att använda resultat från tidigare undersökningar och fakta om bergarten från relevant litteratur.

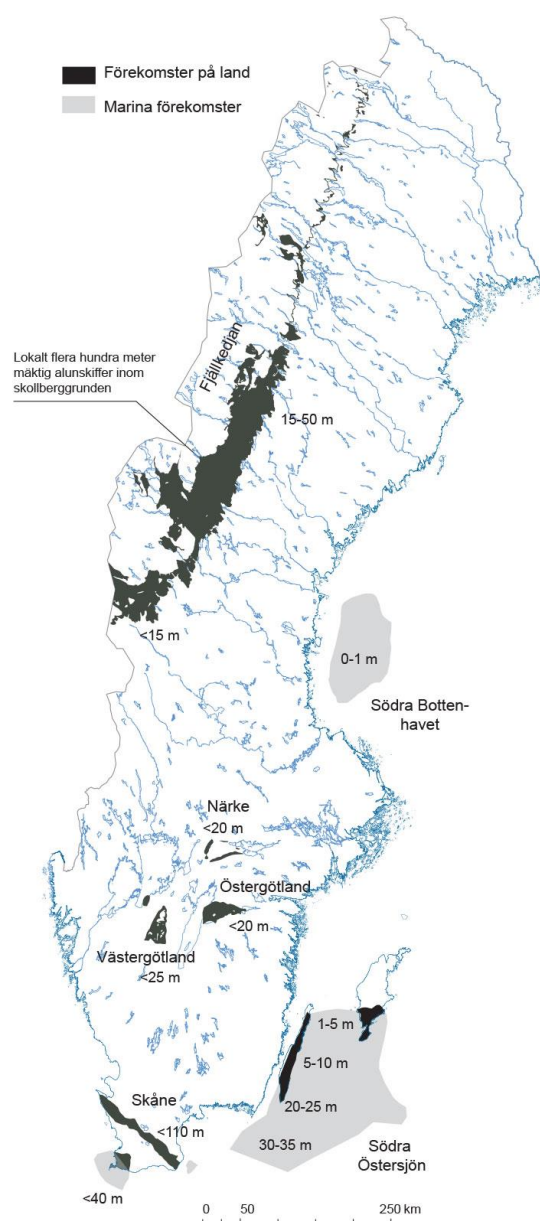


Figur 1. Översiktsbild från MKB som visar lokalisering av vindkraftparken Fyrskuppets projektområde (röd markering), samt Natura 2000-områden som har undersökts i tidigare studier.

2. Alunskiffer i Sverige – Förekomst och egenskaper

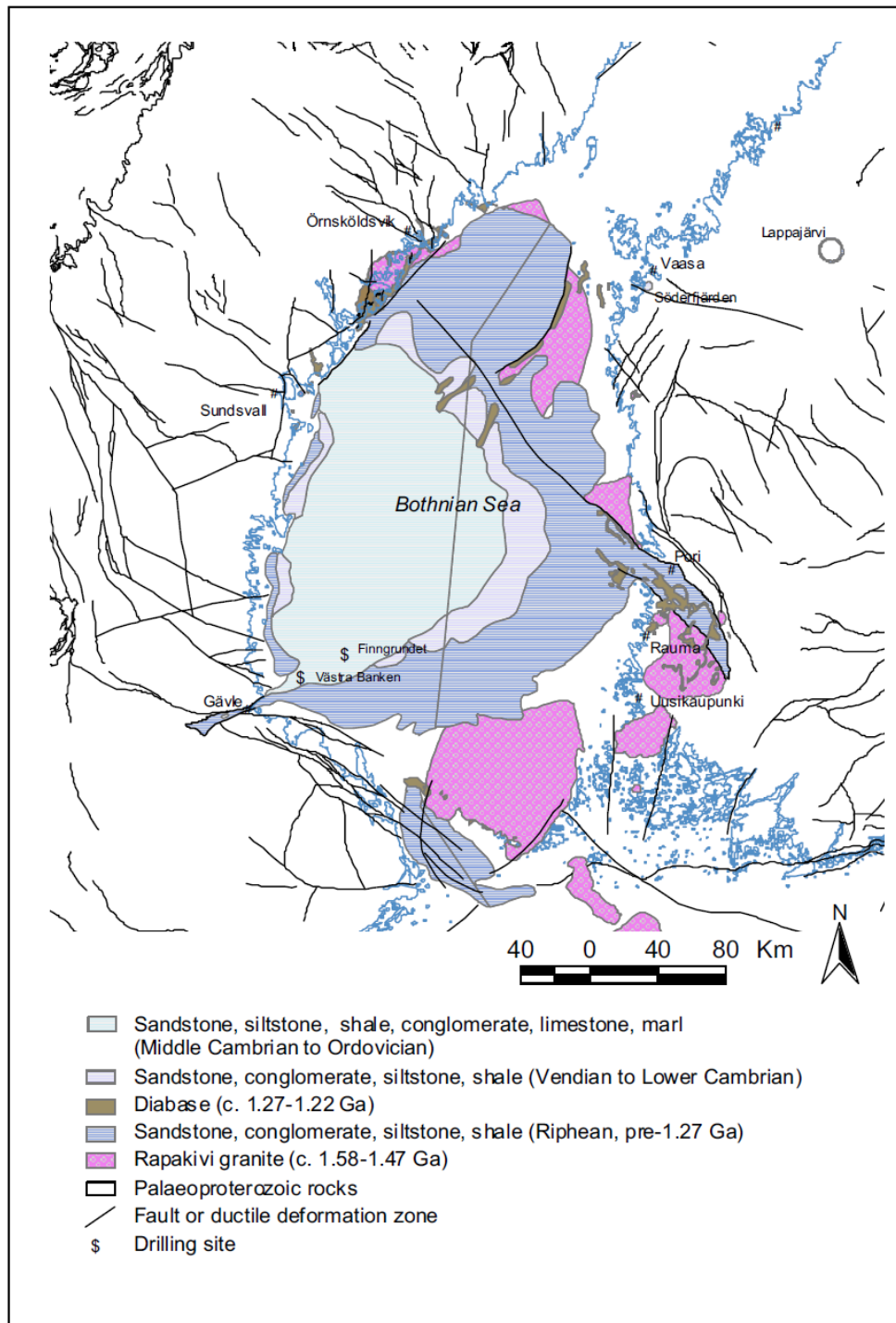
2.1 Generell förekomst

Ungefär 1 % av Sveriges berggrund utgör områden där det kan finnas svarta skiffrar, av vilka alunskiffern är en typ (Erlström, 2014). Förekomster av alunskifferformationer, både marina och kontinentala, är kända i delar av landet, se Figur 2. Mäktigare sekvenser av alunskiffer förekommer i fjällkedjan i nordvästra Sverige och bildades under bergskedjans formation. Förekomst av alunskiffer finns också i Närke, Östergötland, Västergötland, Skåne, Södra Bottenhavet samt i södra Östersjön i anslutning till Öland och Gotland (SGU, 2020a). De marina förekomsterna av alunskiffer är generellt belägna under andra sedimentära bergarter (SOU, 2020), liksom sekvensen i Södra Bottenhavet som är överlagrad av ordovicisk kalksten (Thorslund & Axberg, 1979).

