

MARINGEOLOGISK BESKRIVNING

NAJADERNA VINDKRAFTPARK



2023-10-25

Maringeologisk beskrivning

Najaderna Vindkraftpark

Uppdragsnamn	Najaderna Vindkraftpark
Uppdragsnummer	10351971
Författare	Kim Teilmann
Datum	2023-10-25
Ändringsdatum	
Granskad av	Bo Bergman
Godkänd av	Saskia Eriksson

KUND

Najaderna Offshore AB

KONSULT

WSP

Box 574

201 25 Malmö

Besök: Jungmansgatan 10

Tel: +46 10-722 50 00

WSP Sverige AB

Org nr: 556057-4880

wsp.com

KONTAKTPERSONER

Måns Larsson, Projektledare, Najaderna Offshore AB

mans.larsson@eolusvind.com

Kim Teilmann, Utredare, WSP

kim.teilmann@wsp.com

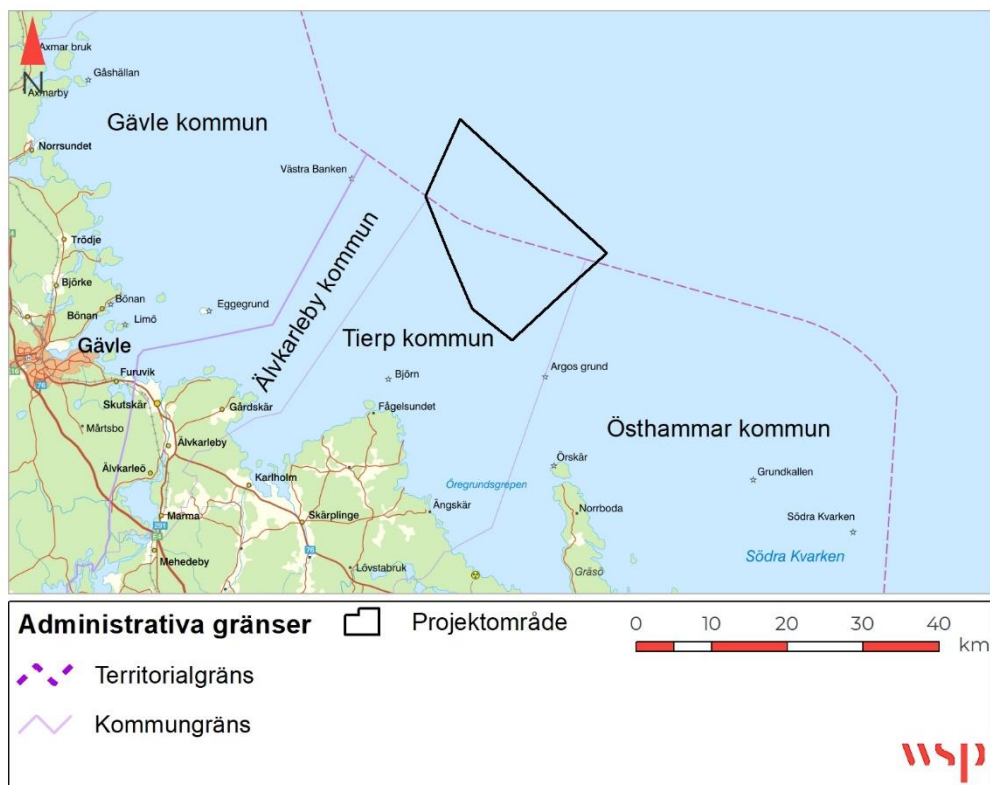
INNEHÅLL

1	BAKGRUND	4
2	GIS-UNDERLAG	5
3	UTFÖRDA GEOLOGISKA UNDERSÖKNINGAR	5
4	MARINGEOLOGISK BESKRIVNING	7
4.1	BATYMETRI	7
4.2	BERGGRUND	8
4.2.1	Översiktlig berggrundsbeskrivning	8
4.2.2	Jotnisk sandsten – Gävlesandstenen (cirka 1300–1200 Ma)	13
4.2.3	Kambriska bergarter (cirka 570–510 Ma)	13
4.2.4	Ordovicisk kalksten (cirka 510–437 Ma)	15
4.3	JORDLAGER	16
4.3.1	Morän	17
4.3.2	Glacial lera	18
4.3.3	Postglacial lera	18
4.3.4	Postglacial finsand	18
4.4	TYPOMRÅDEN INOM PROJEKTOMRÅDET	19
4.4.1	Typområde A	19
4.4.2	Typområde B	20
4.4.3	Typområde C	20
4.4.4	Typområde D	20
4.4.5	Typområdessektioner	21
5	GEOTEKNISKA FÖRUTSÄTTNINGAR	22
5.1	BÄRIGHET OCH GRÄVBARHET	22
6	SAMMANFATTNING	22
7	REFERENSER	23

1 BAKGRUND

Najaderna Offshore AB (fortsättningsvis Najaderna Offshore), ett dotterbolag till Eolus Vind AB, avser att ansöka om tillstånd enligt bland annat miljöbalken och lagen (1992:1140) om Sveriges ekonomiska zon för etablering, drift och avveckling av en havsbaserad vindkraftpark, Najaderna vindkraftpark (fortsättningsvis Najaderna). Den planerade vindkraftparken är belägen i Bottenhavet, delvis inom svenskt territorialvatten i Tierps kommun i Uppsala län samt delvis i svensk ekonomisk zon (SEZ). Projektområdet för vindkraftparken ligger som närmast ca 14 km nordöst om Björns Skärgård inom Tierps kommun och ca 45 km öster om Gävle och omfattar en yta av ca 350 km² (Figur 1). Najaderna kommer maximalt att omfatta 67 vindkraftverk, med en totalhöjd på maximalt 365 meter.

På uppdrag av Najaderna Offshore har WSP sammanställt en rapport vars syfte är att beskriva geologin inom projektområdet båda i plan och på djupet för att få ett bättre underlag för planering av eventuella undersökningar och anläggande av Najaderna vindkraftspark.



Figur 1. Avgränsning av projektområdet för Najaderna vindkraftspark

2 GIS-UNDERLAG

Förkortningen GIS står för geografiska informationssystem som är ett system som kan hantera och redovisa geografiskt refererad information. Som underlag till denna geologiska beskrivning har det ingått ett antal olika GIS-underlag som här beskrivs kort.

För beskrivning av bottenpografin har den kontinuerliga djupdatamodellen *Baltic Sea Bathymetry Database* med cell-storlek 500 meter, tillgängliggjort av The Helsinki Commision (HELCOM), använts. För validering av djupdatamodellen har jämförelse gjorts med Sjöfartsverkets e-sjökort för Södra Bottenhavet (SE53).

För bedömning av ytjordarternas utbredning har den geologiska databasen över prekvartär geologi (Pre-Quaternary Geology), tillgängliggjord av The European Marine Observation and Data Network (EMODnet), använts. Databasen är en sammanställning av data från ett stort antal organisationer inom EU och datan i projektområdet har levererats av SGU. Inom hela projektområdet har databasen enligt produktbeskrivningen täckning i skala 1:750 000, dock stämmer databasen helt överens med SGU:s maringeologiska karta över Södra Bottenhavet (K 541), som redovisas i skala 1:500 000. Inom en begränsad del är databasens täckning i skala 1:50 000.

För bedömning av ytbergarternas utbredning har GIS-underlag från SGU utvisande berggrunden i skala 1:1 000 000 använts. Underlaget har jämförts med ett antal vetenskapliga artiklar och med berggrundskartan tillhörande SGU:s publikation *Den svenska kontinentalsockelns berggrund*, som även den är i skala 1:1 000 000.

Det använda GIS-underlaget sammanställs i Tabell 1.

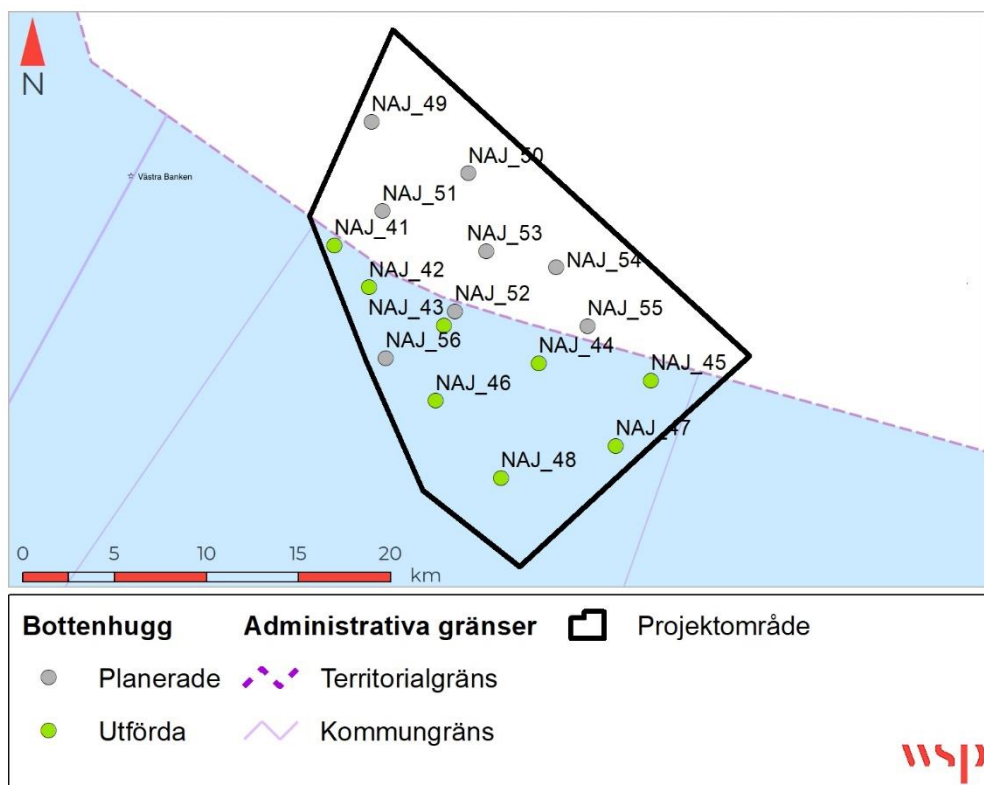
Tabell 1. GIS-underlag

Underlag	Källa	Underlagstyp	Upplösning/skala
Baltic Sea Bathymetry Database	HELCOM	Djupdatamodell, rasterdata	Grid-storlek 500m
Sjökort SE53 (Södra Bottenhavet)	Sjöfartsverket	Punktviss djupdata, vektordata	
Kvartärgeologi	EMODnet/SGU	Ytjordarternas utbredning, vektordata	1:750 000/1:50 000
Berggrund	SGU	Ytbergarternas utbredning, vektordata	1:1 000 000

3 UTFÖRDA GEOLOGISKA UNDERSÖKNINGAR

Najaderna Offshore har låtit utföra provtagning med bottenhugg inom södra delen av projektområdet under juni månad 2023 (provpunkt NAJ_41 till NAJ_48). Det planeras för ytterligare bottenhugg, främst utanför territorialgränsen (provpunkt NAJ_49 till NAJ_56). Provpunkternas placering framgår av Figur 2.

