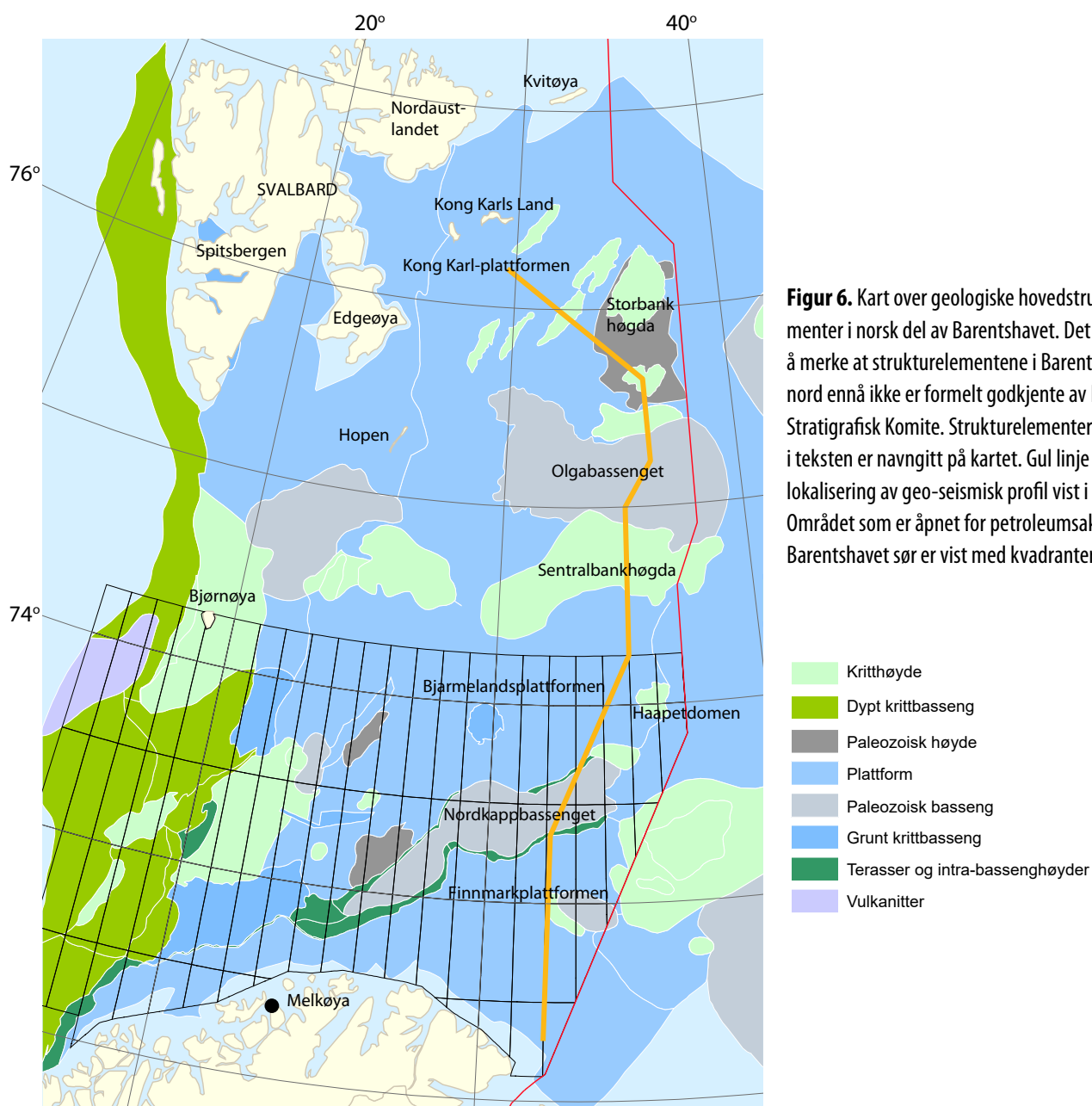


STRUKTURELL OG STRATIGRAFISK OVERSIKT I BARENTSHAVET NORD

Barentshavet er inndelt i geologiske bassenger, plattformer og høyder, samlet kalt strukturelementer (figur 6). Regionen har en mer eller mindre kontinuerlig sedimentær lagrekke fra øvre paleozoikum til eocen. I den kartlagte østlige delen av Barentshavet nord er lagrekken fra sen kritt alder og yngre erodert, og den kvartære lagpakken er svært tynn. På de største høydene har bergarter av trias alder utgående lag.

STRUKTURELLE HOVEDTREKK

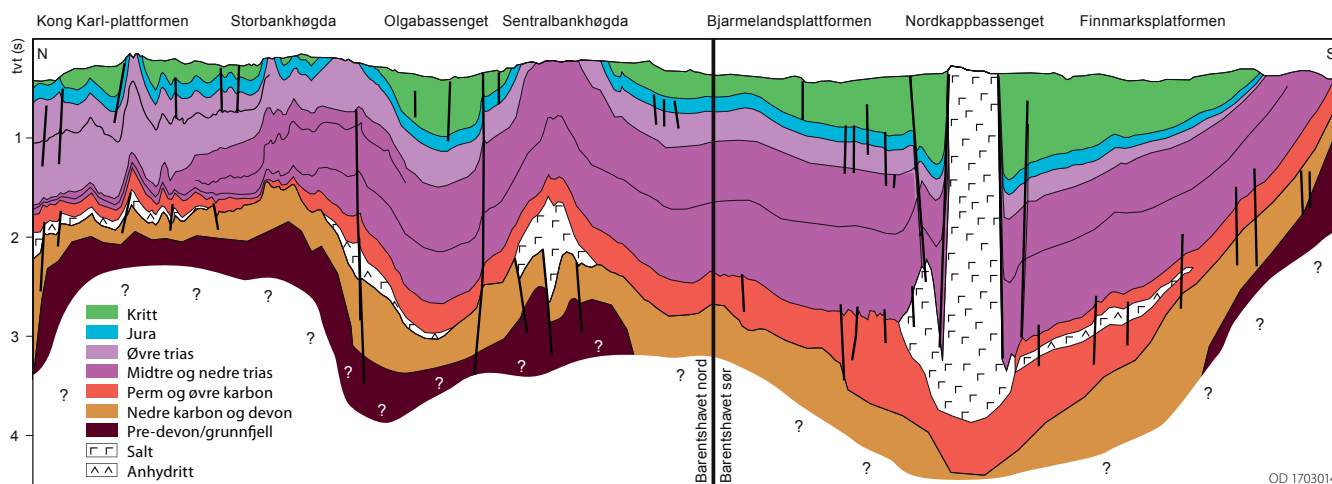
Den nordøstlige orienteringen av bassengene og høydene i Barentshavet sør, antiklinalene på Kong Karl-plattformen og Storbankhøgda, og mye av Sentralbankhøgda er antatt å hovedsakelig være kontrollert av reaktivering av eldre svakhetssoner. Viktige tektoniske hendelser som påvirket de østlige delene av Barentshavet nord er oppsummert i figur 13. I løpet av sen paleozoikum og mesozoikum var denne delen av Barentshavet et tektonisk relativt rolig område.