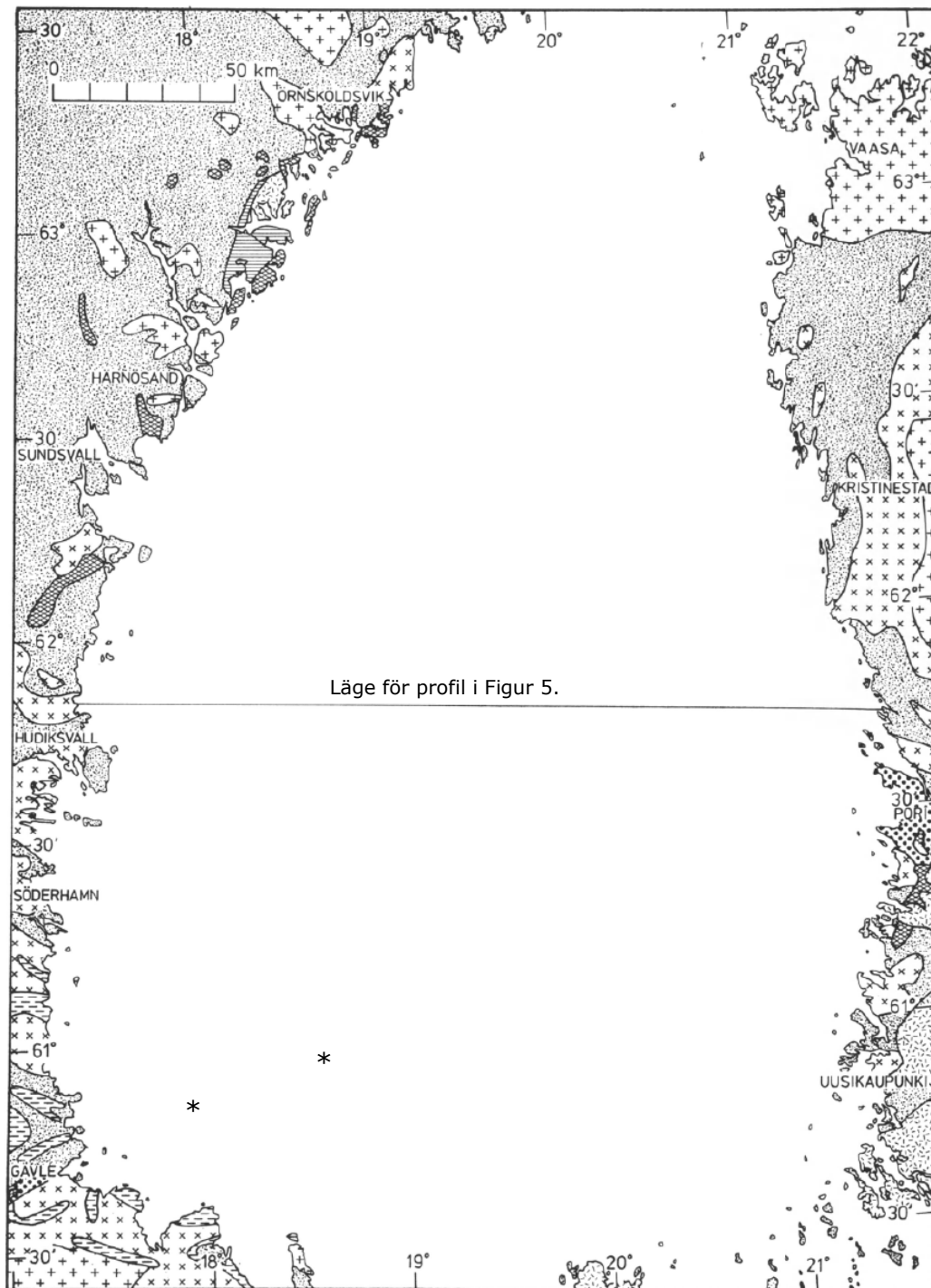


Figur 2. Geografisk beskrivning av alunskiffers förekomst i Sverige. Alunskiffern har i området Södra Bottenhavet en mäktighet på upp till 1 m (SGU, 2020a).

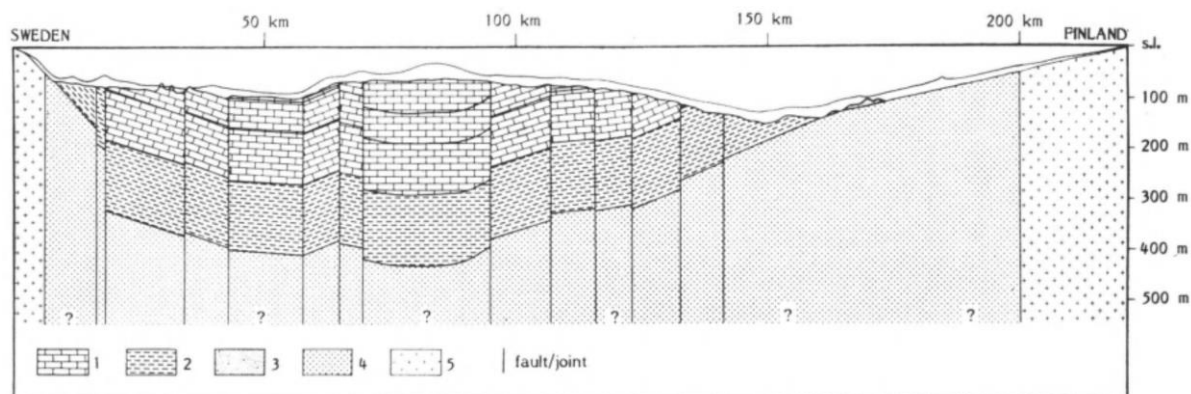
Berggrunden i Bottenhavet består av sedimentära bergarter som överlagrar berggrund av graniter och gnejser, se Figur 3. Den generella mäktigheten på de sedimentära bergarterna i Bottenhavet är upp till ca 375 m (Axberg, 1980), se Figur 4 och Figur 5.



Figur 3. Berggrunden i Botten havet (Paulamäki & Kauivamäki, 2006), med lägen för Västra Banken och Finngrundet.



Figur 4. Översiktskarta över Bottenhavet med läge för den stratigrafiska profilen i Figur 5 (Axberg, 1980). Den västra asterisken visar läget för Västra Banken och den östra läget för Finngrundet.



Figur 5. Stratigrafisk profil över Bottenhavet (Axberg, 1980). 1 – Äldre, Mellersta och Yngre ordovicium, 2 – Äldre kambrium, 3 – Avvikande paleozoiska bergarter, 4 – Jotniska bergarter, 5 – Prekambrisk berggrund.

2.2 Generella egenskaper

Alunskiffer är en sedimentär bergart och mineralogiskt sammansatt av huvudsakligen lermineral och finkornigt kvarts och fältspat. Bergarten har avsatts genom långsam sedimentation på syrefria havsbottnar i de hav som för omkring 500 miljoner år sedan täckte stora delar av Sverige. I den anaeroba avsättningsmiljön har dessa mineral blandats med organiskt material, karbonat och fosfat, men även tungmetaller och andra grundämnen (SGU, 2020a). Detta innebär att bergarten generellt är rik på tungmetaller (exempelvis uran), men även svavel, kalium, fosfor och kväve (Erlström, 2014).

Specifikt för Skandinavien så innehåller alunskiffern generellt höga koncentrationer av uran (upp till 300 ppm; Lecomte et al., 2017). Metallsammansättningen i bergarten är komplex med en stor variation av olika metaller från det periodiska systemet (SOU, 2020). I alunskifferformationer i Sverige är järnsulfider vanliga. De uppträder ofta i tunna ådror eller disseminerade i formationen (Andersson et al., 1985). Sulfider (särskilt järnsulfiden pyrit) kan vittra (oxidera) vilket sker genom reaktion med syre från luften. I oxidationsprocessen produceras vätejoner, vilket innebär att ett surt och metallrikt lakvatten kan genereras som, under vissa förutsättningar, kan nå och påverka omgivande natur (Ingri, 2012).

Då bergarten bildats under anaeroba förhållanden har det organiska materialet inte brutits ned. I stället bildas ett organogent slam som under bergartsbildningen bildar den organiska substansen kerogen som är uppbyggd av komplexa kolvätekedjor. För alunskiffer som ligger djupt ned i berggrunden, och när det utsätts för tillräckligt högt tryck och temperatur, kan s.k. termisk katagenes ske, vilket innebär att kolvätekedjorna i kerogenet bryts ned och omvandlas till kol, olja (flytande kolväten) och termisk skiffergas (främst metangas). Om alunskiffern bildats under lägre tryck och temperatur (vanligt för ytligt förekommande alunskiffer) kan bergarten i stället via biologisk nedbrytning av organiskt material bilda biogen skiffergas, vilken huvudsakligen består av metangas men kan även innehålla koldioxid, kvävgas och svavelväte. I flera delar av Sverige har potentialen för utvinning av skiffergas undersökts. I Sverige är det enbart i södra Östersjön som alunskiffern är mogen, d.v.s. påverkad av tillräckligt tryck och temperatur så att det finns potential för olja (Erlström, 2014; SGU, u.å.).