Vid bottenhuggen utförda juni 2023 togs prov av de översta 15 centimeter av jordlagren. Proven analyseras på laboratorium avseende kornstorleksfördelning. Analysresultaten från siktanalyser utförda på bottenhuggsprov från junikampanjen redovisas i Tabell 2. På grund av hård botten kunde inget prov tas vid provpunkt NAJ_44.



Figur 2. Utförda och planerade bottenhuggsundersökningar.

Tabell 2. Jordartsbeskrivning för bottenhuggprov utförda juni 2023. Se Figur 2 för provpunkternas läge.

Provpunkt	Jordartsbeskrivning
NAJ_41	Något sulfidhaltig sandig lerig silt
NAJ_42	Något sulfidhaltig sandig lerig silt
NAJ_43	Lera
NAJ_44	Hård botten, inget prov taget
NAJ_45	Något sulfidhaltig lerig sand
NAJ_46	Något sulfidhaltig sandig lerig silt
NAJ_47	Sandig lera med skalrester
NAJ_48	Något sulfidhaltig lera

4 MARINGEOLOGISK BESKRIVNING

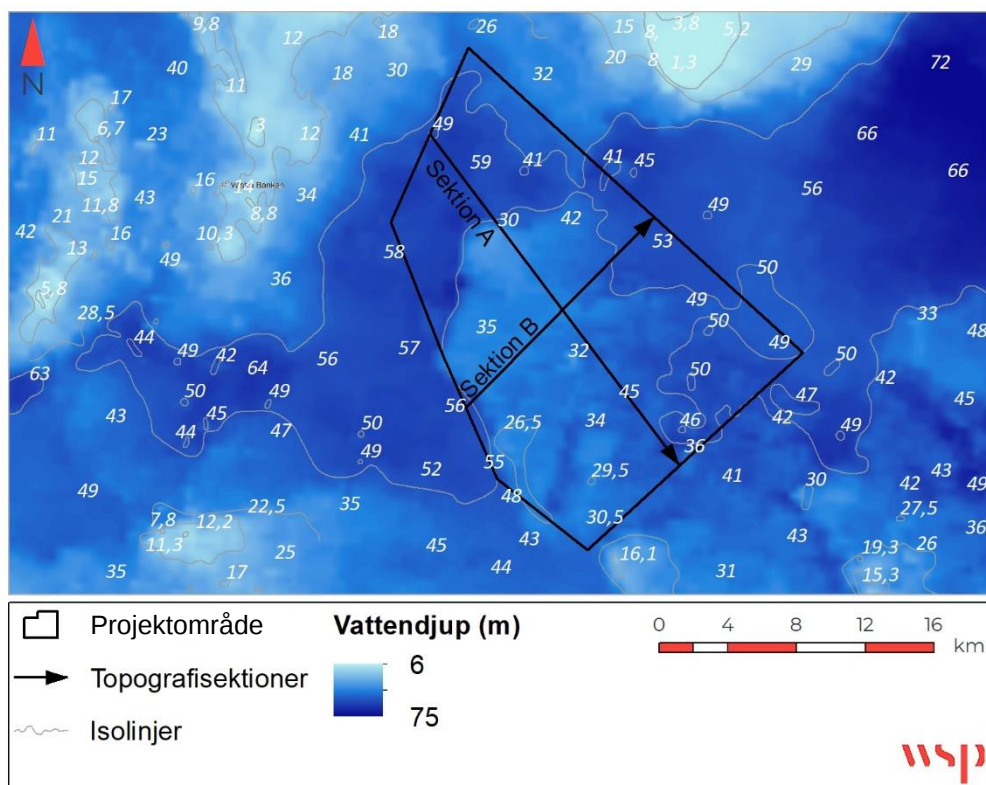
4.1 BATYMETRI

Befintligt underlag för bedömning av batymetrin utgörs av sjökort SE53 bestående av djupbestämda punkter och isolinjer (vattendjupskonturer), samt av den heltäckande djupdatamodellen *The Baltic Sea Bathymetry Database* med en grid-storlek på 500 meter. Med upplösningen i datadjupmodellen uppstår platsvis en viss differens mellan punkter med känt verkligt djup från sjökortet. Djupdatamodellen ger dock en bra överblick över vattendjupsförhållandena inom projektområdet.

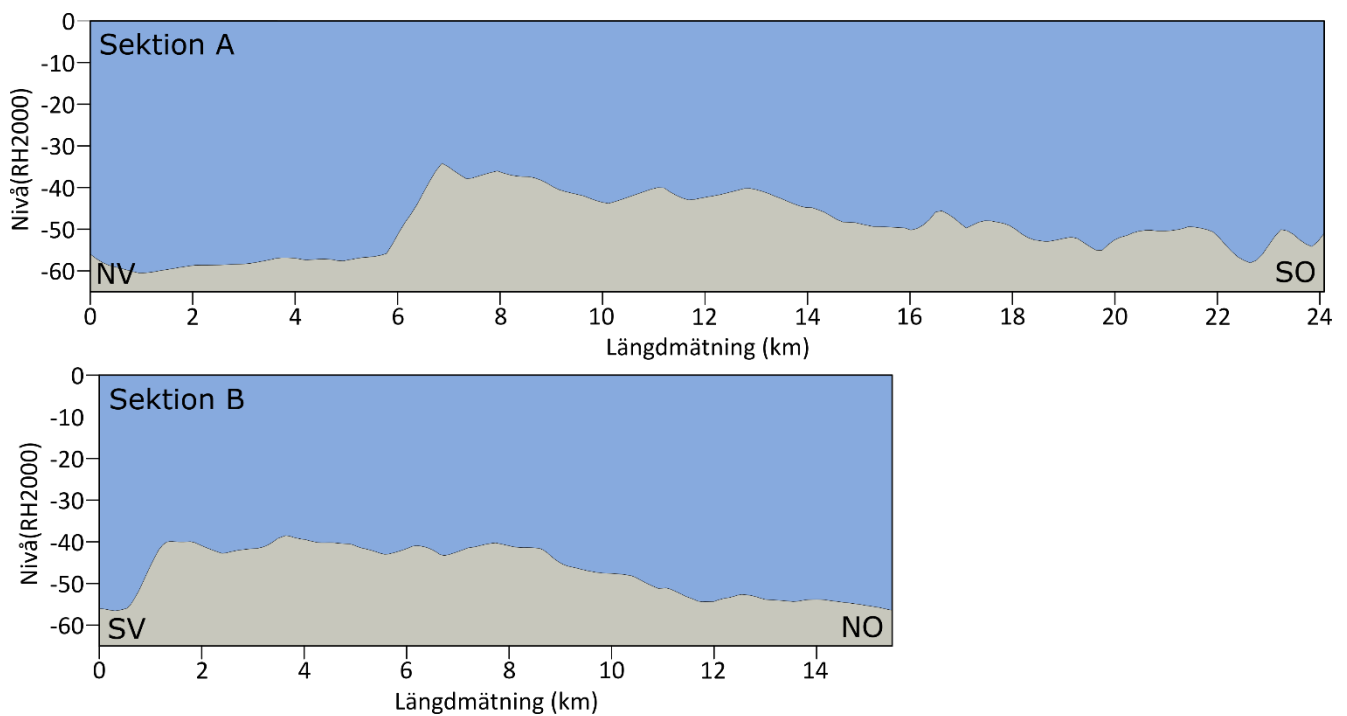
Batymetrin inom projektområdet kan översiktligt beskrivas som bestående av ett centralt beläget, relativt grunt område, där vattendjupet generellt ligger på mellan cirka 30 och 40 meter. Det grunda området sluttar mot sydost men lokala avvikelser med större vattendjup inom området förekommer. I övriga delar av projektområdet uppgår vattendjupet generellt till 50–60 meter med enstaka mindre, grunda områden. Batymetrin redovisas i plan i

Figur 3 och längs två tvärgående sektioner i Figur 4.

Bottenytans topografiska nivåskillnader bedöms vara uppkomna av förkastningar i berggrunden som har medfört att berggrunden blivit nedsänkt respektive upplyft. Längs den nordvästra gränsen av det grunda området, synligt som den markanta nivåhöjningen cirka sex kilometer in på sektion A i Figur 4, går en förkastningslinje. Norr om förkastningen har berggrunden nedsänkts, vilket har skyddat yngre sedimentära bergarter mot erosion. Berggrunden beskrivs närmre i avsnitt 4.2.



Figur 3. Batymetri med vattendjup enligt djupdatamodellen *The Baltic Sea Bathymetry Database* och punkter med känt verkligt djup enligt sjökartan SE53.



Figur 4. Botten-topografin enligt djupdatamodellen *The Baltic Sea Bathymetry Database* längs sektionerna A och B (se Figur 3). Blå färg symboliserar vatten medan grå färg symboliserar havsbotten.