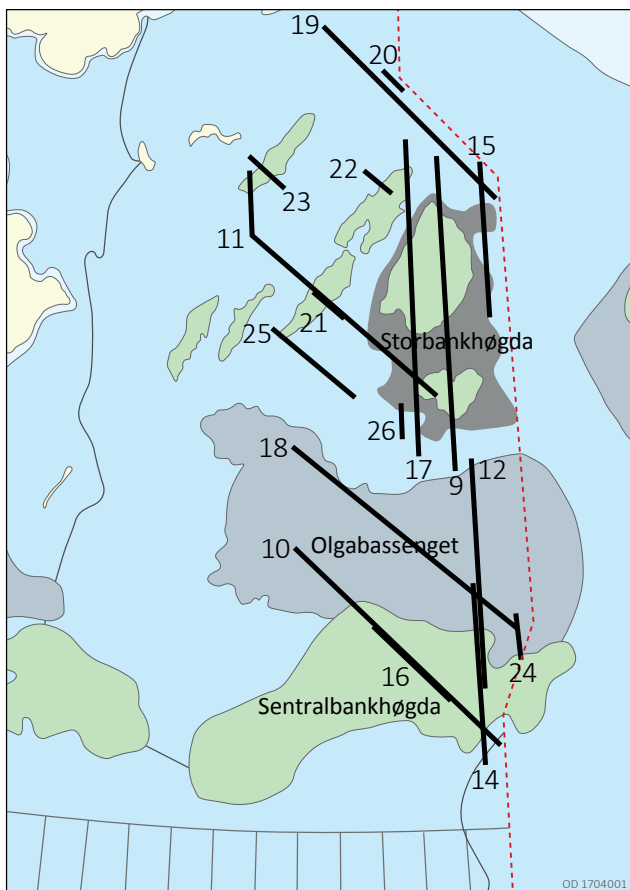
Regionale ekstensjonsbevegelser i form av rifting fant sted i midtre karbon. Senere bevegelser i senperm, senjura og tidligkritt er dominert av kompresjon. Utviklingen av de strukturelle høydene i den østlige delen av Barentshavet nord slik de framstår i dag begynte i senjura tid. Regional innsynkning begynte i senperm og fortsatte i trias, da et stort elvedeltasystem fra Uralfjellene i sørøst prograderte gradvis nordvestover over Barentshavet og nådde fram til Svalbard i sentrias (Lundschieen et al., 2014). Området har blitt utsatt for kraftig kompresjon i senere tid, sannsynligvis i paleocen-eocen, men siden senkritt og yngre lagpakker i dag mangler, kan ikke hendelse(n)e dokumenteres direkte fra området. I løpet av kvartær ble hele området nediset, og glasial erosjon fjernet det meste av sedimentene av senkritt og yngre alder.

Figur 7 er en geo-seismisk profil som viser de viktigste strukturelementene øst i den norske delen av Barentshavet. Avsetningene er hovedsakelig av sendevon/karbon til kritt alder, og er mer erodert i nord enn i sør. Områder som var bassenger/grabenere i karbon, er som oftest assosiert med evaporittavsetninger og noen steder, som i Nordkappbassenget, med salt diapirisme.

Flere av disse gamle bassengene/grabenene er blitt inverterte og framstår i dag som høyder, slik som Sentralbankhøgda og antiklinaler på Kong Karl-plattformen. På profilen i figur 7 framkommer antiklinale på Kong Karl-plattformen og Storbankhøgda. Videre viser figuren at de store strukturelementene som Storbank- og Sentralbankhøgda er kraftig erodert, sannsynligvis på grunn av kompresjonsbevegelser i paleogen og senere glasial erosjon.



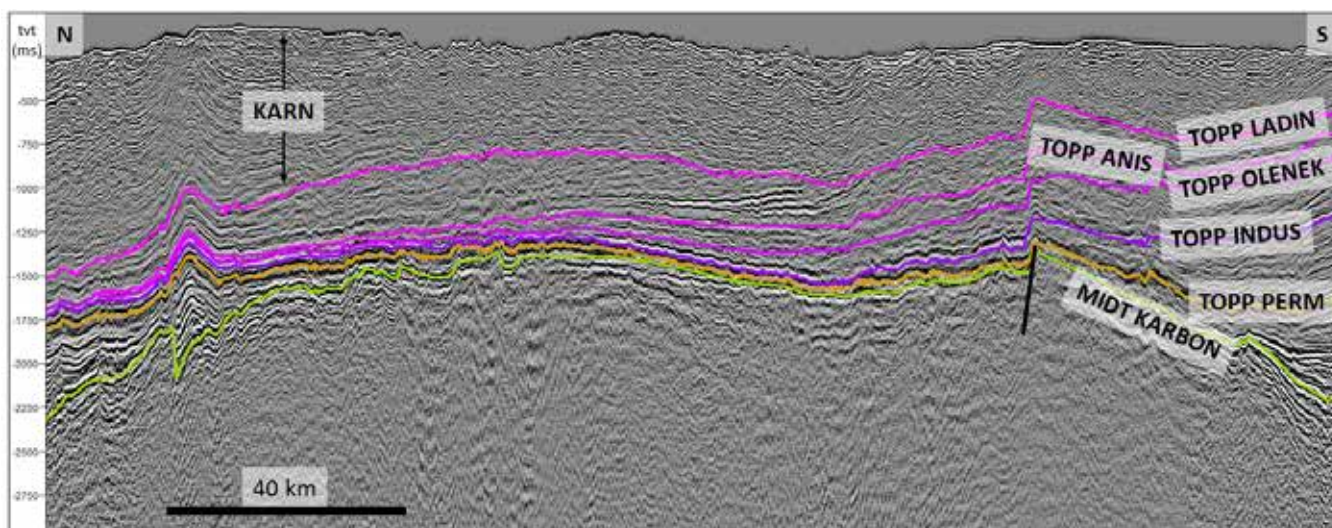
Figur 7. Geo-seismisk profil som viser hovedstrukturelementene i den østlige delen av norsk del av Barentshavet. Lokalisering av profilen er vist i Figur 6.



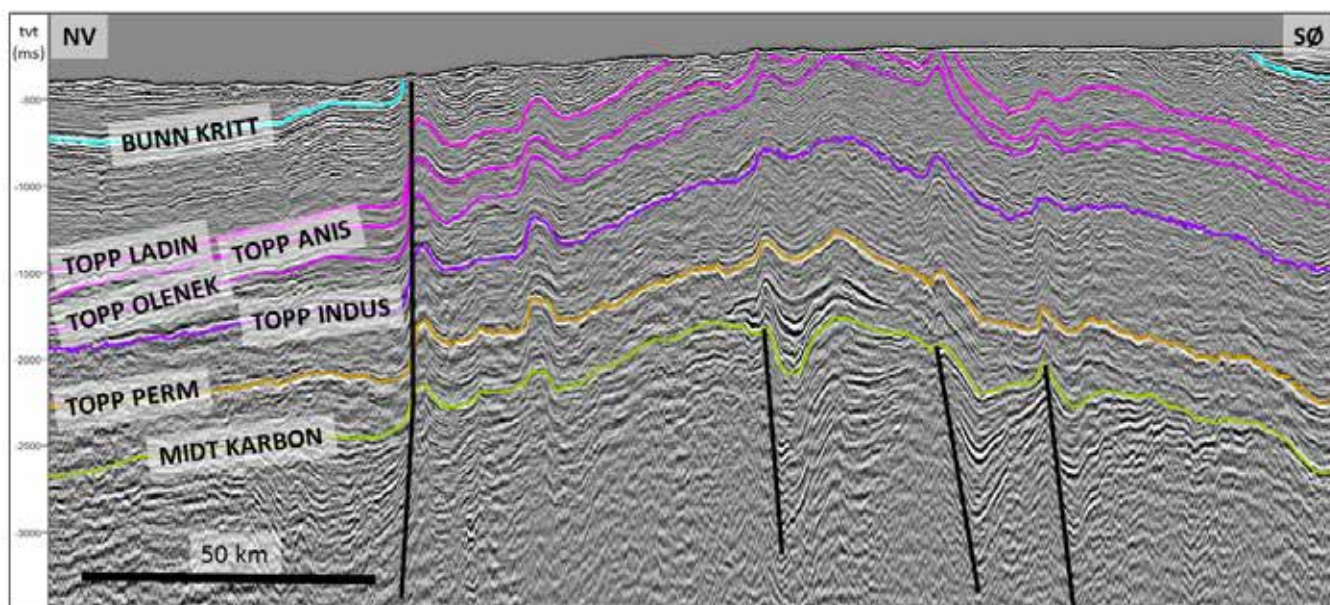
Figur 8. Lokalisering av seismiske profiler

Under er de strukturelle hovedtrekkene illustrert ved en del seismiske profiler, lokaliseringen av disse er vist i figur 8.