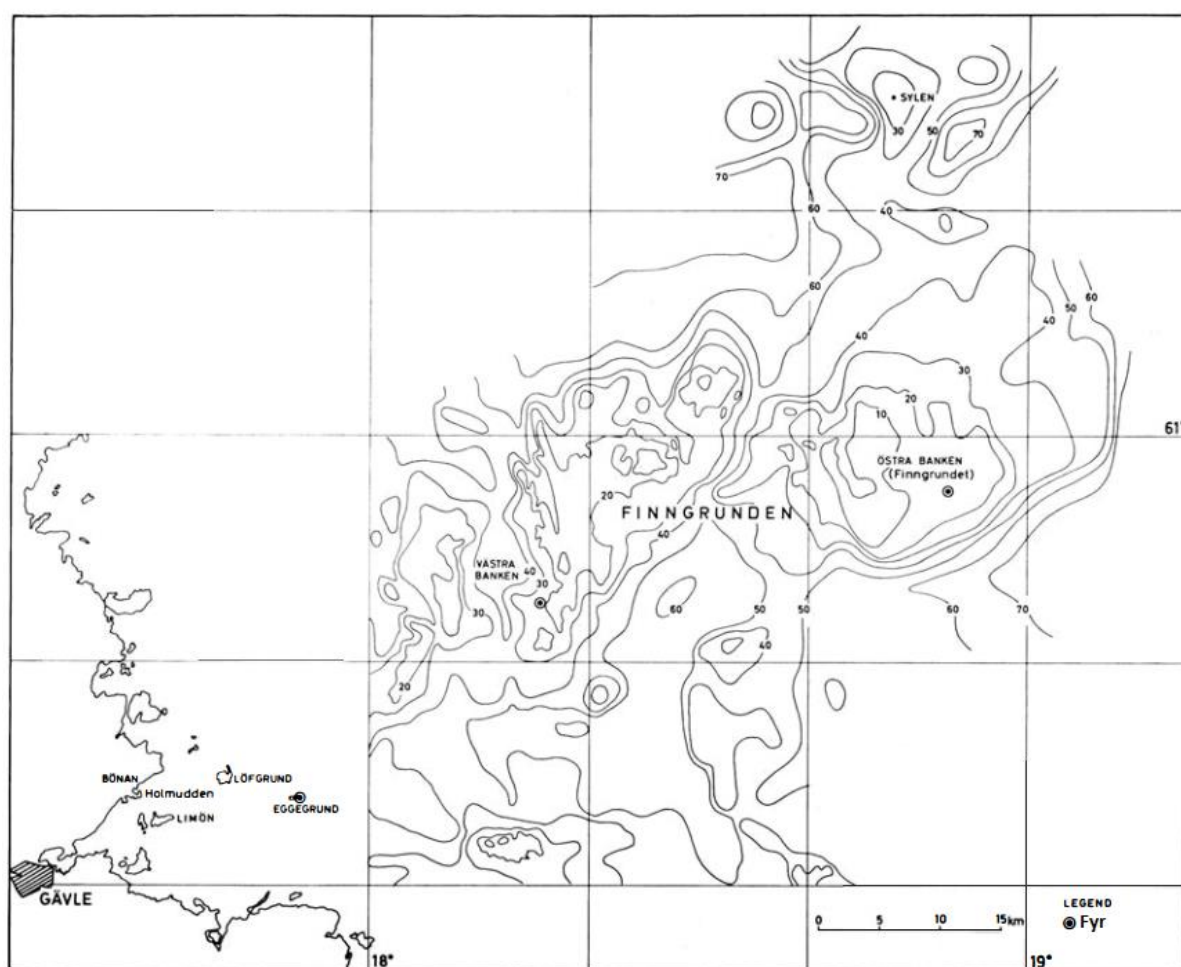
2.3 Förekomst i Södra Bottenhavet

Fyrskappets projektområde ligger geografiskt i anslutning till de marina alunskifferformationerna i Södra Bottenhavet. Tidigare undersökningar av berggrunden har gjorts i Natura 2000-områden i

området Finngrundet, belägen sydväst och syd om nuvarande projektområde (se Figur 1), och beskrivs vidare nedan.

Alunskifferformationen i Södra Bottenhavet, i området mellan Gävle och Härnösand, består av en av kalksten dominerad sedimentär stratigrafi av tidig paleozoisk ålder (Andersson et al., 1985). Den totala mäktigheten på stratigrafin är ca 200 meter. Två borrhölan har utförts i berggrunden under fyrarna inom Finngrundet, en i Östra banken (utförd 1970) och en i Västra banken (utförd 1972), se Figur 6.

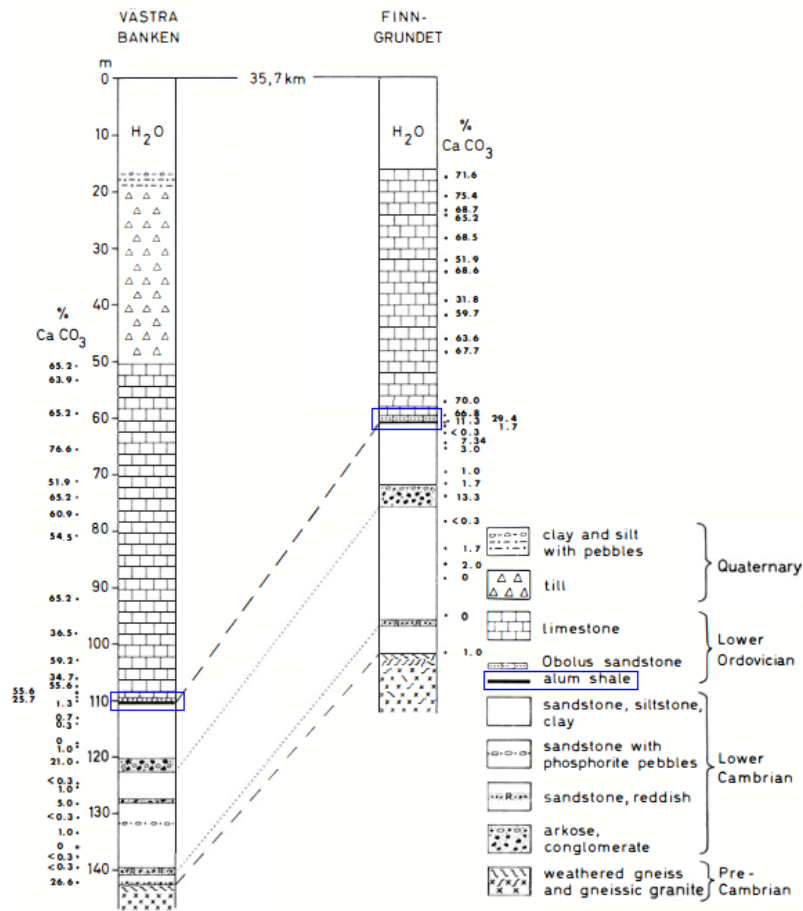
Resultaten från de utförda borrhölanorna i Finngrundet visar en stratigrafisk profil bestående av kvartär lera, silt och morän överst, följt av kalksten, sandsten och alunskiffer av äldre ordovicisk ålder, därefter sandsten, skiffer av äldre kambrisk ålder samt arkos, konglomerat och gnejs av prekambrisk ålder (Thorslund & Axberg, 1979), se Figur 7.