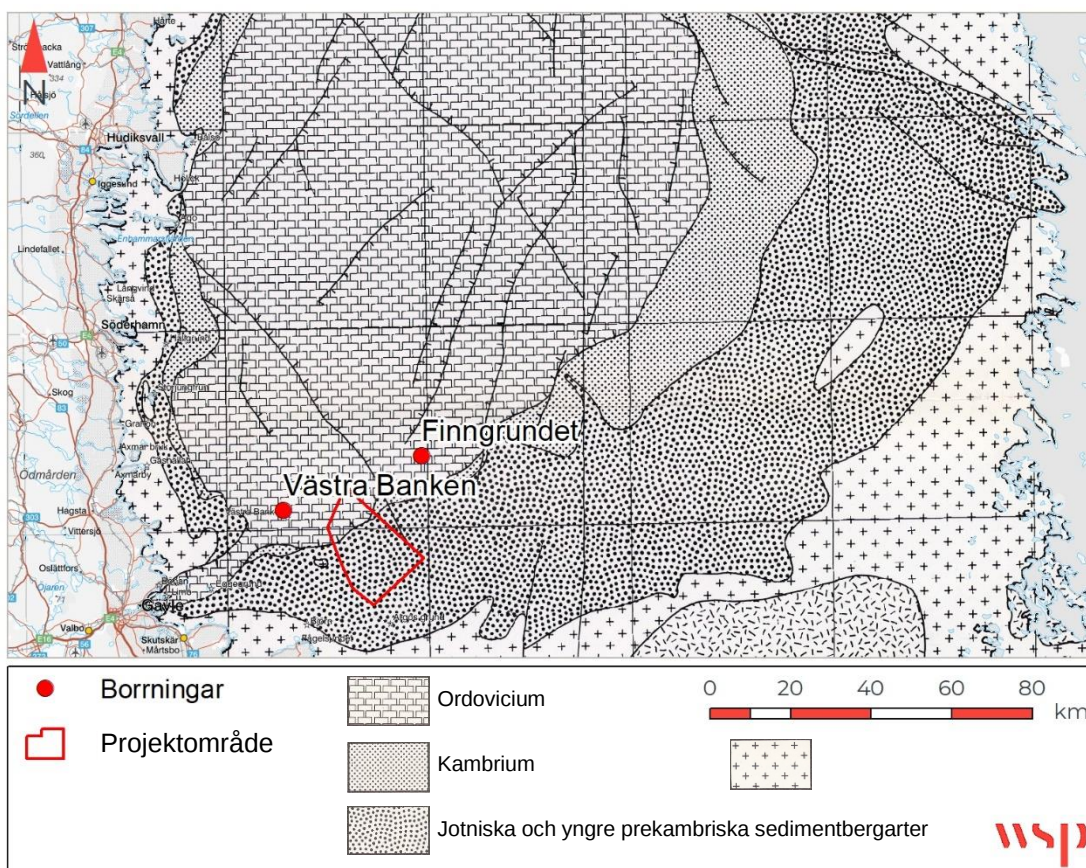
4.2 BERGGRUND

4.2.1 Översiktlig berggrundsbeskrivning

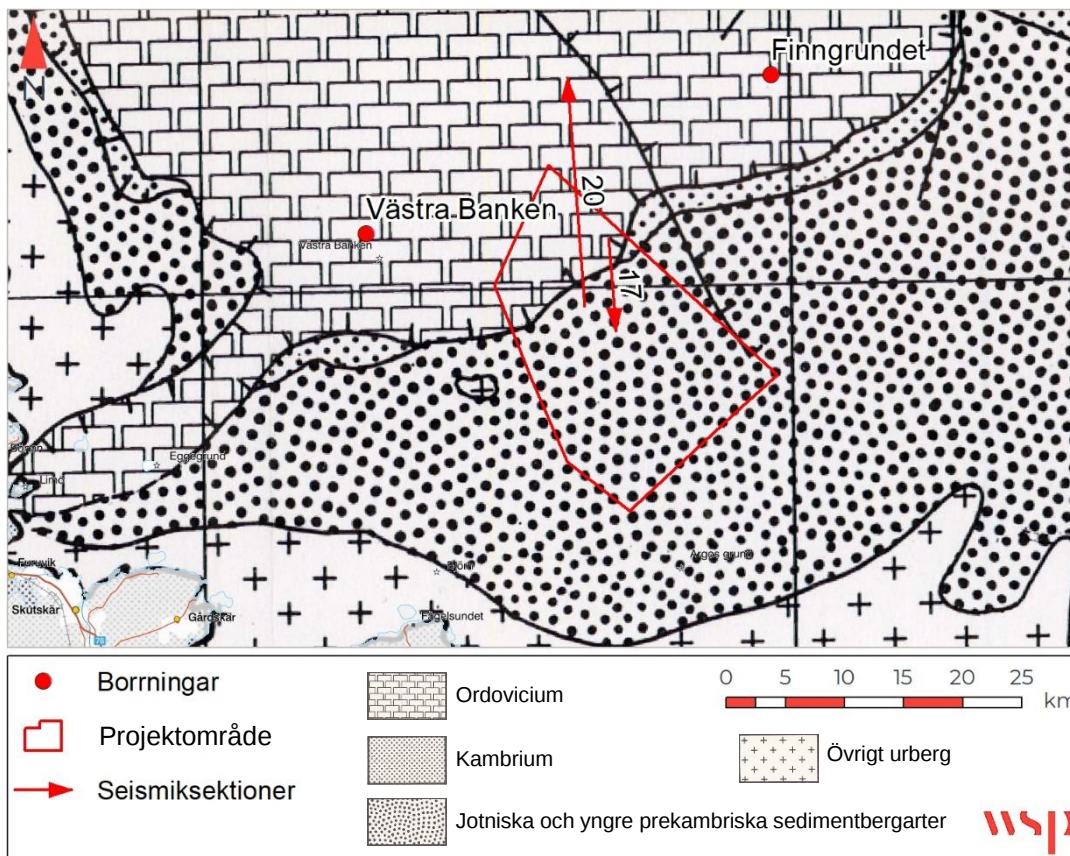
Bottenhavet, inom vilket projektområdet är beläget, är ett insänkt bäcken i den fennoskandiska urbergsskölden, och utgör en del av den svenska kontinentalsockeln. Kontinentalsockelns berggrund har genom åren undersökts av ett flertal bolag och institutioner genom geofysiska metoder och borrhningar. Resultaten av undersökningarna har av SGU sammanställts i rapporten *Den svenska kontinentalsockelns berggrund* (Ahlberg 1986). Utdrag av bergartskartan från sammanställningen framgår av Figur 5 (översikt över Södra Bottenhavet) och av Figur 6 (översikt över projektområdet).

Som det framgår av bergartskartan består den ytliga berggrunden inom Södra Bottenhavet och vid projektområdet huvudsakligen av sedimentära bergarter. Bergarterna har avsatts under de geologiska perioderna jotnium (cirka 1300–1200 miljoner år sedan (Ma)), kambrium (cirka 570–510 Ma) och ordovicium (cirka 510–437 Ma).

Berggrunden genomskärs av förkastningar, som huvudsakligen har nordväst-sydöstlig och nordost-sydvästlig orientering (Ahlberg 1986). Berggrunden intill förkastningarna kan förväntas vara uppsprucken och sprickor med främst samma orientering kan i övrigt förväntas förekomma. I sydvästra delen av projektområdet finns en nordost-sydvästligt orienterad fördjupning som kan vara betingat av en svaghetszon i berggrunden. De storskaliga förkastningarna framgår tydligt i Figur 5.



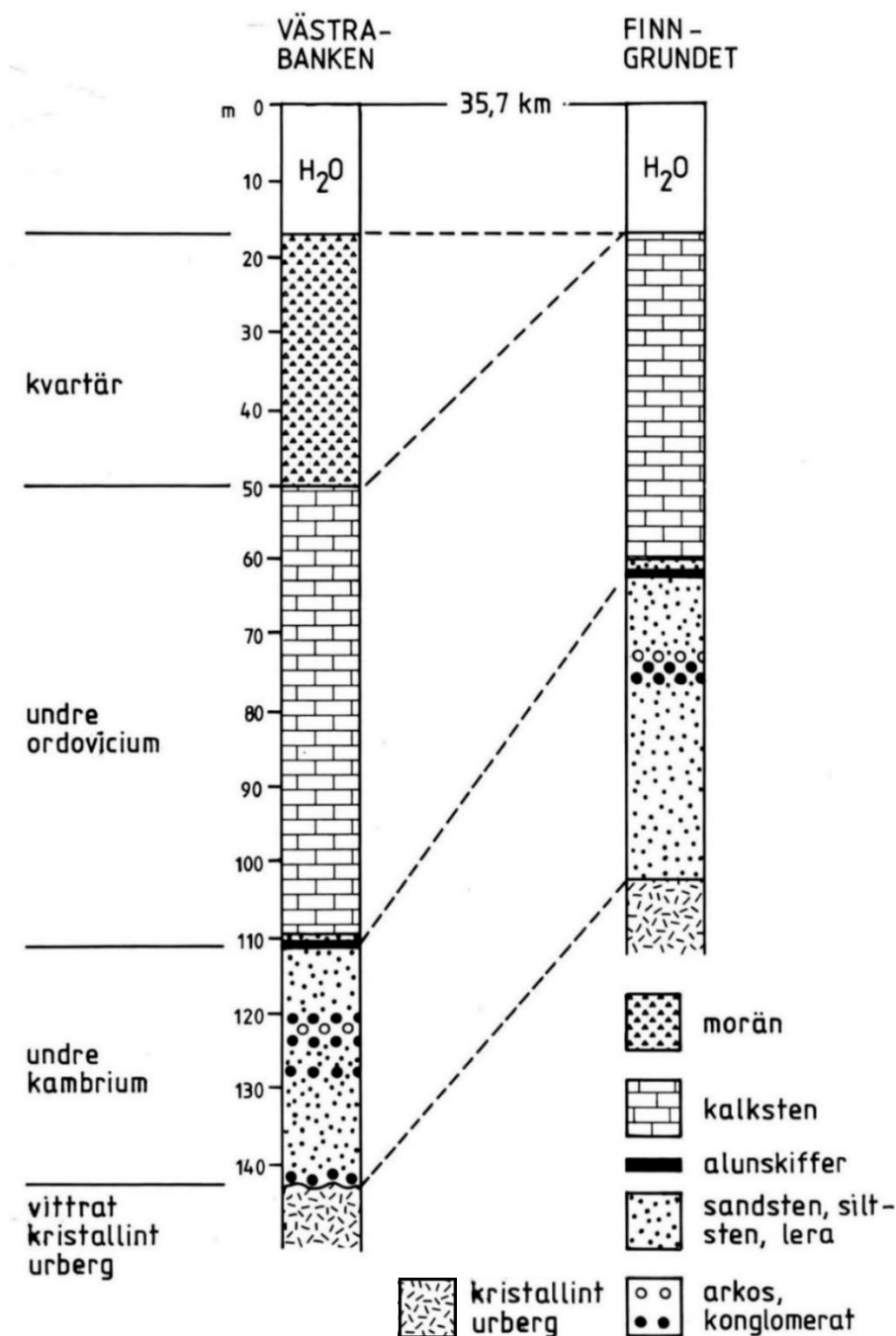
Figur 5. Bergartskartan över Södra Bottenhavet. Figuren visar att berggrunden består av jotniska, kambriska och ordoviciska sedimentbergarter som vilar på det kristallina urberget.



Figur 6. Bergartskartan över Gävlebukten. Figuren visar att berggrunden inom projektområdet består av sedimentära bergarter, i huvudsak av jotniska och ordoviciska åldrar (SGU). Seismiksektionerna redovisas i Figur 9.