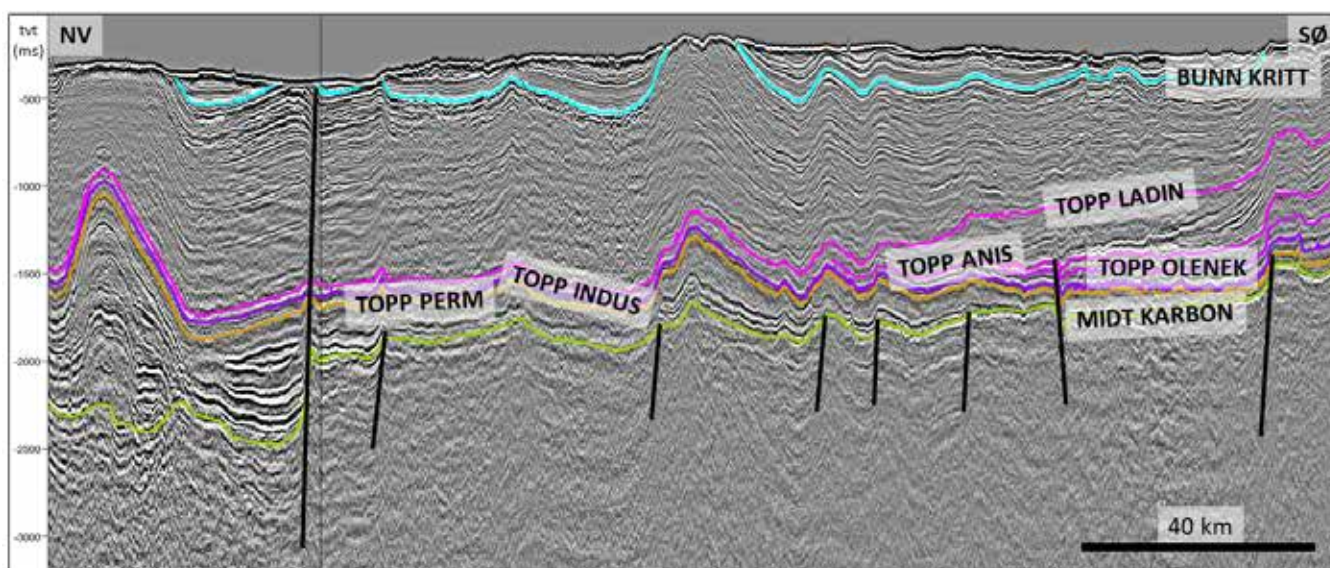
Storbankhøgda er en paleozoisk høyde med en tynn øvre karbon til perm lagpakke (figur 9). Den østlige delen av Sentralbankhøgda har en paleozoisk kjerne med flere horst- og grabenstrukturer dannet i midtre karbon, men er i motsetning til Storbankhøgda dekket av en tykk øvre karbon til perm lagpakke (figur 10). Store deler av Kong Karl-plattformen domineres av kompresjonsantiklinaler, som trolig skyldes reversering av eldre normalforkastninger og folding lokalisert i områder av plattformen som også inneholdt høyder i mye av paleozoikum (figur 11). Olgabassenget er et basseng som sank inn i kritt, men var også et dypt basseng i paleozoisk tid (figur 12).



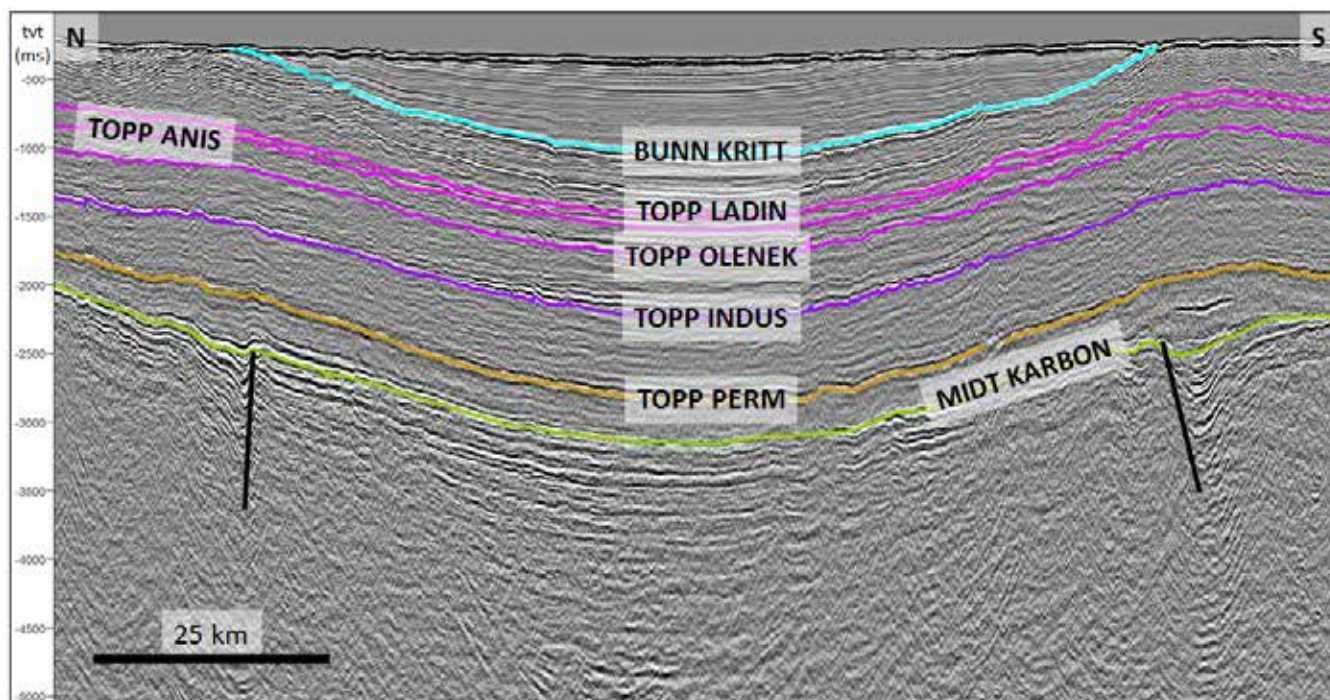
Figur 9. Profil over Storbankhøgda. Tynn lagpakke fra senkarbon-perm over høyden, tynn undre- og midtre trias i nord. Øvre trias (karn) sedimenter dominerer i nord, og hele jura-pakken er erodert. Mye av Storbankhøgda ser ut til å kunne være en grunnfjellshøyde. Lokalisering av profilen er vist i figur 8.



Figur 10. Profil over Sentralbankhøgda, Olgabassenget i nord. I stor skala viser profilen kompresjon av Sentralbankhøgda. Halvgrabensystemer av antatt tidligkarbon alder, og mobilisering av evaporitter avsatt i senkarbon og tidligperm i nedre del av profilen. I mindre skala vises små kompresjonsantiklinaler som trolig skyldes inversjon av tidligere dannede normalforkastninger. Disse bevegelsene ser ut til å gjennomsette hele lagrekken fra grunnfjellet til havbunnen. Lokalisering av profilen er vist i figur 8.



Figur 11. Profil over Kong Karl-plattformen, sørlig del av Storbankhøgda i sørøst. Plattformen er dominert av store og små kompresjonsantiklinaler. Lagpakken under karbon reflektoren har dårlig reflektivitet og kan indikere at mye av plattformområdet er del av et grunnfjellsplatå. I nordvest er det et markant paleozoisk bassengområde med en stor saltrelatert antiklinal og en svært tynn undre- og midtre triaspakke. Lokalisering av profilen er vist i figur 8.



Figur 12. Profil over Olgabassenget, flanken av Sentralbankhøgda i sør og Storbankhøgda i nord. Lagrekken fra øvre del av senjura og tidligkritt tynner opp mot begge høydene. Tydelige reflektorer under karbonreflektoren viser at bassenget er dannet i tidligkarbon eller devon. Lokalisering av profilen er vist i figur 8.