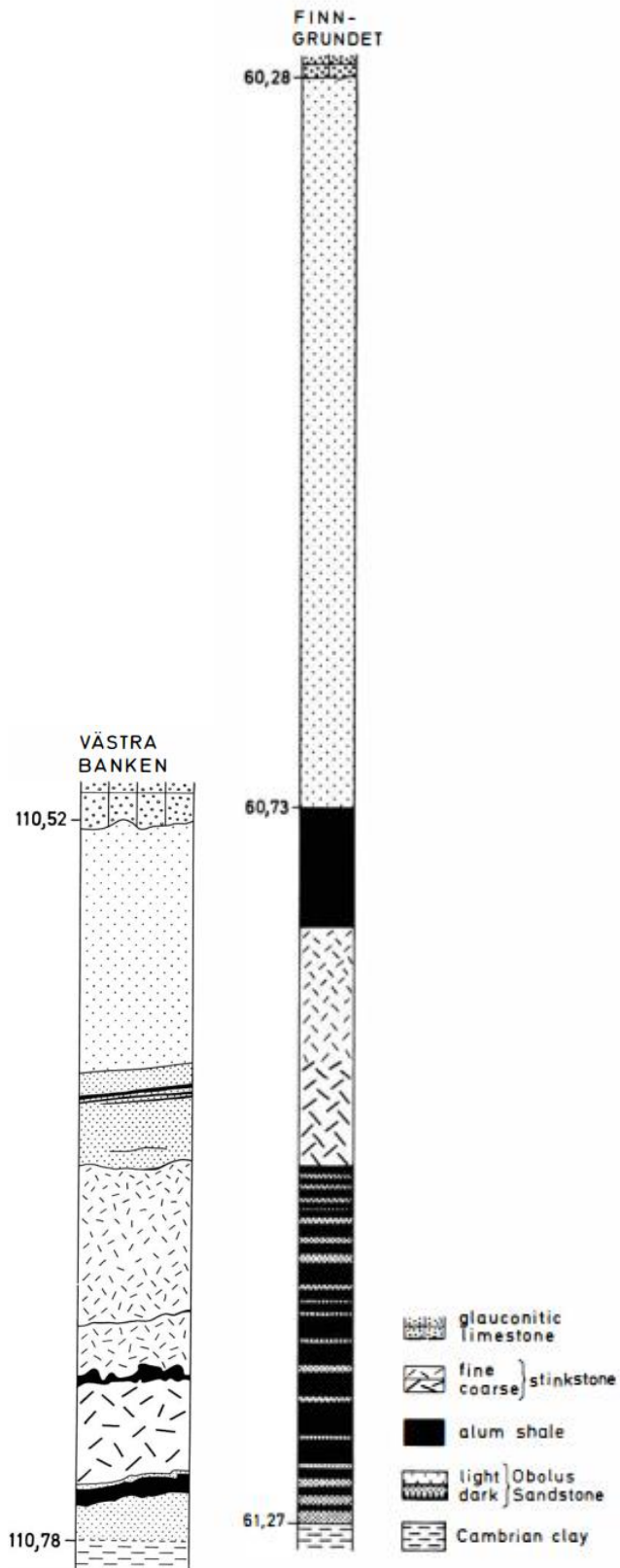
Figur 6. Övergripande beskrivning av placering av borrhölan, borrade under två fyrar. Figur modifierad efter Thorslund & Axberg (1979).

I både Västra och Östra banken förekommer alunskiffer av äldre ordovicisk ålder i stratigrafin, där alunskiffern i Östra banken har en mäktighet som är ungefär fem gånger större än inom Västra banken. Från Östra banken förekommer alunskiffer ställvis som skikt tillsammans med orsten i en sekvens med mäktighet på ca 1 m på ett djup på ca 60 m, se Figur 7. I Västra banken finns alunskiffern vid större djup på ca 110 m. Alunskiffern återfinns tillsammans med orsten mellan

den överlagrande ordoviciska kalkstenen och underlagras av kambriska sedimentära bergarter bestående av bland annat skiffer och sandsten (Thorslund & Axberg, 1979).



Figur 7. Stratigrafisk korrelation mellan Västra banken och Östra banken ("Finngrundet"). Alunskiffers förekomst är markerat med blått. Alum shale = Alunskiffer. (Thorslund & Axberg, 1979).



Figur 8. Detaljerade sektioner av alunskiffern tillhörande stratigrafien i Figur 7, från både Västra banken och Finngrundet (Östra banken). Siffror till vänster i sektionerna är i m. (Thorslund & Axberg, 1979).

2.4 Egenskaper i Södra Bottenhavet

I Södra Bottenhavet bedöms alunskiffern ha en låg eller ingen ekonomisk potential för skiffergas eftersom utförda borrhningar visar att alunskiffers mäktighet är maximalt 1 m och förekommer relativt ytnära (Erlström, 2014). Vidare är alunskiffern i Södra Bottenhavet bildad under förhållanden som gör att den klassas som omogen (mogenhetsgrad <0,55) och därmed saknar ekonomisk potential för olja (Erlström, 2014; SGU, u.å.).

Resultat från analys av kemiska data av borrhkärnan från Östra banken i Finngrundet Tabell 1 visar på relativt höga halter av molybden (Mb), koppar (Cu), bly (Pb), nickel (Ni), kobolt (Co), tenn (Sn), vanadin (V) och arsenik (As) jämfört med övriga bergarter i kärnan (Thorslund & Axberg, 1979).

Information om uran i alunskiffern i Finngrundet saknas i studien av Thorslund & Axberg(1979). Därmed bör eventuell förekomst av alunskiffer inom projektområdet antas ha hög uranhalt, baserat på alunskiffers generella egenskaper i Sverige enligt kapitel 2.2.

Tabell 1. Kemiska data från analyser vid olika djup i borrhkärna från Finngrundet, Östra banken. Grundämnen Ti till Mg anges i procent, medan grundämnen Mo till As anges i ppm. (Thorslund & Axberg, 1979)