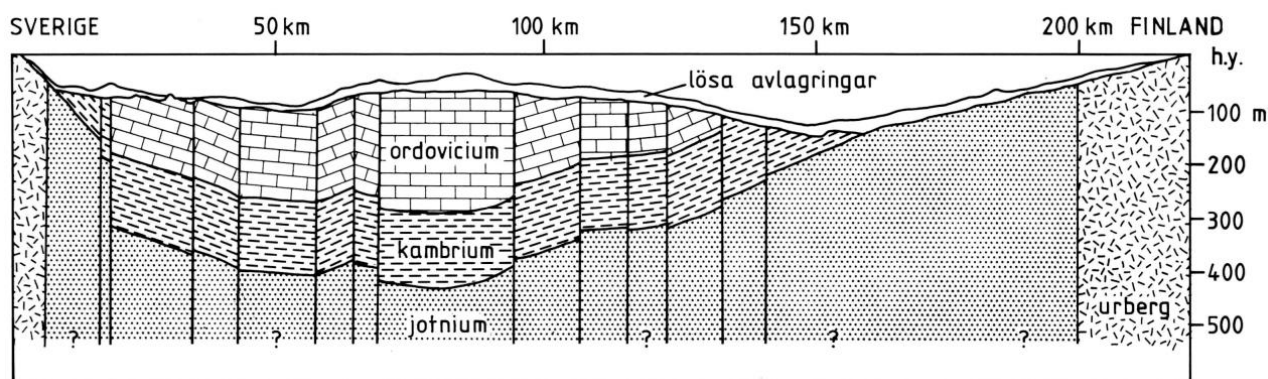
Den ordoviciska och kambriska lagerföljden är känd genom två äldre djupborrningar vid Västra Banken och Finngrundet. Borrningarna är belägna cirka 10 km nordväst respektive 20 km nordost om projektområdet, se Figur 6.

De stratigrafiska lagerföljderna vid Västra Banken och Finngrundet är snarlika. Vid Västra Banken är berggrunden dock överlagrad av ett cirka 30 meter mäktigt jordlager (morän, se avsnitt 4.3) som helt saknas vid Finngrundet, där havsbotten utgörs av kalksten. Den sedimentära berggrunden består vid båda lokalerna i grova drag, i ordning uppifrån och ner, av kalksten från undre ordovicium (40–60 meters mäktighet) och sand, silt- och lersten från undre kambrium (30–40 meters mäktighet) med inslag av alunskiffer, arkos och konglomerat av mindre mäktighet. Det kristallina urberget påträffas vid Västra Banken på ett djup av cirka 140 meter under havsnivå och vid Finngrundet på ett djup av cirka 100 meter under havsnivå. Lagerföljderna vid Västra Banken och Finngrundet (Ahlberg 1986, Thorslund et al., 1979) redovisas i Figur 7.



Figur 7. Översiktlig stratigrafisk tolkning av borrkärnorna från Västra Banken och Finngrundet. Från Ahlberg (1986), omritat efter Thorslund et al. (1979), Fig. 3.

I Figur 8 redovisas en sektionsritning mellan Hudiksvall i Sverige och Pori i Finland (från Ahlberg (1986)), som visar hur den kambriska lagerföljden inom stora delar av Bottenhavet vilar på den jotniska berggrunden. Det är värt att notera att den jotniska sedimentberggrunden dock helt saknas vid Västra Banken och Finngrundet. Detta tros bero på äldre vertikallrörelser i berggrunden som förde upp den jotniska sedimentberggrunden till erosionsläge (Nyberg 2016).

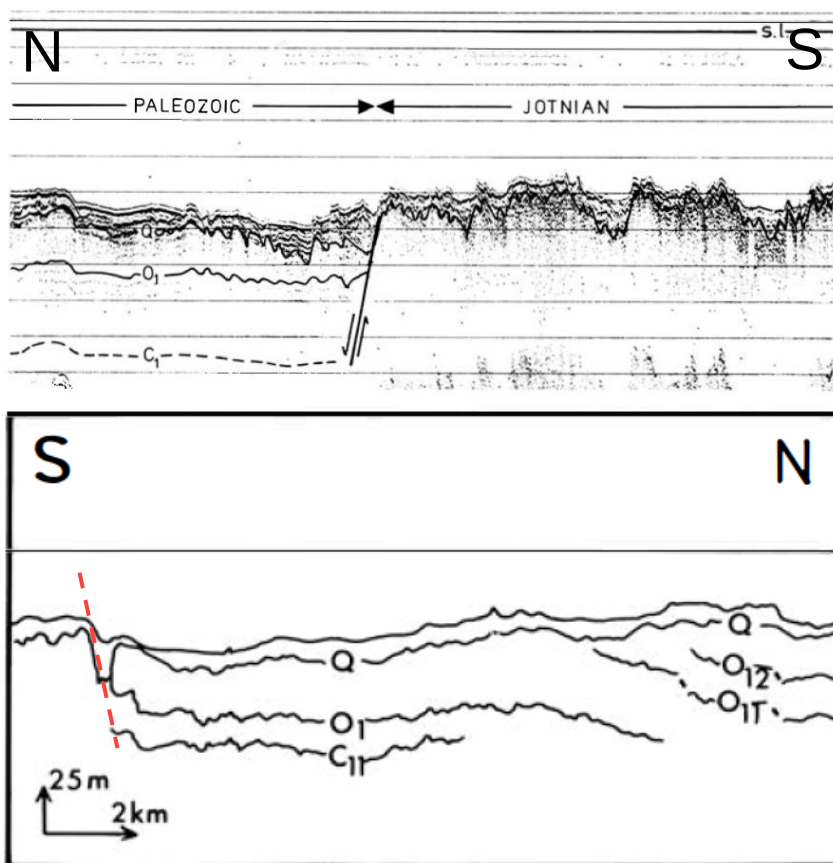


Figur 8. Sektion genom Bottenhavet längs en linje från Hudiksvall i Sverige till Pori i Finland. Från Ahlberg (1986).

Inom Bottenhavet utgörs den jotniska berggrunden främst av sandstenar (Ahlberg 1986). I beskrivningen till den maringeologiska kartan för området (Nyberg 2016) beskrivs den jotniska berggrunden i området öster om Gävle som omvandlade sandstenar och kvartsiter och benämns Gävlesandstenen (Nyberg 2016). Den jotniska berggrunden i Bottenhavet kan uppgå till stora mäktigheter, med ett beräknat medelvärde på cirka 1000 meter. Liknande mäktigheter har noterats i Gävleområdet (Ahlberg 1986).

Enligt bergartskartan (se Figur 6) korsar en förkastning genom den norra delen av projektområdet och utgör här gränsen mellan den jotniska berggrunden och den yngre kambriska och ordoviciska berggrunden. I en sammanställning av Axberg och Thorslund (1979) redovisas bland annat resultaten av två seismiska undersökningar i Bottenhavet, som har utförts tvärs över förkastningen inom projektområdet. Profilernas läge redovisas i Figur 6 och sektionsritningar från Axberg och Thorslund (1979) redovisas i Figur 9. Som framgår av sektionerna har den kambriska och ordoviciska lagerföljden norr om förkastningen nerförkastats cirka 65–70 meter i förhållande till sitt ursprungsläge och skyddats mot erosion.

Utifrån de seismiska undersökningarna har ett antal så kallade akustiska gränser identifierats. Dessa är gränser där de akustiska egenskaperna mellan ovan- och underliggande geologiska material skiljer sig tillräckligt mycket för att ge upphov till en reflektion av den akustiska vågen som används vid seismiska undersökningar. I projektområdet har gränsen mellan de kvartära och prekvarterä avlagringar kunnat urskiljas. Likaväl har olika horisonter inom ordovicium samt en mäktig kambrisk horisont av arkos kunnat urskiljas. Norr om förkastningen finns en antydning till det kambriska peneplanet (en utbredd erosionsyta på urberget). Det är värt att notera att gränsen mellan den kambriska och den ordoviciska lagerföljden ej har kunnat urskiljas. Utifrån de seismiska profilerna kan den ordoviciska lagerföljdens mäktighet uppskattas till mellan 40 och 50 meter inom projektområdet. Någon undre gräns för den jotniska eller kambriska berggrunden har ej kunnat urskiljas med säkerhet.



Figur 9. Sektionsritningar längs seismiska profiler genom delar av projektområdet (se Figur 6 för läge).

Överst: Profil 17 från Axberg och Thorslund (1976). TWT (Two-way travel time) mellan horisontella linjer är 12,5 ms.

Underst: Profil 20 från Axberg och Thorslund (1976). Förkastning markerat med röd streckad linje (WSP:s tolkning)

Legend för akustiska gränsar i sektionerna:

Q: Gräns mellan kvartär och prekvarter O1: Övergångszon inom ordovicium

O12: Hård yta i Raniceps-kalksten (ordovicium) C11: Kambrisk arkos

O11: Överyta av Limbata-kalksten (ordovicium) C1: Subkambriska peneplanet

Sammanfattningsvis utgörs ytberggrunden inom den norra delen av projektområdet av ordovicisk kalksten med en mäktighet av cirka 40–50 meter. I den södra delen av projektområdet utgörs ytberggrunden av jotnisk sandsten, så kallad Gävlesandsten. Den jotniska sandstenens mäktighet bedöms uppgå till 100-tals meter. Den ordoviciska berggrunden underlagras av kambrisk sedimentärberggrund med osäker sammansättning. Den kambriska lagerföljden innefattar dock arkos som indikerats av de seismiska undersökningarna, på ett djup av cirka 55 meter under havsbotten. I anslutning till förkastningen genom området kan den kambriska berggrunden förekomma mera ytnära och potentiellt utgöra ytberggrunden.

De i projektområdet förekommande bergarterna beskrivs i följande avsnitt.

4.2.2 Jotnisk sandsten – Gävlesandstenen (cirka 1300–1200 Ma)

Gävlesandstenen beskrivs som en gulröd, och generellt sett, hård bergart. Den består till cirka 70 % av kvarts och har en SiO_2 -halt på 87–90 % (Gorbatshev 1967). Normalt är den jotniska sandstenen kvartscementerad men i anslutning till submarint bildade basallager är sandstenen kalcitcementerad (Wik et al., 2009).