STRATIGRAFISK BESKRIVELSE

Figur 13 er en skjematisk framstilling av krono- og litostratigrafien øst i den norske delen av Barentshavet korrelert mot østlige Svalbard. Korreleringen er basert på geologisk informasjon fra brønner i sør, grunne borer i nord, seismisk kartlegging og feltarbeid på Svalbard. Det litostratigrafiske rammeverket i Barentshavet og landområdene på Svalbard viser store likhetstrekk og kan deles inn i regionalt kartleggbare enheter (grupper og formasjoner).

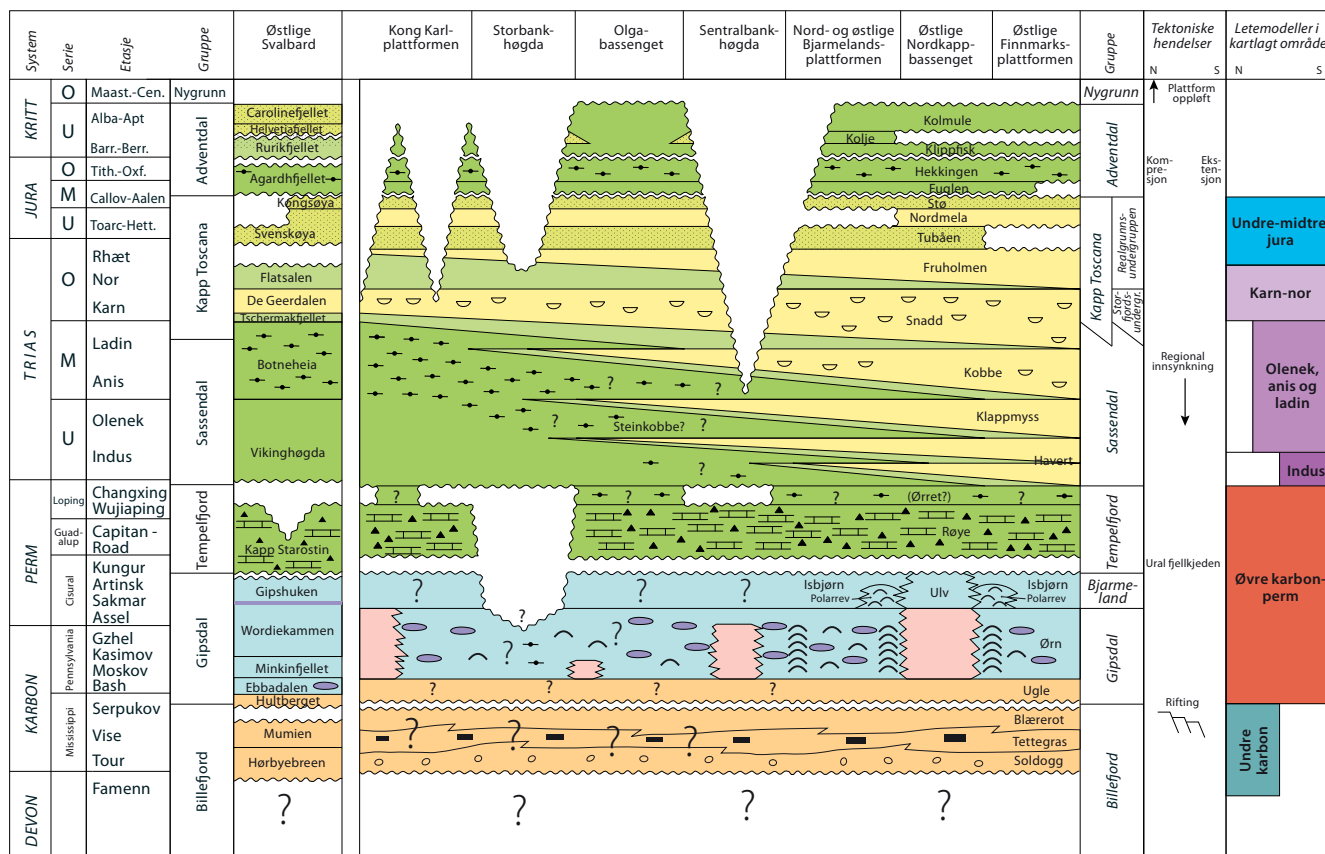
Lagrekken reflekterer både kortvarige og lengre variasjoner i relativt havnivå og et klima som kontinuerlig var i forandring. Klimavariasjonene er knyttet til en generell nordlig bevegelse for hele området, fra ekvatoriale forhold i overgangen devon-karbon til et nordlig temperert klima i løpet av paleogen og neogen. Lagrekken er dominert av silisiklastiske bergarter, men avsetning av karbonatbergarter dominerte i senkarbon og tidligperm, når regionen var lokalisert i det nordlige, tørre klimatiske beltet.

DEVON OG TIDLIGKARBON

Bergarter av devon alder er ikke påvist i borer i norsk sektor av Barentshavet. Utviklingen av devon øst for Svalbard er ukjent.

I tidligkarbon ble Barentshavet utsatt for en tektonisk fase med ekstensjon og utvikling av riftbassenger. Vekstforkastninger assosiert med denne riftingen er bl.a. godt synlig på Sentralbankhøgda (Figur 14).

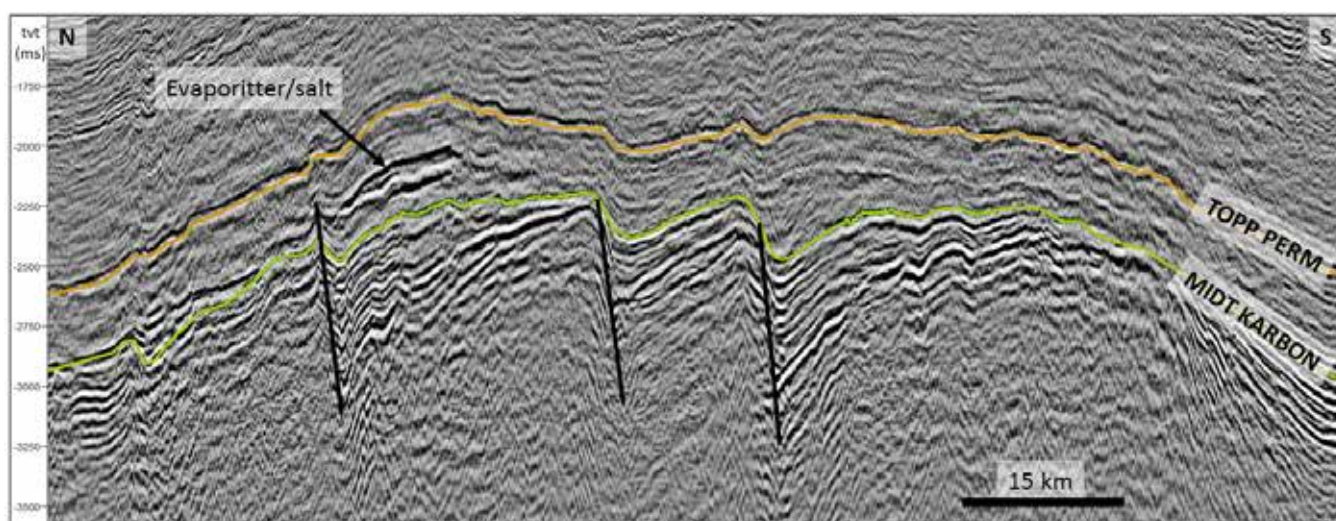
I Billefjorden på Spitsbergen er det observert store mektigheter av klastiske sedimenter inklusive konglomerater, i et veldefinert grabensystem fra tidligkarbon. Her er det også utviklet kull-lag som var driftet i gruvesamfunnet Pyramiden. Tilsvarende grabensystemer finnes flere steder på Spitsbergen, hvor de største, i tillegg til Billefjorden-trauet, er Indre Hornsund- og St. Jonsfjord-trauet. Basert på seismiske observasjoner fra Barentshavet nord, er det grunn til å tro at tilsvarende grabensystemer finnes mange steder i det kartlagte området (Figur 15).