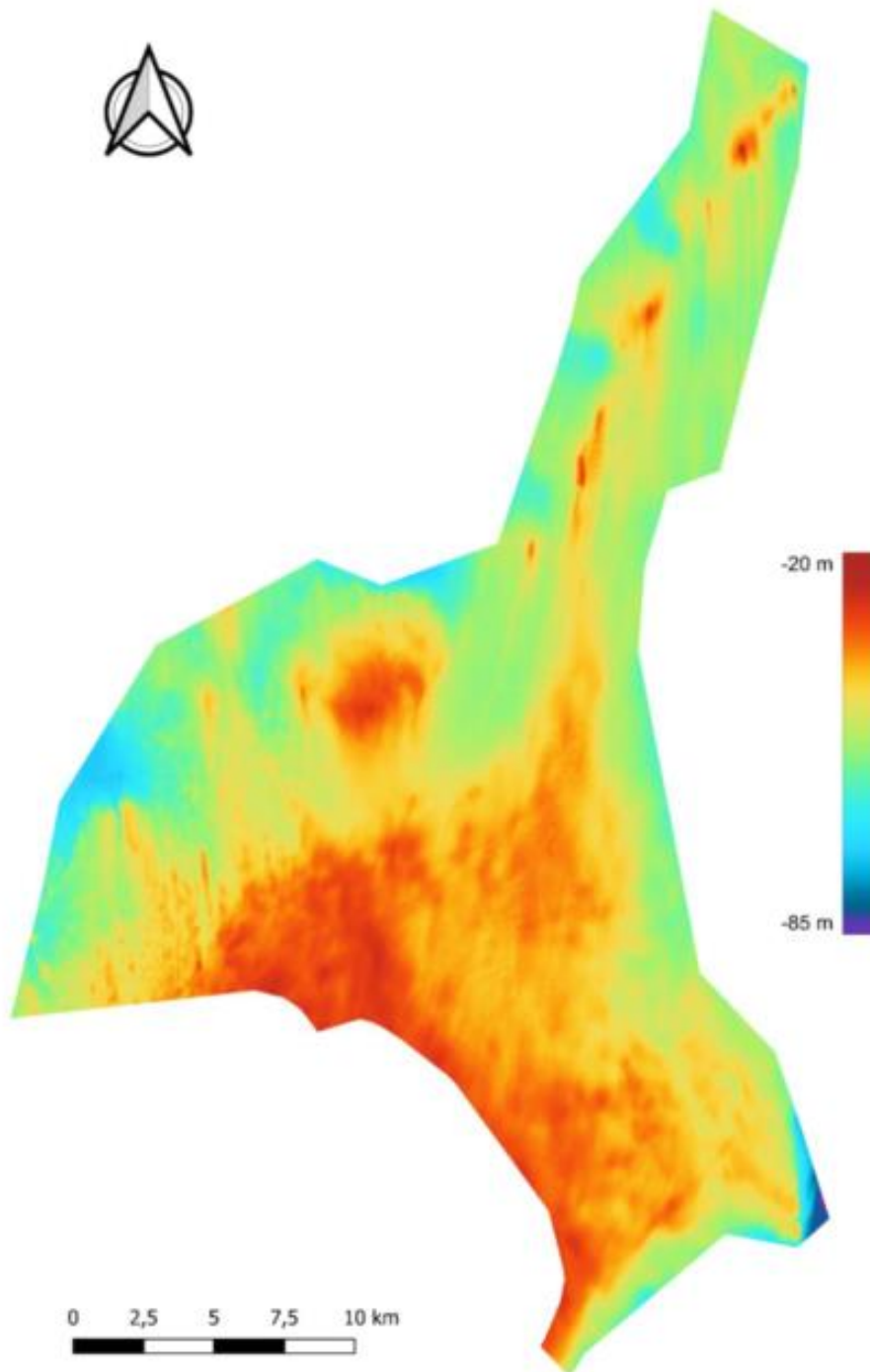
Metres below sea- level	Ti	Fe	Mn	Ca	Ba	Mg	Mo	Cu	Pb	Zn	Ag	Bi	Cr	Ni	Co	Sn	Be	V	W	Sr	As
17,76	0,71	3,0	0,11	47,3	0,02	1,3	6,3	7	14,3	86,4	1,9	3,3	46,9	16,3	13,4	5,7	2,0	132	52	652	—
20,75	0,64	3,0	0,11	>48	0,02	1,3	8,2	9	18,3	96,7	2,3	3,5	48,0	13,8	12,9	6,6	2,2	109	56	703	—
23,88	0,66	3,0	0,11	>48	0,02	1,3	7,9	6	12,4	43,0	1,9	3,3	47,7	14,8	13,0	5,3	2,0	112	49	698	—
28,23	0,67	2,9	0,10	>48	0,02	1,3	6,1	6	9,9	41,1	1,0	2,9	47,2	16,5	12,9	5,0	1,9	123	51	600	—
32,37	0,69	2,6	0,06	37,5	0,02	1,3	3,1	4	6,5	37,9	0,6	2,3	46,4	20,3	14,0	2,6	1,4	164	32	533	—
41,97	0,66	2,6	0,06	39,0	0,02	1,4	4,2	4	6,9	42,1	0,9	2,6	44,8	18,7	12,0	2,2	1,3	158	39	560	—
46,50	0,66	2,7	0,06	41,4	0,02	1,4	4,4	5	7,5	52,2	1,0	2,9	43,8	17,1	12,8	2,9	1,6	141	43	590	—
48,10	0,65	2,8	0,09	47,2	0,03	1,5	4,9	6	9,9	61,2	1,3	3,1	44,1	16,4	12,3	4,3	1,9	133	46	587	—
57,00	0,68	3,2	0,10	46,6	0,03	1,4	29,0	8	29,4	77,4	1,7	3,8	44,0	14,9	11,4	5,4	2,0	145	50	706	—
58,13	0,63	3,9	0,09	47,4	0,02	1,4	7,8	10	16,2	100,7	2,3	4,3	45,9	15,0	12,6	6,7	2,0	118	52	765	—
58,88	0,68	2,9	0,11	>48	0,02	1,4	6,8	14	13,9	91,3	2,1	3,4	48,3	13,6	16,5	6,1	2,1	135	53	715	—
61,22	0,74	2,9	0,20	43,1	0,02	0,5	>194	26	1706,2	87,0	5,0	6,8	74,0	137,3	37,4	13,8	0,7	1874	55	684	198
62,78	0,90	2,2	0,02	1,7	0,02	0,9	1,1	4	11,2	8,4	—	1,4	76,1	26,6	14,0	0,6	1,5	329	16	124	37
64,47	1,43	2,1	0,10	26,7	0,03	0,8	3,1	5	16,1	30,3	0,2	1,9	104,6	17,0	12,2	1,3	2,4	264	50	274	1
65,65	1,02	2,5	0,03	4,5	0,02	1,0	1,2	5	8,3	15,9	—	1,5	75,6	25,3	14,6	0,7	1,8	313	21	166	24
67,57	1,00	3,0	0,02	1,6	0,02	1,1	0,9	5	9,9	13,9	—	1,8	78,5	28,7	16,7	0,8	1,7	334	19	157	37
69,85	1,02	3,5	0,02	2,9	0,02	1,1	1,0	5	12,6	14,7	—	2,1	73,9	30,1	21,5	0,7	1,8	291	19	167	58
73,65	0,76	2,5	0,21	45,0	0,03	0,8	4,4	7	12,7	46,2	1,1	2,6	77,4	11,1	14,8	3,6	2,6	188	45	375	94
78,10	0,92	3,1	0,01	0,5	0,02	0,9	1,1	6	12,0	14,2	—	1,5	74,7	27,3	16,0	0,8	1,6	340	16	136	39
83,20	1,04	3,4	0,02	2,8	0,02	0,9	2,0	10	21,6	12,1	—	1,6	70,0	25,9	13,8	0,8	2,0	340	20	221	64
86,50	0,86	3,0	0,01	0,5	0,02	0,9	1,1	5	17,6	13,1	—	1,6	72,5	25,9	11,8	0,7	1,9	368	14	132	13
88,12	0,95	3,8	0,01	3,5	0,02	1,0	7,3	10	51,5	12,4	—	1,7	76,2	36,9	15,6	1,1	1,8	326	20	204	57
95,00	1,03	3,2	0,01	0,5	0,02	1,1	0,9	4	6,9	18,8	—	1,5	82,5	34,7	13,9	1,0	1,6	427	20	143	5
101,80	1,28	2,2	0,01	3,0	0,02	0,9	1,0	8	9,0	13,8	—	1,6	72,8	23,4	14,0	0,9	3,3	317	22	110	24