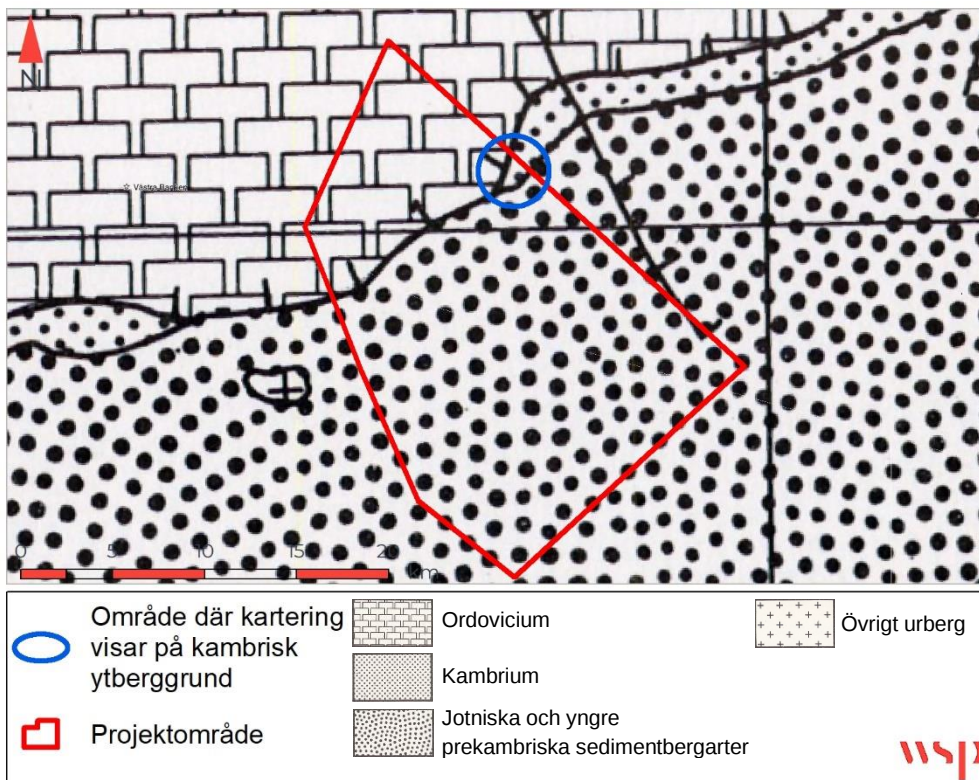
Eftersom sandstenen lagrades under mesoproterozoikum (1500–1250 Ma, Wik et al., 2009), dvs. före den kambriska revolutionen då skalbärande djur uppstod, är den fattig på spår av organismer. Sanden avsattes troligen i en strandnära miljö under en period av stigande havsnivåer (Gorbatshev 1967). Regionala namn för likåldrig sandsten är Roslagssandsten och Mälarsandsten, vilka tros ha bildats under liknande förutsättningar och därför har liknande egenskaper (se Figur 10).



Figur 10. Gävlesandstenen är en hård bergart som sedan länge använts som byggnadssten, exempelvis Hallwylska palatset i Stockholm (foto Holger Ergaard). Jotnisk sandsten är ofta ljusgulröd och ibland mönstrad, fotot t.h. visar närbild på Roslagssandsten som hittats i kustnära delar av mellersta Östersjön (foto Kristoffer Pöljö).

4.2.3 Kambriska bergarter (cirka 570–510 Ma)

Den kambriska lagerföljden i Bottenhavet uppvisar större variation i sin sammansättning än den kringliggande ordoviciska och jotniska berggrunden och utgör enbart potentiellt ytbergart inom en begränsad del av projektområdet, se Figur 11.



Figur 11. Område där kambrisk berggrund enligt kartering bedöms utgöra ytberggrund.

Utifrån provtagningar vid Finngrundet och Västra banken består denna bergartsenhet primärt av sand-, silt- och lersten. Där finns dock även inslag av lera, arkos och konglomerat samt ett tunt lager bestående av alunskiffer, pyrit och orsten (Ahlberg 1986). Den kambriska arkosen har genom de tidigare nämnda seismiska undersökningarna indikerats på ett djup av cirka 55 meter under havsbotten i den norra delen av projektområdet.

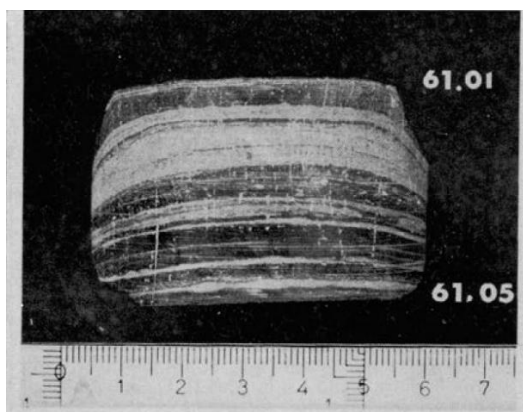
Sand- och siltsten av kambrisk ålder kan vara hårda bergarter med hög hållfasthet. Den kambriska lagerföljden i Gävlebukten har frekventa inslag av både lera och lersten och är därför mer heterogen jämfört med mer väl sorterade kambriska sand- och siltstenar. Varje gräns från en bergart till en annan är en potentiell brytpunkt eller glidyta, speciellt i finkorniga jord- eller bergarter som lera och lersten.

I övergången mellan de ordoviciska och kambriska bergarterna (motsvarande cirka 480 miljoner år sedan) finns ett tunt lager av alunskiffer. Vid Finngrundet och Västra banken påträffas denna övergång vid 40 respektive 90 meter under havsbotten. Lagret är känt från flera andra delar av Sverige där bergarter av den här åldern finns bevarade. På Öland och i Skåne är det vanligen flera meter mäktigt medan det norr om Gotland tunnas ut. Vid Finngrundet och Västra banken är lagret endast mellan ett par decimeter till en meter mäktigt.

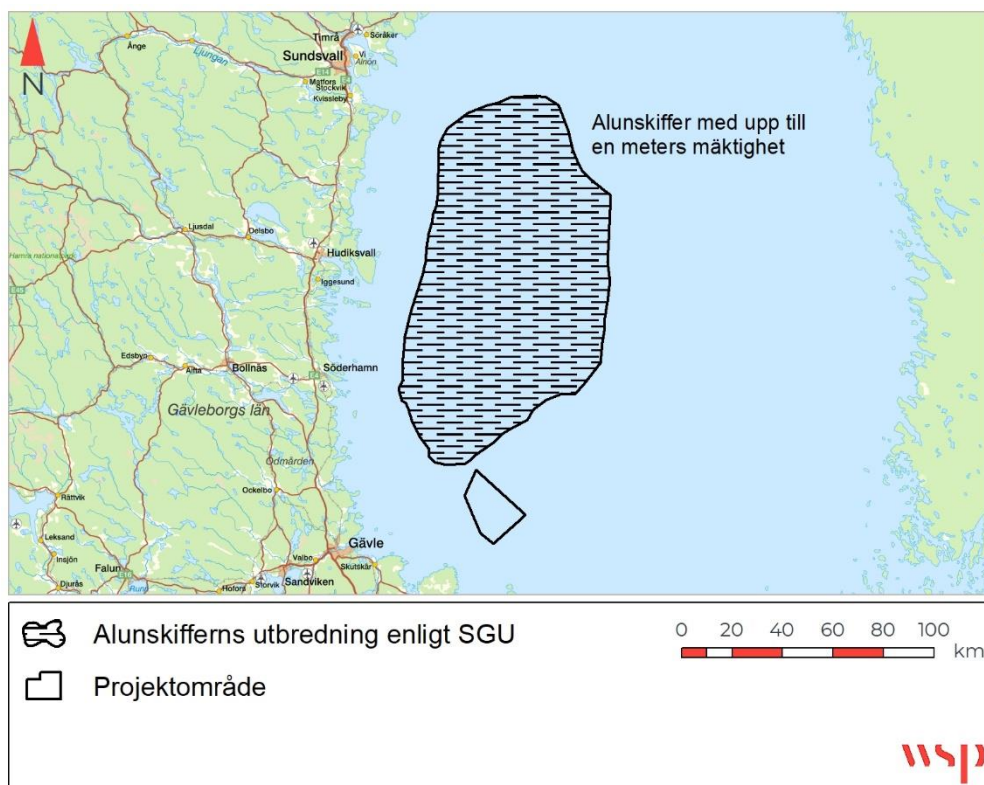
Alunskiffer består av lerpartiklar och rester av organiskt material, och har i andra delar av landet under lång tid brutits för utvinning av bland annat alun, olja och uran. Skiffern är uppbyggd av tunna och horisontella lager som kan agera glidlager vid yttre påfrestningar. Vid Finngrundet och Västra Banken är alunskiffern väldigt tunn och uppgår endast till enstaka centimeter, se Figur 12. I vissa delar av Sverige innehåller alunskiffern höga halter uran och sällsynta jordartsmetaller (s.k. Rare Earth Elements, REE). Några analyserade halter för alunskiffern i Bottenhavet har ej påträffats i det underlag som studerats i föreliggande rapport.

Sönderfall av uran avger gammastrålning och radon vilket är skadligt för levande organismer. SGU har sammanställt förekomsten av alunskiffer i Sverige (SGU 2020) där förekomsten av alunskiffer i Bottenhavet begränsas till ett område norr om projektområdet (se Figur 13), där skiffrens mäktighet uppgår till maximalt en meter.

Vid eventuell förekomst av alunskiffer inom projektområdet bedöms denna vara tunn (enstaka centimeter) och föreligga på ett djup av minst cirka 40 meter under havsbotten, med undantag av ett mindre område där den kambriska berggrunden enligt bergartskartan utgör ytberggrund och kan återfinnas direkt under jordlagren (se Figur 6). Bedömningsvis förekommer dock alunskiffer inte alls i projektområdet.



Figur 12. Sektion ur borrhälskärnan från Finngrundet, cirka två mil nordost om projektområdet, där mm-tjocka lager av alunskiffer är varvade med sandsten (Thorslund & Axberg, 1979).



Figur 13. Alunskiffers utbredning enligt SGU. Alunskiffers mäktighet uppgår inom det markerade området till mellan noll och en meter.

4.2.4 Ordovicisk kalksten (cirka 510–437 Ma)

Den yngsta bergarten i området är kalksten av ordovicisk ålder. Bergarten består huvudsakligen av tätt packade fossil. Skalfragment, skelettbitar och kalkslam lagrades under en lång period av subtropiskt grundhav (Jaanusson 1973). Eftersom den här typen av kalksten, till skillnad från exempelvis den gotländska, inte bildades i korallrev är dess porositet mycket låg. Den ordoviciska kalkstenen är i stället finkornig, kompakt, hård och har hög densitet. På grund av detta, samt dess generellt homogena sammansättning, är det en vanlig byggnadssten. Kalkstenen används ofta som trädgårdssten men även i husfasader och trapphus (Figur 14).



Figur 14. Fotografier av den gråaktiga eller ljusröda ordoviciska kalkstenen som hittas i Bottenhavet som är av "Ölandstyp". Bergarten är hård och har länge brutits som byggnadssten, exempelvis i golv, trädgårdar eller husfasader, t.ex. Nationalmuseum (foto t. h.).