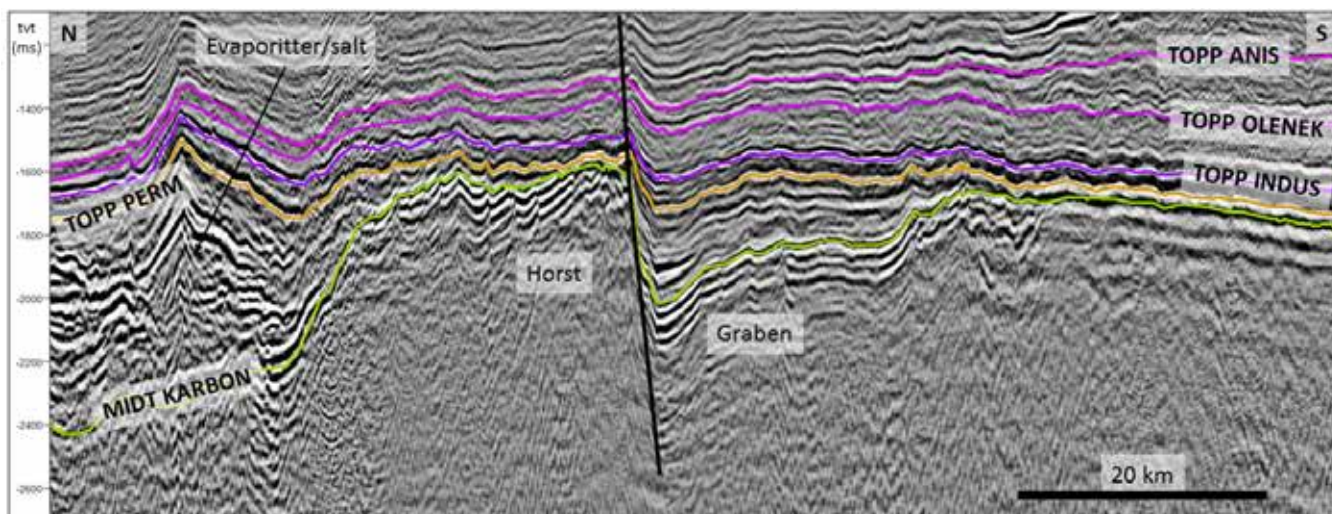
OD 1703015

- Hevet/erodert område
- Kontinentale, klastisk avsetninger, mest skifer og siltstein
- Salt (halitt)
- Kalkstein
- Proksimale evaporittavsetninger, sabkha
- Kyst-, delta- og flomslette-avsetninger
- Grunnmarine avsetninger, sandstein
- Marine avsetninger, mest skifer
- Dypmarine avsetninger, mest skifer
- Kalkholdige skifre, kalkstein- og mergel-strenger
- Spikulitt
- Sandsteinsinnslag
- Kildebergart
- Kanalavsetninger
- Karbonatoppbygninger
- Kull
- Konglomerat

Figur 13. Kronostratigrafi og litostratigrafisk diagram for den østlige delen av norsk del av Barentshavet og for østlige Svalbard, modifisert fra <http://www.npd.no/en/Topics/Geology/Lithostratigraphy/>. Til høyre i diagrammet er det angitt tektoniske hendelser som har påvirket området og hvilke letemodeller som er etablert i østlige deler av Barentshavet nord.



Figur 14. Vekstforkastninger i roterte halvgrabenssystemer av antatt tidligkarbon alder på østlige deler av Sentralbankhøgda. Merk at lagpakken av sen karbon og perm alder tykner over hele Sentralbankhøgda og i dag framstår som et invertert strukturelement.



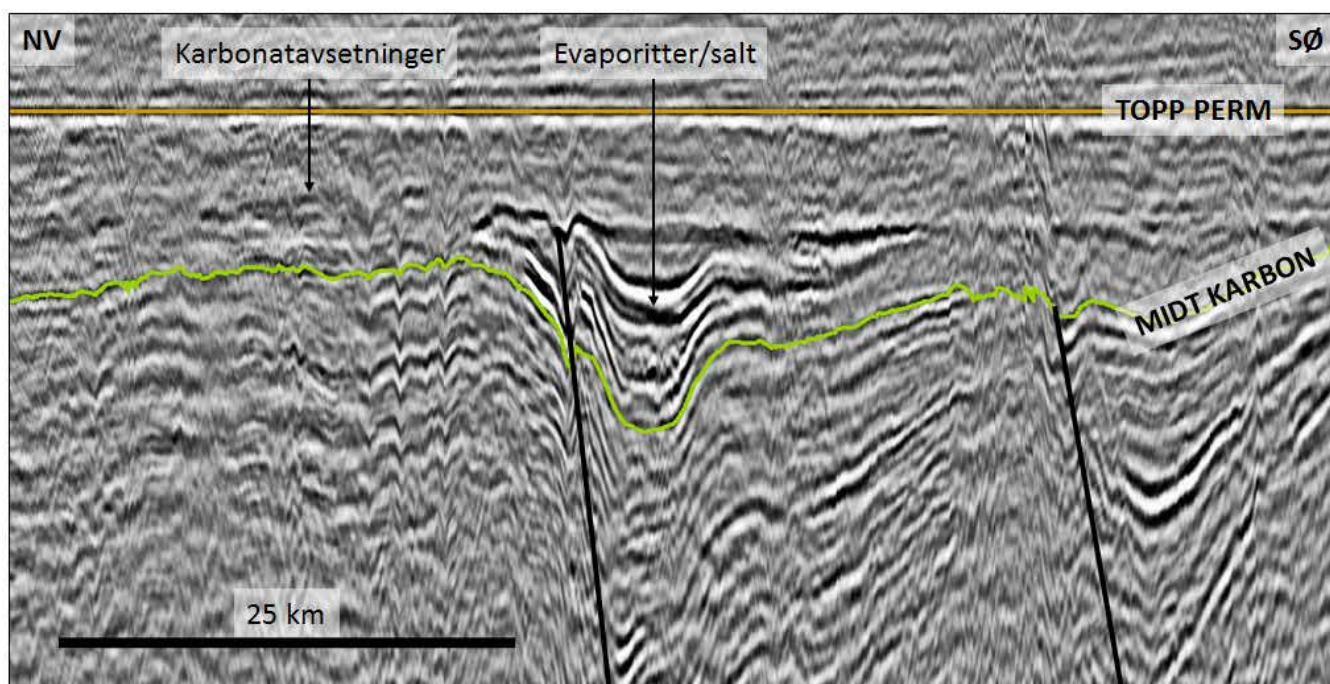
Figur 15. Horst / grabensystem fra nordøstlige Storbankhøgda. Toppen av horsten representerer en inkomformitetsflate og var sannsynligvis eksponert over havnivå i overgangen perm-trias.

Det er grunn til å tro at disse sedimentene har en liknende karakter som på Spitsbergen, og kan egne seg både som kildebergart og reservoarbergart der sedimentene ikke har vært for dypt begravet.