2.5 Förekomst i projektområdet

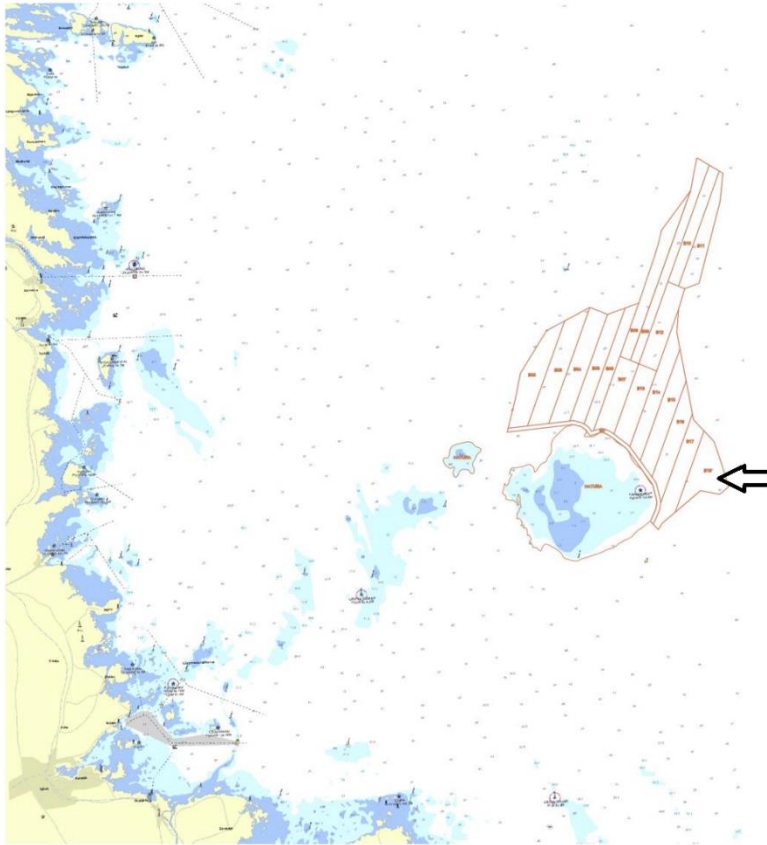
En havsgeofysisk undersökning har genomförts av Clinton Marine Survey under 2022 för att undersöka förekomst av alunskiffer inom projektområdet (Bilaga M7 till MKB:n). Undersökningen använde sig av multibeam echo sounder (MBES), Backscatter (BCS) och Sub Bottom Profiling (SBP) för att försöka identifiera eventuell ytnära alunskiffer. Utgångspunkten var att, eftersom batymetrin stupar åt öster, kan den djupare belägna alunskiffern ha eroderats fram och därmed kunna vara belägen överst i berggrundens stratigrafi, se Figur 9. I synnerhet var block 18 lägst i öster av intresse, se Figur 10. På grund av hårda glaciala sediment kunde signalen i den geofysiska undersökningen dock inte penetrera djupt nog ner i det glaciala sedimentet eller i den sedimentära berggrunden, vilket gjort resultaten från undersökningen oklara (Bilaga M7 till MKB:n).

Inom projektområdet har inga andra undersökningar hittats som berör berggrundens stratigrafi. Dock tillhör den sedimentära berggrunden inom projektområdet samma litologiska enhet som de

vid Finngrundet, vilka beskrivits under kapitel 2.3 och 2.4 (se även Figur 3), och det bedöms sannolikt att de geologiska förutsättningarna i projektområdet kommer vara liknande för Finngrundet. Detta innebär vidare att det är sannolikt att alunskiffer förekommer i den sedimentära berggrunden under Fyrskippets projektområde. Alunskiffern bör således vara belägen på mellan 60 och 110 m djup, men kan även vara belägen högre upp i stratigrafin.



Figur 9. Batymetrisk karta som anger bottendjupet i Fyrskippets undersökningsområde (Bilaga M6 till MKB:n).



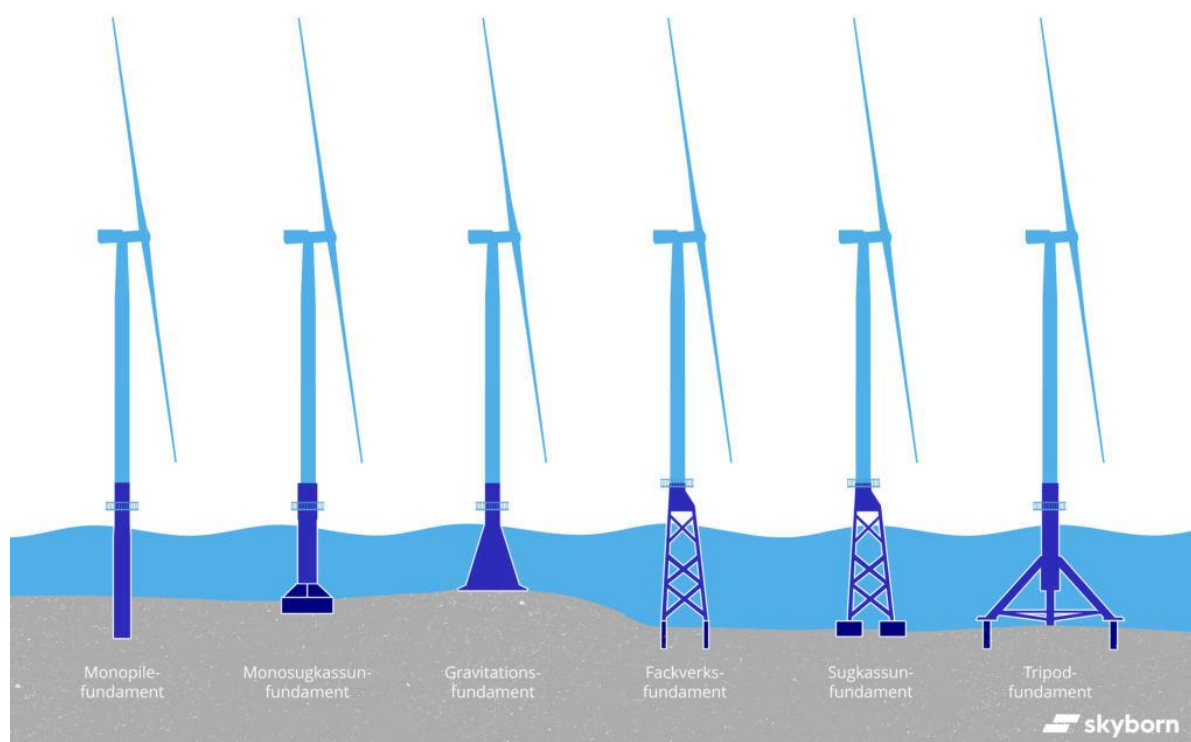
Figur 10. Projektområdet undersökt med havsgeofysik av Clinton Marine Survey (Bilaga M7 till MKB:n). Undersökningsområdet är indelat i block (röda i figuren) och pilen visar läge av block 18.

2.6 Egenskaper i projektområdet

Ingen borrhning har utförts inom Fyrskäppets projektområde, vilket medför att ingen platsspecifik information finns om alunskiffers egenskaper. Dock bedöms det sannolikt att alunskiffers egenskaper inom projektområdet kommer likna de för det närliggande området Finngrundet, vilket beskrivs under kapitel 2.4.

3. Tekniska förutsättningar

Information till de tekniska förutsättningarna har inhämtats från den tekniska beskrivningen till ansökan. Inom vindkraftparken Fyrskeppet planeras det att anläggas mellan 93 och 187 vindkraftverk och maximalt fyra transformatorstationer eller omriktarstationer. Dessa stationer och vindkraftverk kommer att förankras till havsbotten med fundament. Bottendjupet inom projektområdet varierar mellan 25–82 m, med ett medeldjup på ca 45 m. De fundamentalternativ som övervägs för vindkraftverken visas i Figur 11 samt i Tabell 2 tillsammans med den maximala diametern för de olika benen och det maximala inbäddningsdjupet.



Figur 11. Översikt över fundamenttyper som studeras för vindkraftparken Fyrskeppet.

Tabell 2. Fundamentstyp tillsammans med maximal diameter, antal ben samt inbäddningsdjup i havsbotten.

Fundamentstyp	Max. diameter	Max. ben	Max. inbäddningsdjup
Monopilefundament	15 m	1 ben	60 m
Monsugkassunfundament	40 m	1 ben	25 m
Gravitationsfundament	48 m	1 ben	1-5 m
Fackverksfundament	5,5 m x 4 pålar/ben	4-8 ben	70 m
Sugkassunfundament	30 m	4-8 ben	25 m
Tripodfundament	5,5 m	3 ben	70 m

Internkabelnätet samt redundanskablar kommer att ansluta de olika vindkraftverken till stationerna inom vindkraftparken för överföring av el. Längden för dessa kablar är ca 450 km respektive ca 75 km och har ett inbäddningsdjup på ca 0-3 m under havsbotten.

Under förutsättning att stratigrafin ser likadan ut inom den planerade vindkraftparken som inom Finngrundet vid Östra banken kommer alunskiffern på ca 60 m djup under havsbotten inte

påträffas vid anläggningen av monsugkassunfundament, gravitationsfundament och sugkassunfundament samt vid anläggning av de olika kablarna på grund av deras grunda inbäddningsdjup. I övrigt skulle alunskiffern kunna påträffas om de resterande fundamenten (monopilefundament, fackverksfundament och tripodfundament) anläggs på sina maximala inbäddningsdjup. Sannolikt kommer dock de stora djupen för inbäddning av fundamenten inte uppnås då ett grundare inbäddningsdjup, med hänsyn till bottenbeskaffenhet, kan vara tillräcklig i många fall inom projektområdet.