4.3 JORDLAGER

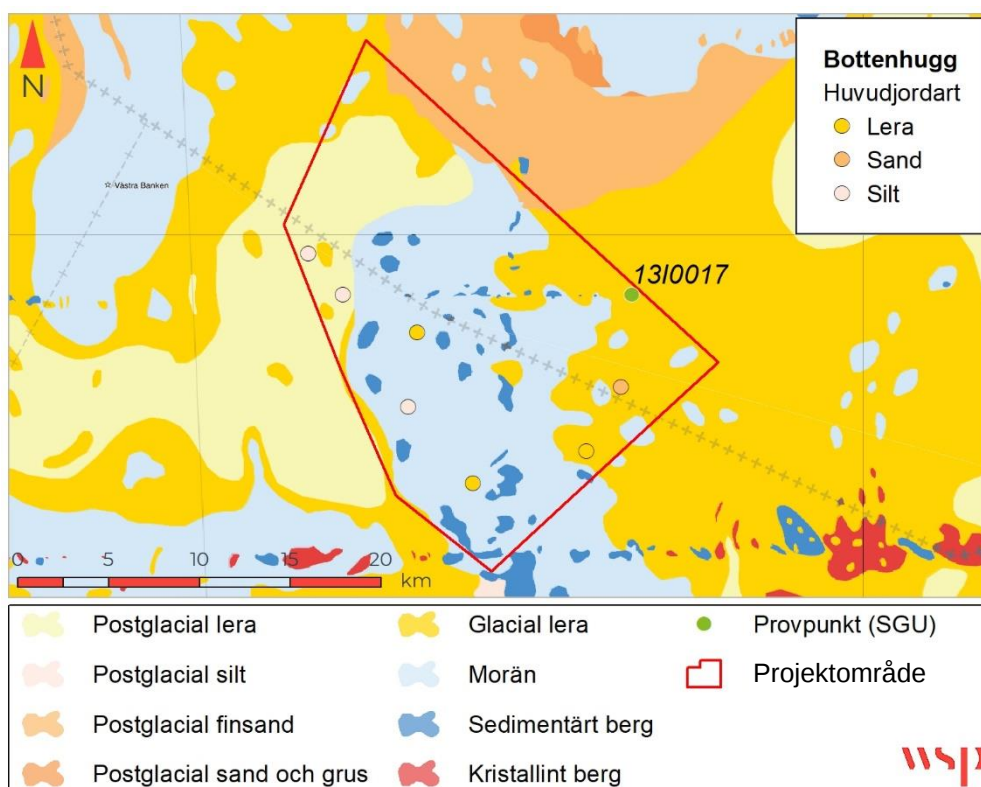
Jordlagren på den svenska kontinentalsockeln har med få undantag bildats under den senaste glaciala perioden och den efterföljande pågående postglaciala perioden (Nyberg 2016). Jordlagren kan därmed delas in i glaciala och postglaciala bildningar.

De i projektområdet förekommande ytjordarterna domineras av morän samt glacial och postglacial lera. Även postglacial finsand förekommer inom en mycket begränsad del av området i norr. Den sedimentära berggrunden går i dagen inom främst de centrala delarna av området. Jordarternas utbredning enligt SGU:s kartering i skala 1:750 000 framgår av Figur 15. Av figuren framgår även en för utredningen relevant provpunkt som finns redovisad i SGU:s karttjänst *Kartvisaren*, samt huvudjordarten för de bottenhuggsprov som har analyserats med avseende på kornstorleksfördelning.

Flertalet av bottenhuggsproverna visar på ytliga jordarter som inte överensstämmer med SGU:s kartering. Detta bedöms dels bero på att SGU:s kartering är storskalig och avvikelser kan förekomma, dels för att eventuella tunna ytlager av bottenmaterial med mäktighet mindre än 50 cm ej har karterats storskaligt.

Indikationer om jordlagrens mäktighet finns i de tidigare nämnda seismiska undersökningarna som har gjorts inom projektområdet. Dessa visar på en samlad mäktighet av morän och lera mellan cirka fem och tio meter i norra delen. Längs den delen av de seismiska sektionerna där moränen utgör ytjordart bedöms moränens mäktighet generellt understiga fem meter.

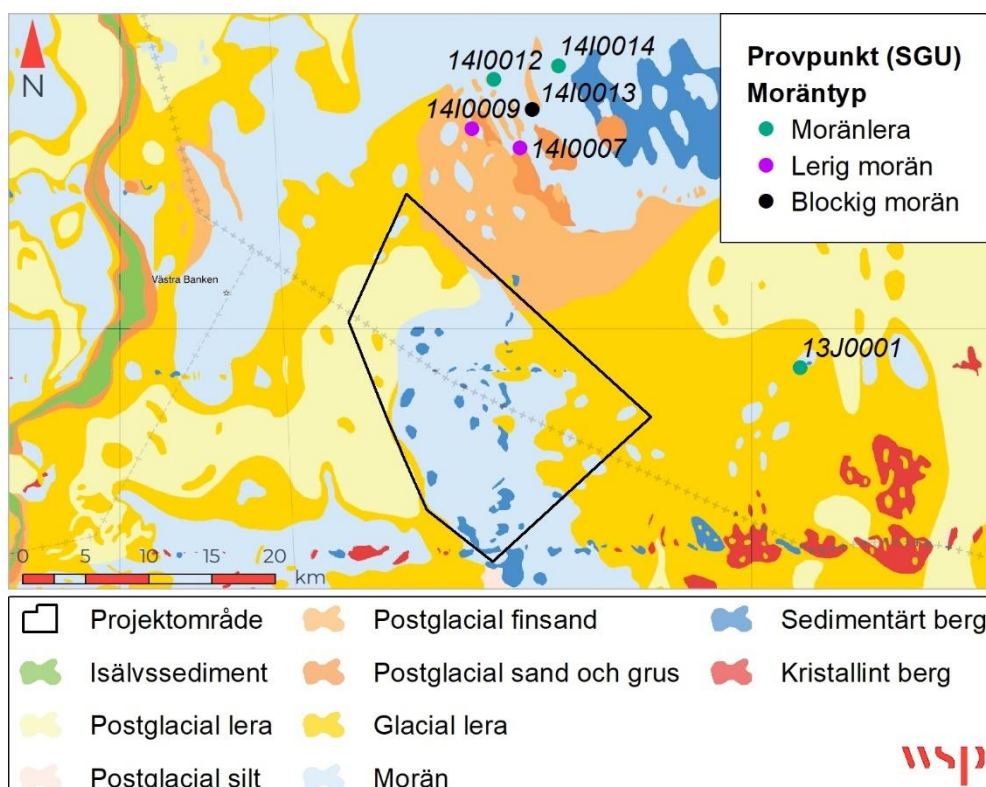
De förekommande ytjordarterna inom projektområdet beskrivs övergripande i efterföljande avsnitt.



Figur 15. Jordarternas utbredning inom projektområdet enligt SGU:s kartering i skala 1:750 000. Jordartsbedömning vid de inom projektet utförda bottenhuggen framgår med cirkulära symboler (se legend i kartan).

4.3.1 Morän

Morän utgör yttjordarten inom en större del av projektområdet. Moränen har avsatts av inlandsisen under den senaste istiden. Genom isens rörelse togs bergartsfragment och äldre jordarter upp av isen från underlaget. Detta material transporterades och avsattes slutligen som morän. Morän är en osorterad jordart som kan innehålla alla storlekar av fragment, från lera till block, och dess sammansättning är beroende av det underlag som inlandsisen rörde sig över. Morän klassificeras vanligen efter dess sammansättning och benämns därefter. Av SGU:s kartering framgår ingen närmre klassificering av moränen inom området. Generellt tenderar morän vara sandig inom urbergsområden och lerig inom områden med sedimentär berggrund. Inom områden med kalkstensberggrund är lerig morän (>5 % lera) eller moränlera (>15 % lera) vanligt förekommande (Nyberg 2016). Berggrunden inom projektområdet utgörs i norra delen av kalksten och i södra delen av sandsten varför lerhalten bedöms vara relativt stor. SGU beskriver att moränlera allmänt överlagras den sedimentära berggrunden inom området. För närmre bedömning av moränens sammansättning krävs provtagning. Provtagna i SGU:s regi på några mils avstånd öst och nordost om projektområdet har visat på lermorän och moränlera, se Figur 16.



Figur 16. Närliggande provpunkter med moränklassificering.

Av SGU:s beskrivning till den maringeologiska kartan för Södra Bottenhavet framgår det att morän inom området sällan överstiger fem till tio meters mäktighet. Detta stämmer väl överens med observationerna från de seismiska undersökningarna. Inom det område där morän utgör yttjordart går den sedimentära berggrunden i dagen på flertalet ställen. Moränen bedöms över lag vara tunnare i detta område än i kringliggande djupområden.

Morän bedöms förekomma inom hela projektområdet, men överlagras i de nordvästra och sydöstra delarna av övriga sediment (glacial lera, postglacial lera och postglacial finsand).

4.3.2 Glacial lera

Glacial lera överlagrar moränen i den nordvästra och den sydöstra delen av projektområdet. Isälvar bestående av smältvatten från inlandsisen förde med sig finkorniga partiklar som sedan avsattas som glacial lera i sjöar eller i havet, när strömhastigheten i vattnet sjönk. Kohesionskrafterna mellan lerpartiklarna är stora och den glaciala lerans yta följer ofta överytan på underliggande lager parallellt (Nyberg 2016).

Beroende av avstånd till land kan den glaciala leran vara varvad med silt eller sand, om inte avsättningen har skett i saltvatten där flockuleringsprocesser motverkar varvbildningen. Varvning innebär att leran innehåller skikt med något grövre partikelstorlek som avsatts under årstider med snabbare smältvattenflöden. Glacialleran kan även innehålla större partiklar som har transporterats med isberg.

Enligt SGU:s kartering uppgår den glaciala lerans mäktighet sällan till mer än tio meter, och varierar vanligen mellan tre och fem meter. Även detta stämmer väl överens med observationerna från de seismiska undersökningarna. I den östra delen av projektområdet har SGU dock tagit prov med kolvlod till ett djup av sex meter. Provpunkten betecknas av SGU med provkod 13I0017, se Figur 15. Provet visade på glacial lera längs hela provets längd, och den glaciala lerans mäktighet överstiger alltså sex meter i denna punkt. Övriga prov inom projektområdet har gjorts med gripskopa, med ett provtagningsdjup på cirka 3 decimeter.

Den glaciala leran bedöms ställvis täckas av ett tunt bottenlager av grövre kornfraktioner. Dessa bottenlager utgör så kallade residuallager, och är en rest efter erosion av de finare fraktionerna. En indikation på förekomst av tunna bottenlager ovan glacial lera finns vid bottenhuggsprov NAJ_45, där lerig sand har påträffats i ytan inom ett utbrett område med glacial lera.

4.3.3 Postglacial lera

Postglacial lera förekommer inom den nordvästra delen av projektområdet och överlagrar här glacial lera. Den postglaciala leran har likt den glaciala leran avsatts när finpartiklar har transporterats med strömmande vatten till en miljö där strömhastigheten har avtagit. Den postglaciala leran har dock avsatts efter senaste istiden och kan innehålla betydande mängder organiskt material. Den postglaciala leran indelas i tre typer beroende av den organiska halten. Om den organiska halten är liten beskrivs den postglaciala leran som gyttjefri. Om den organiska halten är på mellan två och sex procent betecknas den gyttjelera och om den organiska halten ligger mellan sex och 20 procent betecknas den lergyttja. Om den organiska halten och lerlagrets mäktighet är stor kan de postglaciala lerorna innehålla en betydande mängd metangas (Nyberg 2016).