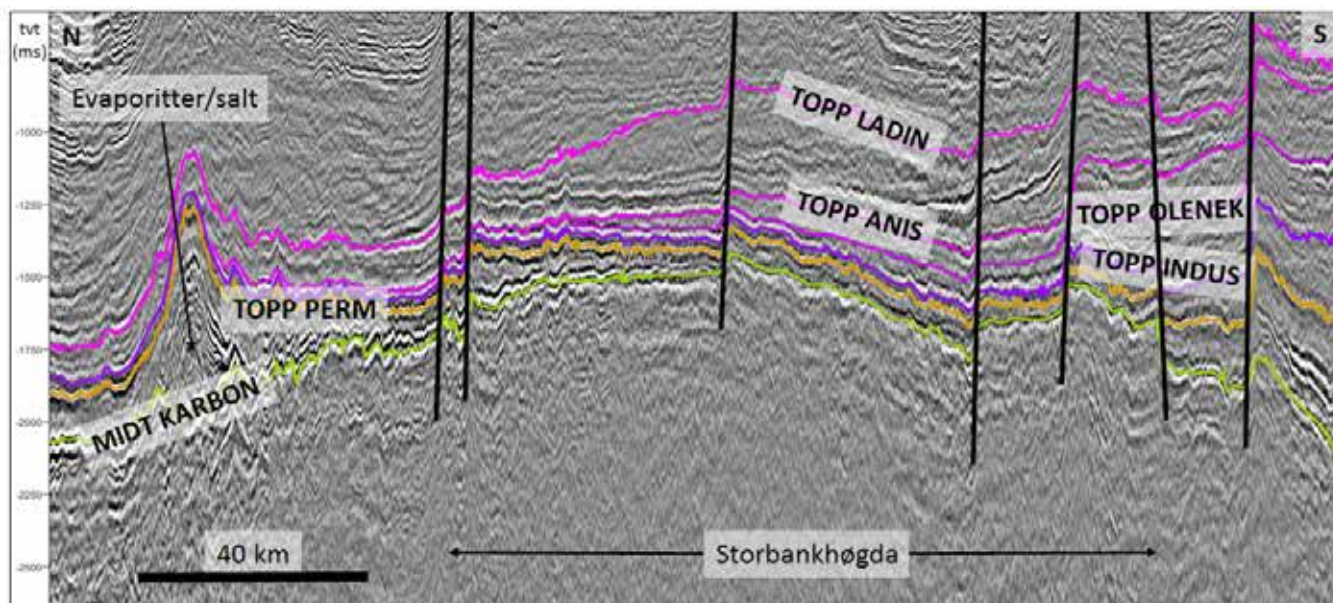
SENKARBON- PERM

Ekstensjon og rifting fortsatte også ved overgangen tidlig- til senkarbon. Et tørt klima kombinert

med hyppige havnivåendringer førte blant annet til avsetning av evaporitter som gips/anhydritt og salt i de sentrale delene av grabenstrukturene (figur 16). Det kartlagte området domineres av et marint miljø langt fra klastiske tilførselssystemer. Lateralt til de dypeste evaporittbassengene, på plattformer og høyder, kan det ha blitt avsatt ulike typer karbonater. Magnesiumrike dolomitter dominerer i senkarbon



Figur 16. Utsnitt fra Sentralbankhøgda flatet på topp perm-reflektoren. Evaporittavsetninger (sterke reflektorer) i den største grabenen og karbonatavsetninger (homogen og lite reflektiv lagpakke) på høydene og plattformområdene. Etter hvert som grabenen ble fylt inn med evaporitter, ble grabenområdene også en del av karbonatplattformen. Merk at topp perm-flaten setter opp en kraftig multiplert internt i det som er antatt å være karbonatavsetninger.



Figur 17. Sedimenter av senkarbon og perm alder tynner over Storbankhøgda. Dette kan skyldes liten sedimentasjon og/eller erosjon på grunn av eksponering over havnivå. Merk signifikant tynning av indus, olenek og anis nordover.

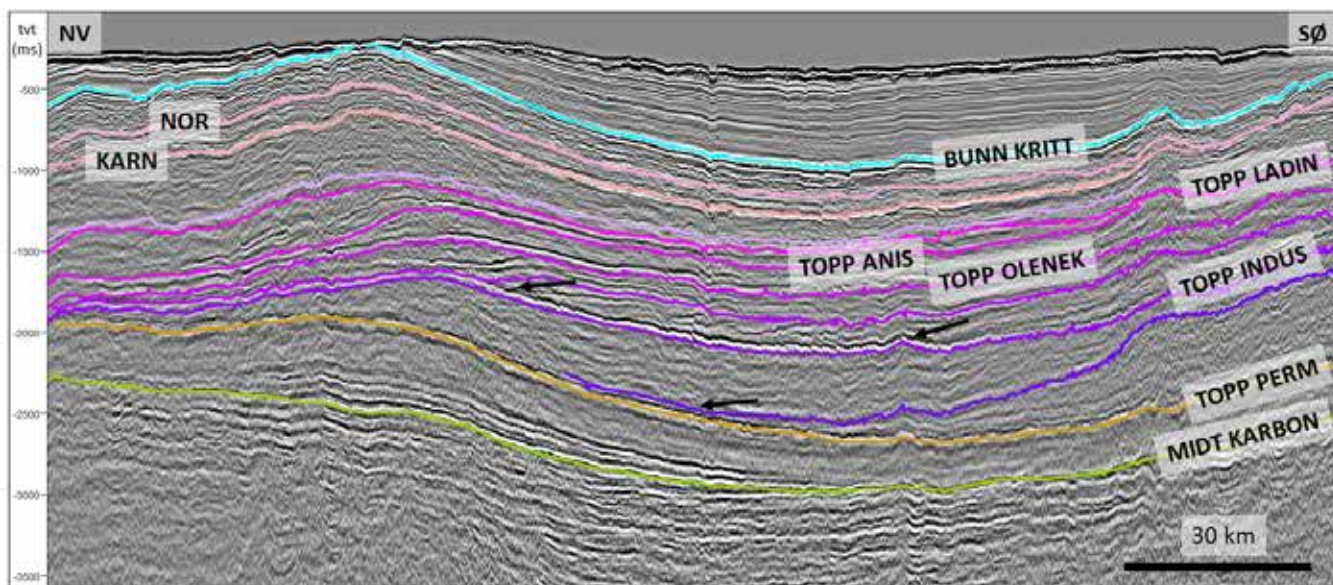
og tidligperm, mens kalksteiner og skifer dominerer i senperm. Oppbygging av rev kan ha vært en viktig faktor for dannelse av reservoarbergarter i senkarbon og perm. Dette gjelder særlig på horstene og høydene rundt evaporittbassengene.

I senkarbon var Barentshavet lokalisert i det nordlige tørre klimatiske beltet, men globalt var jorden i en istidsperiode. Gjennattede globale istider og mellomistider førte til store globale variasjoner i havnivå, noe som også påvirket Barentshavet. De hyppige havnivåendringene førte til at de avsatte karbonatene gjentatte ganger tidvis ble eksponert for luft med mulighet for karstifisering. Kollapsbrekser som følge av utlutning av evaporitter kan også ha spilt en rolle i dannelse av reservoarbergarter.

I siste del av perm ble deler av Barentshavet nord utsatt for en ny tektonisk periode som i den paleozoiske lagpakken førte til en generell heving av

høyder og innsynkning av bassenger. Mot slutten av perm førte endring i relativt havnivå til at flere områder ble eksponert, også så mye at de kom over havnivå og da ble utsatt for erosjon. På eksponerte forkastningsblokker ble det utviklet landområder der karbonatbergarter kan ha blitt utsatt for ytterligere karstifisering og muligens også bearbeiding av kystprosesser (figur 17).

Aldersdifferansen – hiatusen - mellom trias og perm er av ulik utbredelse. I områder der karbonatene har vært hevet over havnivå og eksponert for mulig karstifisering, er det et større tidsgap enn der hvor karbonatene har vært mindre eksponert eller eventuelt har ligget under vann i hele overgangen perm-trias (figur 15). På Edgeøya og Wilhelmøya mangler f. eks. store deler av tidligtrias, noe som tyder på at karbonatene har vært eksponert og erodert over et lenger tidsrom.



Figur 18. To sett klinoforutbygginger i tidligtrias (vist med piler), ett i indus og ett i olenek, i Olgabassenget. Repetert nedlapp på topp perm og topp indus reflektorer.