Det är endast om fundamenten behöver förankras genom borrning för pålarna ner i berggrunden som borrhax, det vill säga massor från borrningen, kommer uppkomma. Om förankringen istället sker genom att påla ner de pålar som förankrar fundamenten till havsbotten, kommer inga massor att uppstå då tekniken innebär att pålen tränger undan materialet den tar sig igenom. I första hand kommer drivning av pålar bli aktuellt, då borrning är en mer tidskrävande metod samt att borrning av pålar normalt sett inte är den mest lämpliga metoden.

Alunskiffern i Finngrundet vid Östra banken har en mäktighet om ca 1 m. Tabell 3 redovisar den beräknade volymen av alunskiffer per fundamentstyp i Fyrskippets projektområde. Beräkningarna i tabellen utgår från en mäktighet om ca 1 m samt att hela vindkraftparken skulle anläggas med fundament med ett maximalt inbäddningsdjup. Som beskrivet ovan är det dock osannolikt att dessa maximala volymer kommer att realiseras då inbäddningsdjupet sannolikt kan reduceras med hänsyn till havsbottens egenskaper.

Tabell 3. Fundamentstyp tillsammans volymer av alunskiffer per fundament och totalt i vindkraftparken.

Fundamentstyp	Volym alunskiffer per fundament	Totala volymen alunskiffer i vindkraftparken	Procent av den totala volymen massor
Monopilefundament	177 m ³	Ca 33 050 m ³	Ca 1,6 %
Fackverksfundament	760 m ³	Ca 142 170 m ³	Ca 1,4 %
Tripodfundament	71 m ³	Ca 13 330 m ³	Ca 1,4 %

Inför anläggningen och detaljprojekteringen av vindkraftparken kommer vidare undersökningar av eventuell förekomst av alunskiffern att utföras genom exempelvis sonderingsborrningar på de platser där fundament kommer att anläggas.

4. Masshantering och skyddsåtgärder

Genom detaljprojekteringen kommer det vid anläggande av fundament finnas mer kunskap om och var det förekommer alunskiffer. Därmed kommer, om det blir aktuellt med hantering av massor innehållande alunskiffer, tekniska system och rutiner vara nödvändigt att ta fram i samband med detaljprojekteringen för att förhindra spridning av farliga ämnen som kan medföra negativa risker för människors hälsa och miljön. Om borring i skikt av alunskiffer blir aktuellt kommer en metod väljas som möjliggör uppsamling av borrhax/avfall, samt minimerar spridning till omgivande vatten. Avfallet ska samlas upp i en tät/täckt behållare för att minimera avrinning under transport och eventuell spridning till luft. Avfallet ska så långt som möjligt hindras från att blandas eller spädas ut med övrigt borrhax från omgivande berglager.

Eventuell avvattning som krävs för att kunna hantera massorna föreslås utföras direkt på pråm. Lakvatten samlas upp och renas med bästa möjliga teknik till en nivå som möjliggör att vattnet kan återföras till havet utan risk för akvatiskt liv. Alternativ eller komplement till avvattning kan vara att massorna stabiliseras med bindemedel.

Uppsamlade massor transporteras därefter till mottagarhamn för vidare hantering. Massor av alunskiffer bedöms i aktuellt fall utgöras av avfall. Utvinning av metaller och mineraler ur alunskiffern bedöms inte vara motiverat med avseende på att mängden är begränsad. Alunskiffers förväntade innehåll av farliga ämnen medför att dumpning av massor till havs inte är möjligt utan att riskera negativa effekter på akvatiskt liv.

Eventuellt avfall av alunskiffer bör köras till en mottagningsanläggning för behandling, deponering alternativt destruktion. Alunskiffers kemiska egenskaper avgör vilken hantering som är möjlig. En grundläggande karakterisering av avfall innehållande alunskiffer behöver utföras inför eventuell hantering där bland annat totalhaltsinnehåll och lakeegenskaper fastställs. Faktorer som kan påverka hanteringen är metallinnehåll och uraninnehåll, förekomst av organiskt material, samt innehåll av sulfidmineral och svavellösningar.

Metallinnehåll avgör bland annat om avfallet kan deponeras som icke-farligt avfall eller utgör farligt avfall. Organiskt innehåll påverkar huruvida avfallet är möjligt att deponera eller om avfallet behöver förbrännas innan det kan deponeras. Vid innehåll av sulfidmineral kan avfallet oxidera vilket kan medföra ökad urlakning av skadliga ämnen. Avfallet bör förvaras i en så syrefri miljö som möjligt (till exempel genom att behållare packas tätt) och snabbt köras till en mottagningsanläggning. För att få deponera avfallet kan det behöva behandlas med kemisk stabilisering alternativt deponeras under syreducerande förhållanden, till exempel genom att avfallet täcks med ett tätslutande skikt, vanligt vatten eller jord, för att undvika reaktion med syre (Frogner-Kockum et al., 2015; Ingri, 2012). FYOAB kommer följa de särskilda regleringar för verksamheter som hanterar uran och andra radioaktiva element. I Strålskyddsmyndighetens föreskrifter om naturligt förekommande radioaktivt material och byggnadsmaterial *SSMFS 2018:4* (2018) förekommer bestämmelser vid hantering av naturligt förekommande radioaktivt material, s.k. *NORM: naturligt förekommande radioaktivt material med aktivitetskoncentrationer som är högst 10 kBq/kg TS per radionuklid i uran- och toriumserierna och högst 100 kBq/kg TS för kalium-40, får läggas på en deponi utan att hänsyn behöver tas till materialets radioaktiva egenskaper.*

Sammantaget bedöms miljökonsekvenser från eventuell masshantering av alunskiffer bli försumbara förutsatt att den hantering och de skyddsåtgärder som föreslagits följs. Om fortsatt undersökning av berggrunden påvisar förutsättningar som avviker från den beskrivning som ges i föreliggande skrivbordsstudie kan en ny bedömning krävas. Förändrade förutsättningar kan till

exempel vara att alunskiffers innehåll avviker stort från vad som framgår av den generella beskrivningen av alunskiffer i Sverige eller vid referensområde Finngrundet.

5. Sammanfattning

Baserat på denna skrivbordsstudie görs bedömningen att stratigrafin sannolikt ser liknande ut inom Fyrskippets projektområde som inom Finngrundet i Södra Bottenhavet. Det innebär att alunskiffer kan finnas mellan en överliggande kalksten (ordovicisk) och en underliggande kambrisk sandsten och skiffer. Mäktigheten av alunskiffer är ringa, upp till ca 1 m, och förväntas förekomma på ca 60 m djup under havsbotten. Eftersom batymetrien varierar i området kan dock djupet till skiktet där alunskiffen finns, vara både mer ytnära och djupare ned.

Under förutsättning att alunskiffen finns på 60 m djup kommer den bara att påträffas om borrning för pålar sker på större djup än så. Enligt den tekniska beskrivningen är det endast monopilefundament, fackverksfundament och tripodfundament som skulle kunna anläggas på så stora djup under havsbotten. Det vill säga att övriga konstruktioner, inklusive kabelförläggningen, inte kommer nå till så stora djup att alunskiffen då påträffas. Alunskiffen kommer endast att exponeras och tas upp om pålar för nämnda fundamentstyper behöver borraras ner. Om pålarna pålas ned kommer de tränga undan materialet de tar sig igenom och någon alunskiffer kommer inte upp till ytan. I första hand kommer drivning av pålar bli aktuellt, då borrning är en mer tidskrävande metod. Dessutom behöver sannolikt pålarna inte pålas så djupt som till 60 m under markytan, då ett grundare djup kan räcka i många fall med hänsyn till bottenbeskaffenheten, vilket innebär att pålarna inte når ner till den nivå där alunskiffer kan förväntas förekomma.