Av SGU:s kartering framgår ingen indelning avseende organisk halt. Mot bakgrund av bottenprov utförda i SGU:s regi inom övriga delar av Södra Bottenhavet bedöms dock den postglaciala leran inom projektområdet utgöras av främst gyttjelera och lergyttja.

Mäktigheten av postglaciala leror uppgår i Södra Bottenhavet sällan till mer än fem meter (Nyberg 2016). Det finns inga identifierade provtagningar som ger information om den postglaciala lerans mäktighet inom projektområdet, men med utgångspunkt i de vanligt förekommande mäktigheter (Nyberg 2016) och de seismiska undersökningarna bedöms mäktigheten vara mindre än fem meter.

Vid bottenhugg har sandig, lerig silt påträffats i ytan inom ett utbrett område med postglacial lera. Bedömningsvis förekommer därför även residuallager ställvis ovan den postglaciala leran.

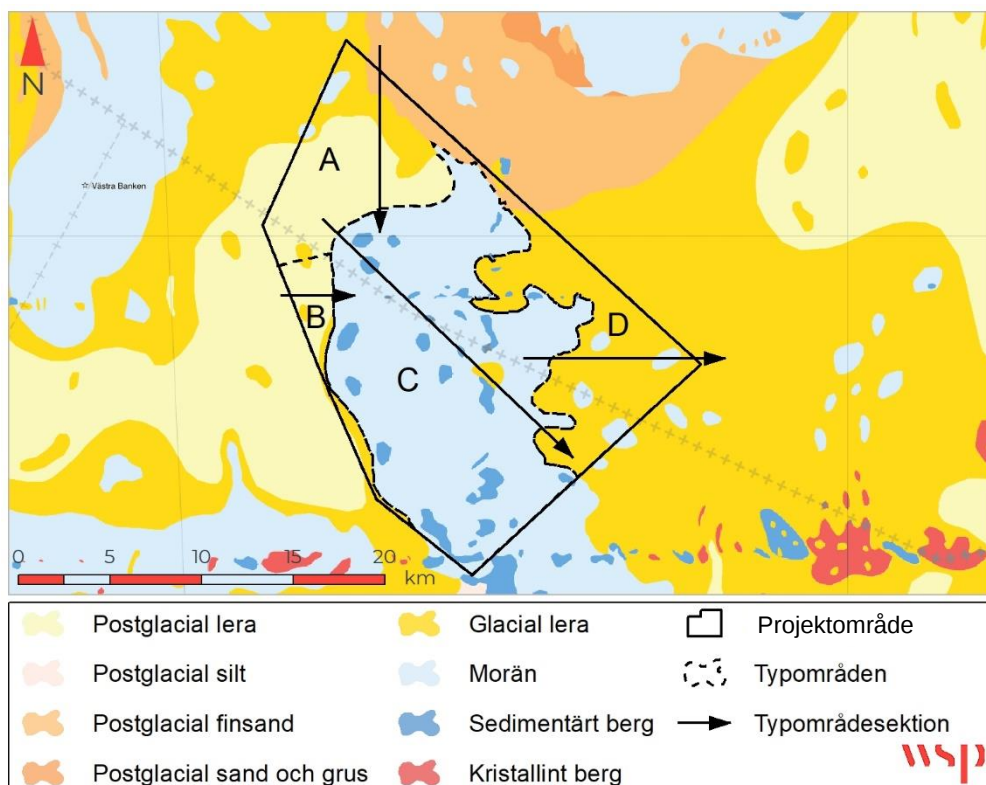
4.3.4 Postglacial finsand

Postglacial finsand förekommer endast inom ett väldigt begränsat, långsmalt område i den norra delen av projektområdet. Finsanden är avsatt i en miljö med något högre strömningsenergi än den postglaciala leran. Finsanden bedöms inom projektområdet överlagra glacial lera, alternativt morän.

Den postglaciala finsanden är vanligtvis mycket väl sorterad, erosionskänslig och rörlig (Nyberg 2016). Mäktigheten överstiger, enligt SGU, sällan ett par meter och det finns inga identifierade provtagningar inom eller i anslutning till projektområdet som kan ge indikationer om finsandens mäktighet i området.

4.4 TYPOMRÅDEN INOM PROJEKTOMRÅDET

Projektområdet kan delas in i fyra principiella geologiska typområden utifrån förekommande berg- och jordarter. Typområden är även kopplade till bottenpografin, eftersom denna ligger till grund för jord- och bergarternas utbredning. De fyra typområdena redovisas i Figur 17 och beskrivs i efterföljande avsnitt.



Figur 17. Indelning av projektområdet i fyra principiella geologiska typområden. Principiella lagerföljder längs typområdessektionerna redovisas i Figur 18.

4.4.1 Typområde A

Typområde A utgör den nordligaste delen av projektområdet. Vattendjupet ligger inom största delen av området på mellan 55 och 60 meter. Mot nordöstra gränsen av området minskar dock vattendjupet till cirka 45 meter.

Ytjordarterna inom området utgörs till största delen av postglacial och glacial lera, med mindre förekomst av morän och postglacial finsand. Den ytligaste berggrunden bedöms huvudsakligen utgöras av kalksten inom området. Vid den östra gränsen av typområdet kan ytbergarten dock utgöras av delar av den kambriska lagerföljden (sand-, silt- och lersten). Typområde A avgränsas mot sydost dels av den bedömda gränsen mellan den ordoviciska kalkstenen och den jotniska sandstenen och dels av det större sammanhängande moränområdet.

Den principiella lagerföljden inom typområdet bedöms i riktning nerifrån och upp utgöras av urberg, eventuellt jotnisk sandsten, kambriska sedimentbergarter, ordovicisk kalksten, morän, glacial lera, postglacial lera och postglacial finsand. I gränserna mot typområde B och C kan den ytligaste berggrunden utgöras av jotnisk sandsten. Ett tunt lager av alunskiffer kan förekomma under kalkstenen. Kalkstenens mäktighet uppgår inom typområdet till cirka 40–50 meter enligt de seismiska undersökningarna. Risker för att påträffa alunskiffer bedöms som störst i det område där den kambriska lagerföljden eventuellt går i dagen, dock ligger hela projektområdet utanför det av SGU avgränsade området för alunskiffers förekomst.

Jordlagrens samlade mäktighet uppgår enligt tidigare seismiska undersökningar till mellan cirka fem och tio meter med förekomst av något mäktigare partier med upp till cirka 15 meter mäktiga jordlager.

En principiell sektionsritning av sektion genom typområde A framgår av Figur 18 i avsnitt 4.4.5.

4.4.2 Typområde B

Typområde B utgörs av en smal remsa i den västra delen av projektområdet. I större delen av området uppgår vattendjupet till mellan cirka 55 och 60 meter. Vid gränsen mot typområde C avtar vattendjupet till cirka 40 meter.

Inom typområdet förekommer glacial och postglacial lera som ytjordarter. Under leran förekommer sannolikt morän, och därunder jotnisk sandsten. Den principiella lagerföljden inom typområdet bedöms i riktning nerifrån och upp utgöras av urberg, jotnisk sandsten, morän, glacial lera och postglacial lera. I gränsen mot typområde A kan den ytligaste berggrunden dock utgöras av ordovicisk kalksten.

Det finns inga uppgifter om jordlagrens mäktighet inom området, men utifrån SGU:s observationer av vanligt förekommande mäktigheter inom Södra Bottenhavet och observationerna från de seismiska sektionerna inom typområde A bedöms jordlagrens samlade mäktighet ej överstiga storleksordningen 20 meter.

En principiell sektionsritning av sektion genom typområde B framgår av Figur 18 i avsnitt 4.4.5.

4.4.3 Typområde C

Typområde C utgör det största och mest centrala av typområdena. Det är också det grundaste området med minsta vattendjupet på cirka 35 till 40 meter i norra delen. Området lutar svagt åt sydost, och i de östra delarna av området uppgår vattendjupet till cirka 50 meter.

Enligt den storskaliga karteringen saknas mer eller mindre sorterade finkorniga jordarter och huvudsakligen utgör morän ytjordarten inom området. Avsaknaden av finkorniga jordarter antas bero på att dessa sediment inte avsatts på grund av områdets relativt höga topografiska nivå, eller att de eventuellt har borteroderats. Inom ett mindre område finns enligt jordartskartan ett sammanhängande täcke av glacial lera. Två bottenhuggsprov har dock visat på förekomst av lera i ytan där morän har karterats, och bedömningsvis finns mindre förekomster av glacial lera utspridd inom typområdet, främst i delarna där vattendjupet är störst.

Enligt den storskaliga karteringen går det sedimentära berget i dagen inom cirka 10 % av typområdets yta. Det sedimentära berget bedöms, förutom i de områden som redovisas i Figur 15, även gå i dagen fläckvis inom övriga delar av typområdet.

Den principiella lagerföljden inom typområdet bedöms i riktning nerifrån och upp utgöras av urberg, jotnisk sandsten, morän och glacial lera. I gränsen mot typområde A kan berggrunden dock utgöras av ordovicisk kalksten.

De äldre seismiska undersökningarna kan ge en indikation om jordlagrens mäktighet inom typområdet. I den del av området som omfattas av undersökningarna bedöms jordlagrens mäktighet variera mellan ett par och tio meter. Jordlagren utgörs främst av morän, som med tanke på att det sedimentära berget går i dagen inom stora delar av området generellt bedöms ha en relativt liten mäktighet, i storleksordning ett par meter, med förekomst av mäktigare partier. Moränens mäktighet bedöms generellt öka mot sydöst.

En principiell sektionsritning av sektion genom typområde C framgår av Figur 18 i avsnitt 4.4.5.

4.4.4 Typområde D

Typområde D utgör den östra delen av projektområdet. Vattendjupet uppgår till mellan 50 och 60 meter inom hela området.

Ytjordarten inom området utgörs till största delen av glacial lera som underlagras av morän. Morän utgör ytjordarten på ett fåtal ställen. Bottenhuggsprov ger indikation om förekomst av tunna bottenlager av grövre fragment som ställvis överlagrar den glaciala leran.

Den principiella lagerföljden inom typområdet bedöms i riktning nerifrån och upp att utgöras av urberg, jotnisk sandsten, morän och glacial lera. I gränsen mot typområde A kan berggrunden dock utgöras av ordovicisk kalksten alternativt kambrisk berggrund.