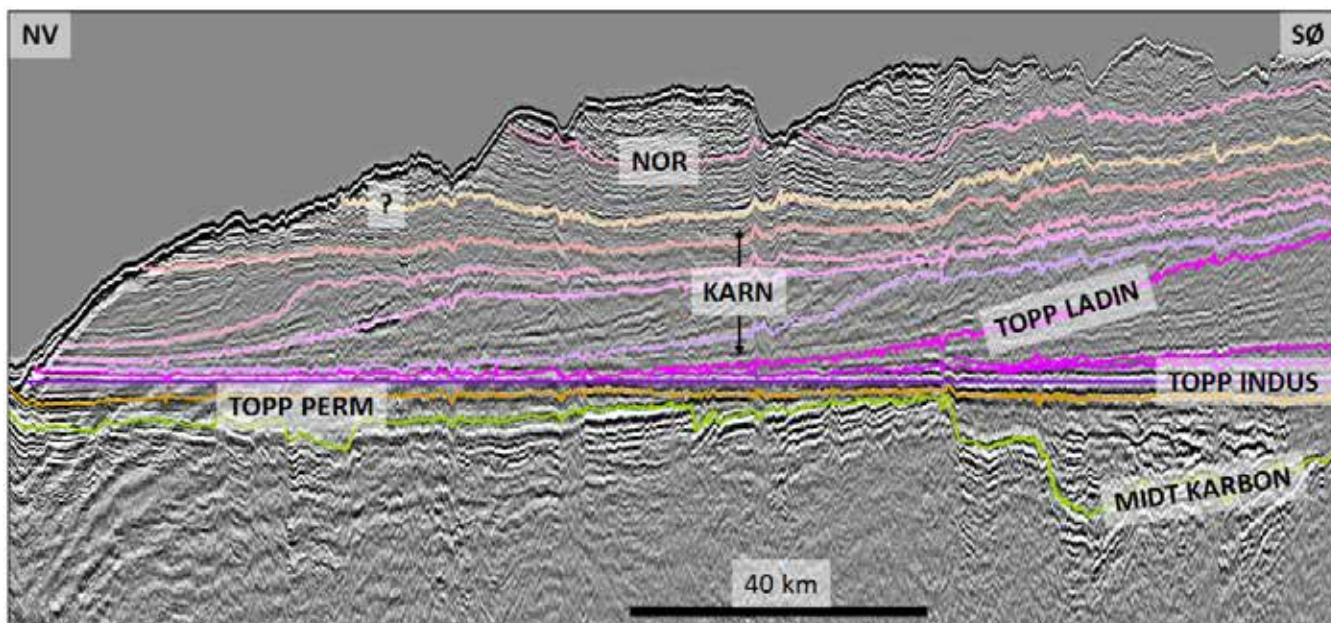
TRIAS

Gjennomgående er trias en rolig tektonisk periode i Barentshavet nord. Hele triasperioden ble dominert av et mektig delta- og flomslettesystem som bygget seg gradvis ut vest- og nordvestover mot Svalbard, med kilde i sørøst fra Uralfjellene og i øst fra Novaja Semlja. På seismiske data kan dette systemet kartlegges som forskjellige klinoforutbygginger av forskjellig alder som blir yngre nordvestover (figur 7). Klinoformene som observeres på de seismiske data er av en slik skala at de sannsynligvis representerer en markant sokkelprogradasjon i form av enorme delta- og flomsletteutbygginger (figur 18). I tidligtrias (sen indus) nådde dette systemet Sentralbankhøgda og Olgabassenget. I overgangen indus-olenek sank bassenget raskere enn tilførselen av nye sedimenter, og de etablerte deltaene i indus ble transgredert. Seismisk tolkning indikerer at denne hendelse var regional over hele Barentshavet.

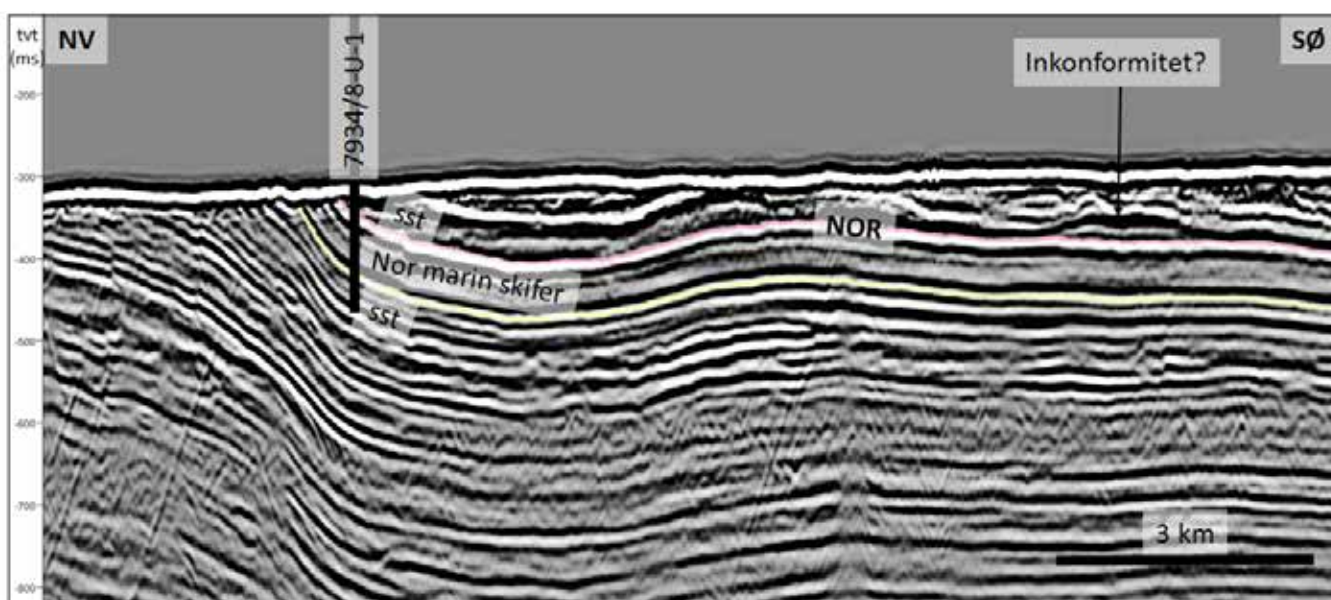
Basert på den seismisk tolkingen i dette arbeidet, er det vanskelig å finne indikasjoner på større tektoniske hendelser i mellomtrias. Imidlertid viser brønndata at det sannsynligvis har forekommet mindre trans- og regresjoner som kan skyldes globale havnivå- endringer eller lokal lobeinnsynkning og utbygging. Lobeskifte er en naturlig prosess i alle progressive deltautbygginger og har sannsynligvis vært en svært viktig faktor i fordeling av sand og silt, samt leire gjennom hele trias i Barentshavet.

I sentrias fortsatte prograderingen representert ved nye klinoformer, og sedimenttilførselen ser ut til å ha økt betraktelig i Barentshavet nord (figur 19). Dette skyldes sannsynligvis økt tilførsel av sedimenter fra kildeområdene i øst og sørøst, som igjen kan skyldes tektoniske hendelser på Novaja Semlja og Uralfjellkjeden i trias, og / eller variasjoner i klima som også kunne ført til økt erosjon i fjellområdene. I nærheten av Kvitøya er det avsatt anslagsvis 1500-1800 m sedimenter i karn, noe som kan tyde på at det initielt var større havdyp her eller en økende innsynkning av disse områdene.

Preliminære resultater fra grunne boringer i 2015 tyder på at tilførsel av klastiske sedimenter fortsatte i nor tid. Denne trenden ble avbrutt av den regionale marine transgresjonen av nor alder, representert med en datert skifer fra de grunne boringene og som kan være ekvivalent til Flatsalenformasjonen på Svalbard og (nedre del av) Fruholmenformasjonen i Barentshavet. Mot slutten av nor indikerer den seismiske tolkingen at det er en erosjonsgrense (inkonformitet) mellom nor og rhaet sør for Kvitøya (figur 20).



Figur 19. Trias sekvenser i den nordligste delen av kartlagt område flatet på indus-reflektoren. Trias ligger med erosjonskontakt til permsedimentene.



Figur 20. Borehull 7934/8-U-1 er boret gjennom sedimenter av sentrias alder, og dateringene viser en nor marin skifer (Flatsalenformasjonen). Overliggende og underliggende sandsteiner (sst) er ikke datert.