Inom Fyrskippet projektområde har hittills ingen borrning i berggrunden utförts, vilket gör att alunskiffers förekomst i berggrunden inom projektområdets inte har fastställts. I det fall grundläggningsmetoder som medför djup borrning blir aktuellt kommer berggrunden att undersökas. Vid anläggningsarbetenas utförande kommer då tillräcklig kunskap att finnas om alunskiffers förekomst så att dessa massor vid behov kan hanteras separat.

Tekniska system och rutiner kommer vid anläggningen att finnas på plats för att förhindra spridning av farliga ämnen som kan medföra negativa risker för människors hälsa och miljön. Detta innebär att vid borrning i skikt av alunskiffer kommer en metod väljas som möjliggör uppsamling av borrhax/avfall, så att spill till omgivande vatten minimeras. Massor innehållande alunskiffer planeras inte att dumpas utan transporteras till en mottagningsanläggning för behandling, deponering alternativt destruktion. Alunskiffers kemiska egenskaper avgör vilken hantering som är tillämplig. Faktorer som kan påverka hanteringen är metallinnehåll och uraninnehåll, förekomst av organiskt material, samt innehåll av sulfidmineral och svavellösningar.

Sammantaget bedöms miljökonsekvenser från eventuell masshantering av alunskiffer bli försumbara förutsatt att den hantering och de skyddsåtgärder som föreslagits följs. I de fall undersökningen av förekomst av alunskiffer visar förändrade förutsättningar, som att alunskiffers innehåll avviker från vad som framgått av denna skrivbordsstudie, kan en ny bedömning behöva utföras.

6. Referenser

- Andersson, A., Dahlman, B., Gee, G. D., & Snäll, S. (1985). *The Scandinavian alum shales*. Sveriges Geologiska Undersökning.
<https://paleoarchive.com/literature/Anderssonetal1985-ScandinavianAlumShales.pdf>
- Axberg, S. (1980). *Seismic stratigraphy and bedrock geology of the Bothnian sea, Northern Baltic*. Stockholm Contributions in Geology.
- Erlström, M. (2014). *Skiffergas och biogen gas i alunskiffern i Sverige, förekomst och geologiska förutsättningar – en översikt* (SGU-rapport 2014:19). Sveriges geologiska undersökning.
<https://resource.sgu.se/produkter/sgurapp/s1419-rapport.pdf>
- Clinton Marine Survey AB. (2023a). *Fyrskippet Offshore AB - Bilaga M6 till MKB:n: Sammanfattande PM, Geofysisk sjömätning*. Fyrskippet Offshore AB.
- Clinton Marine Survey AB. (2023b). *Fyrskippet Offshore AB - Bilaga M7 till MKB:n: Alum shale report*. Fyrskippet Offshore AB.
- Frogner-Kockum, P., Looents, K. & Lindgren, Å. (2015). Handbok för hantering av sulfidförande bergarter. Trafikverket. <https://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1364275/FULLTEXT01.pdf>
- Fyrskippet Offshore AB [FYOAB]. (2023.a). *Fyrskippet Offshore - Bilaga B: Miljökonsekvensbeskrivning*.
- Fyrskippet Offshore AB [FYOAB]. (2023.b). *Fyrskippet Offshore - Bilaga C: Teknisk beskrivning*.
- Havs- och vattenmyndigheten [HaV]. (12 februari 2014). *Oljeutsläpp*.
<https://www.havochvatten.se/miljopaverkan-och-atgarder/miljopaverkan/fororeningar-och-farliga-amnen/oljeutslapp.html>
- Havs- och vattenmyndigheten [HaV]. (2018). *Muddring och hantering av muddermassor - Vägledning och kunskapsunderlag för tillämpningen av 11 och 15 kap. miljöbalken* (Havs- och vattenmyndighetens rapport 2018:19). Havs- och vattenmyndigheten.
<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1371104/FULLTEXT01.pdf>
- Ingri, J. (2012). *Från berg till hav* (Upplaga 1:2). Studentlitteratur AB.
- Jelinek, C. & Eliasson, T. (2015). *Strålning från bergmaterial* (SGU-rapport 2015:34). Sveriges geologiska underökning. <https://resource.sgu.se/produkter/sgurapp/s1534-rapport.pdf>
- Karlsson, M., Kraufvelin, P., & Östman, Ö. (2020). *Kunskapssammanställning om effekter på fisk och skaldjur av muddring och dumpning i akvatiska miljöer - En syntes av grumlingens dos och varaktighet* (Aqua reports 2020:1). Sveriges lantbruksuniversitet.
https://www.slu.se/globalassets/ew/org/inst/aqua/externwebb/sidan-publikationer/aqua-reports-xxxx_xx/aquarapporter/2020/grumling-ostman_aqua-report-2020-final.pdf
- Lecomte, A., Cathelineau, M., Michels, R., Peiffert, C., & Brouand, M. (2017). *Uranium mineralization in the Alum Shale Formation (Sweden): Evolution of a U-rich marine black shale from sedimentation to metamorphism*. Ore Geology Reviews.

- Naturvårdsverket. (2023a). *Masshantering och användning av massor för anläggningsändamål - Undersökning av avfallets innehåll och egenskaper.*
<https://www.naturvardsverket.se/4acc5d/globalassets/vagledning/avfall-och-kretslopp/atervinning-av-avfall-anlaggningsarbeten/undersokning-avfallets-innehall-och-egenskaper-version-3.pdf>
- Naturvårdsverket. (21 december 2023b). *Vägledning - Masshantering och användning av massor i anläggningsarbete.* <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/avfall/atervinning-av-avfall-i-anlaggningsarbeten/#E54454848>
- Naturvårdsverket. (13 september 2023c). *Förorenade områden - ett problem för miljö och hälsa*
[Förorenade områden - ett problem för miljö och hälsa \(naturvardsverket.se\)](https://www.naturvardsverket.se/foro-renade-omraden-ett-problem-for-miljo-och-halsa)
- Paulamäki, S., Kuivamäki, A. (2006). *Depositional History and Tectonic Regimes within and in the Margins of the Fennoscandian Shield During the last 1300 Million years.* Geological Survey of Finland.
<https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/43/061/43061185.pdf>
- Strålskyddsmyndigheten. (2018). *Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om naturligt förekommande radioaktivt material och byggnadsmaterial.* Ulf Yngvesson.
<https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/21d0d48c405a434eb027b8f42734ced7/ssmfs-20184-stralsakerhetsmyndighetens-foreskrifter-om-naturligt-forekommande-radioaktivt-material-och-byggnadsmaterial.pdf>
- Sveriges geologiska undersökning [SGU]. (1 december 2020a). *Alunskiffer.*
<https://www.sgu.se/mineralnaring/gruvor-och-miljopaverkan/alunskiffer/>
- Sveriges geologiska undersökning [SGU]. (3 november 2020b). *Strålning från bergmaterial.*
<https://www.sgu.se/samhallsplanering/bergmaterial-for-byggande/hallbar-materialforsorjning/stralning-fran-bergmaterial/>
- Sveriges geologiska undersökning [SGU]. (u.å). *Skiffergas.*
<https://www.sgu.se/samhallsplanering/energi/skiffergas/>
- Sveriges Offentliga Utredningar [SOU]. (2020). *Utvinning ur alunskiffer, Kunskapssammanställning om miljörisker och förslag till skärpning av regelverket* (SOU 2020:71).
<https://www.regeringen.se/contentassets/f8c862904cf7495abf82648fa923bb87/utvinning-ur-alunskiffer-sou202071.pdf>
- Thorslund, P., & Axberg, S. (1979). *Geology of the southern Bothnian Sea. Part I.* Bulletin of the Geological Institutions of the University of Uppsala.
- Tjernvik, T., & Johansson, J. (1979). *Description of the upper portion of the drill-core from Finngrundet in the South Bothnian Bay.* Bulletin of the Geological Institutions of the University of Uppsala.