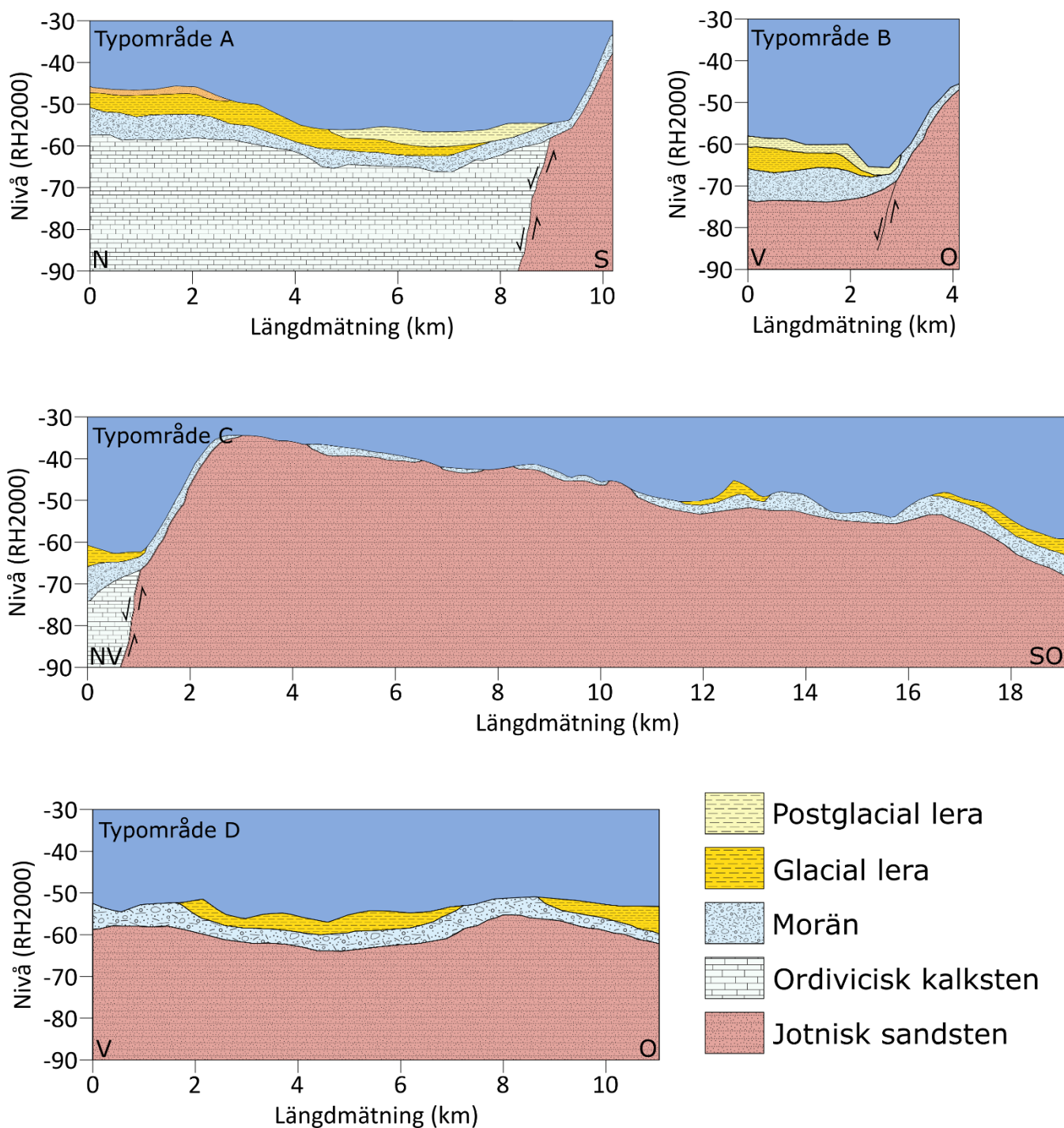
Inom typområdet finns kännedom om den glaciala lerans minsta mäktighet vid en provpunkt, se Figur 15. Här överstiger den glaciala lerans mäktighet sex meter, vilket är lite större än den vanligaste förekommande

mäktigheten inom Södra Bottenhavet. Jordlagrens samlade mäktighet bedöms ej överstiga storleksordningen 20 meter inom typområdet.

En principiell sektionsritning av sektion genom typområde C framgår av Figur 18 i avsnitt 4.4.5.

4.4.5 Typområdessektioner

Principiella typområdessektionsritningar redovisas i Figur 18. Sektionerna redovisas för att tydliggöra de förekommande lagerföljderna. Jordlagrens mäktighet har redovisats med godtycklig mäktighet inom de vanligt förekommande mäktighetsintervallen. Observera att det inte är samma skala för nivå och längdmätning vilket medför att höjdskillnader överdrivs.



Figur 18. Principiella sektioner genom typområden A-D.

5 GEOTEKNISKA FÖRUTSÄTTNINGAR

5.1 BÄRIGHET OCH GRÄVBARHET

De förekommande jordlagrens bärighet och grävbarhet kan enligt SGU (Nyberg 2016) översiktligt beskrivas på en relativ skala från 1 (hög) till 5 (låg), se

Tabell 3.

Moränens bärighet beror på dess sammansättning, där en grovkornig morän har högre bärighet än en finkornig morän. Eftersom moränen inom projektområdet antas vara finkornig bedöms bärigheten vara relativt låg (3–4). Grävbarheten i morän är generellt låg (3–5) oavsett sammansättning.

Glacial leras geotekniska egenskaper varierar mycket, med mycket hög till låg bärighet (1–5) och hög till låg (1–3) grävbarhet.

Postglacial lera uppvisar mindre variation än glacial lera avseende de geotekniska egenskaperna. Bärigheten är generellt låg (4–5) och grävbarheten hög (1–2).

Postglacial finsand varierar i bärighet från mycket hög till låg (1–4) och har generellt hög grävbarhet (1–2).

Tabell 3. Översiktlig bedömning av förekommande jordarters bärighet och grävbarhet.

Gradering på en relativ skala från hög (1) till låg (5)

Jordart	Bärighet	Grävbarhet
Morän, finkornig	3–4	3–5
Glacial lera	1–5	1–3
Postglacial lera	4–5	1–2
Postglacial finsand	1–4	1–2

Utifrån ovanstående generella beskrivning bedöms jordlagren inom projektområdet kunna uppvisa stora skillnader avseende bärighet, med bärigheter från 1 (hög) till 5 (låg). Även grävbarhet i spannet 1 (hög) till 5 (låg) kan förekomma inom projektområdet, men grävbarheten bedöms generellt vara lägre i typområde C, där ytjordarten utgörs av morän, jämfört med övriga typområden där ytjordarten främst utgörs av glacial och postglacial lera.

6 SAMMANFATTNING

Med bakgrund i det tillgängliga underlaget beskrivit i avsnitt 2 och 3 har projektområdet för Najaderna delats in i fyra typområden. Typområden skiljer sig avseende vattendjup samt förekommande ytjordarter och berggrund.

Ytberggrunden utgörs inom största delen av projektområdet av jotnisk sandsten med stor mäktighet, så kallad Gävlesandsten. I norra delen genomskärs projektområdet av en nordost-sydvästligt orienterad förkastning som utgör gränsen för sandstenens utbredning inom området. Nord om förkastningen utgörs berggrunden främst ordovicisk kalksten som vilar på kambriska lager, men de kambriska lagerna kan utgöra ytberggrund inom ett väldigt begränsat område.

De inom området förekommande jordarterna utgörs av morän (troligen finkornig) som överlagras av glacial lera och postglacial lera (troligen lergyttja eller gyttjelera). Inom ett begränsat område utgör postglacial finsand ytjordart. Den samlade jordlagermäktigheten bedöms inom projektområdet uppgå till maximalt cirka 20 meter, men bedöms ha en betydligt mindre mäktighet inom centrala delen av projektområdet där vattendjupet är mindre och den jotniska sandstenen ställvis går i dagen.

Inga geotekniska undersökningar har i dagsläget utförts inom projektområdet och de förekommande jordarternas geotekniska egenskaper har - vad avser bärbarhet och grävbarhet - beskrivits generellt.

För vidare arbete rekommenderas geofysiska och geotekniska undersökningar som underlag för bedömning av lämpliga fundamenttyper och placering av vindkraftsanläggningarna.

7 REFERENSER

Alhberg, P. (1986): Den svenska kontinentalsockelns berggrund. Rapporter och meddelanden 47. Sveriges Geologiska Undersökning.

Gorbatshev R. (1967): Petrology of Jotnian rocks in the Gävle area, east central Sweden. Sveriges Geologiska Undersökning, serie C 621, 1–50.

Jaanusson, V. (1973): Aspect of carbonate sedimentation in the Ordovician of Baltoscandia, Lethaia, 6, 11–34.

Lundegårdh, P.H. (1967): Berggrunden i Gävleborgs län, Sveriges geologiska undersökning serie Ba 22.

Nyberg, J. (2016): Beskrivning till maringeologiska kartan Södra Bottenhavet (K 541). Sveriges Geologiska Undersökning.

Sandegren, R., Asklund, B. & Westergård A.H. (1939): Beskrivning till kartbladet Gävle. Sveriges Geologiska Undersökning serie Aa 178, 1–143.

SGU (2020): Artikel med rubrik *Alunskiffer* på web-adress <https://www.sgu.se/mineralnaring/gruvor-och-miljopaverkan/alunskiffer/>. Hämtad 2023-08-15. Senast granskad 2020-12-01.

Thorslund, Axberg (1979): Geology of the southern Bothnian Sea. Part 1 i Bulletin of the Geological Institutions of the University of Uppsala, N.S. Vol. 8, 35–62.

Wik, N-G., Albrecht, L., Bergman, S., Kubler, L. & Sundberg, A., 2009: Malmer, industriella mineral och bergarter i Gävleborgs län. Rapporter och Meddelanden 130. Sveriges Geologiska Undersökning.

Winterhalter, B. 1972: On the geology of the Bothnian sea, an epeiric sea that has undergone Pleistocene glaciation, Geological survey of Finland, Bulletin 258

VI ÄR WSP

WSP är en av världens ledande rådgivare och konsultbolag inom samhällsutveckling. Med cirka 55 000 medarbetare i över 40 länder samlar vi experter inom analys och teknik, för att framtidssäkra världen.

Tillsammans med våra kunder tar vi fram innovativa lösningar för en mänsklig, trygg och välfungerande morgondag. Vi planerar, projekterar, designar och projektleder olika uppdrag inom transport och infrastruktur, fastigheter och byggnader, hållbarhet och miljö, energi och industri samt urban utveckling. Så tar vi ansvar för framtiden.

wsp.com

WSP Sverige AB
Box 574
201 25 Malmö
Besök: Jungmansgatan 10

T: +46 10-722 50 00
Org nr: 556057-4880
wsp.com