JURA OG ØVERSTE TRIAS (RHAET)

På Kong Karls Land, (figur 2) er det eksponert ca 230 m klastiske sedimenter i Realgrunnundergruppen (bunnen av undergruppen kommer ikke opp i dagen; Larssen et al. in prep). Størsteparten av disse sedimentene tilhører Svenskøya- og Kongsøyaformasjonene av tidlig- og mellomjura alder. En stor del av de klastiske sedimentene består her av tidevannsavsetninger. Seismisk tolkning i det kartlagte området

sør for Kvitøya, viser en antatt tykkelse på ca 250 m på sedimenter av samme alder.

På Haapetdomen i Barentshavet sør viser atributt-kartlegging av 3D seismikk kanalsystemer i Realgrunnundergruppen som går fra sørøst mot nordvest slik trenden var gjennom hele trias, og de geomorfologiske karakteristika indikerer at dette er fluviale kanaler. Prospektet Korpffjell på Haapetdomen er planlagt

boret i 2017 (PL 859). Retningen for kanalsystemet på Haapetdomen er en god indikasjon på at provenansområdet enten ligger på Novaja Semlja eller enda lenger sør i Uralfjellkjeden. Ekstrapoleres retningen på kanalsystemene i Realgrunnundergruppen på Haapetdomen mot nordvest, kan de korreleres med delta-avsetninger og fluviale kanaler i Wilhelmøyundergruppen på Hopen.

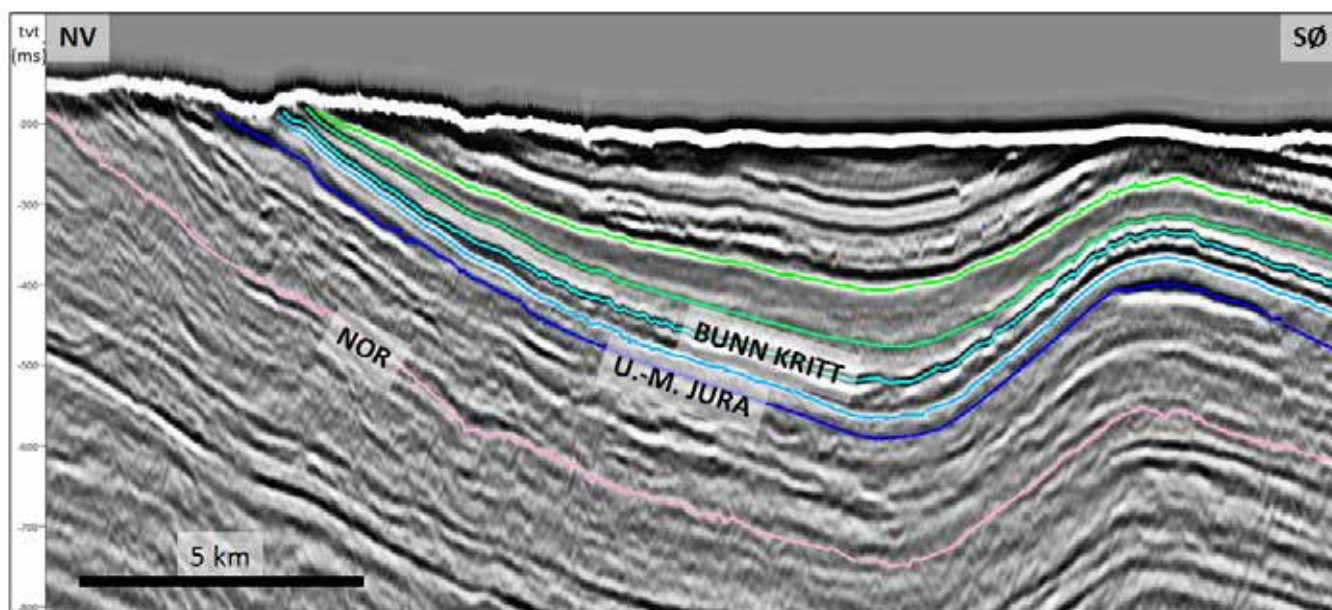
Fra Spitsbergen er det kjent at sedimentasjonen endret seg i midtjura. Det ble utviklet et karakteristisk kondensert lag (Brentskardhauglaget) som markerer overgangen mellom sentrias og tykke marine skifer i Agardhfjellformasjonen (tilsvarer Fuglen og Hekkingenformasjonen i Barentshavet) i senjura. På Kong Karls Land viser denne skiferen markert tynning på toppen av en større antiklinal, noe som viser at tektonikken som førte til dannelse av antiklinalen må predatere de overliggende sandsteinene av tidligkritt alder. Sandsteinene i Helvetiafjellformasjonen i tidligkritt ligger med erosjonskontakt til underliggende skifer i senjura (Larssen et al. in prep). Tilsvarende tynning av den organisk rike skiferen fra senjura kan observeres på de seismiske linjene ved nært sagt alle de store antiklinalene og høydene der dette laget ikke er erodert (figur 21). Dette viser at de tidligste fasene av dannelsen av disse strukturene fant sted i senjura og tidligkritt.

KRITT

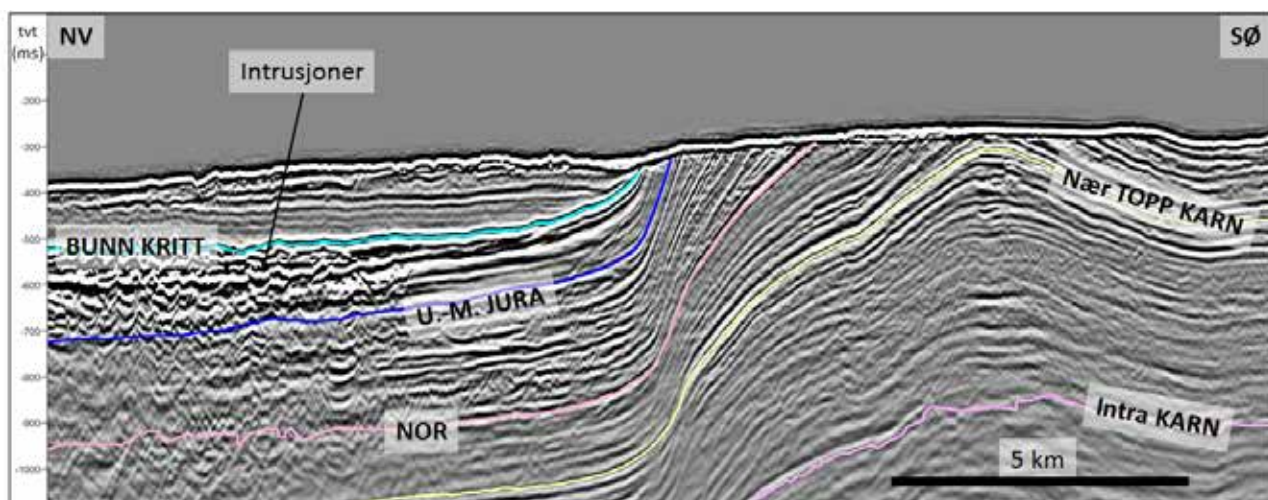
I en kort periode i tidligkritt var det omfattende vulkansk aktivitet i Barentshavet nord. På Kong Karls Land er vulkanittene utviklet både som basaltisk lava og intrusiver. Intrusjoner fra denne perioden er vanlig både på Svalbard og i store deler av Barentshavet nord, hvor de er lette å identifisere på seismikken (figur 22). Disse forekommer både som gjennomskjærende gangbergarter og lagerganger.

Foldestrukturene i det nordøstlige Barentshavet ble kraftig reaktivert og fikk sin nåværende form i en tektonisk fase som ikke kan dateres stratigrafisk fordi senkritt og yngre sediment er erodert. Det er tidligere foreslått en paleogen alder på denne fasen, sammenfallende med fjellkjededannelsen på Spitsbergen. Den nye kartleggingen i Barentshavet nord viser at grabenstrukturene i karbon/pern til en viss grad har styrt folderetningen til antiklinalene.

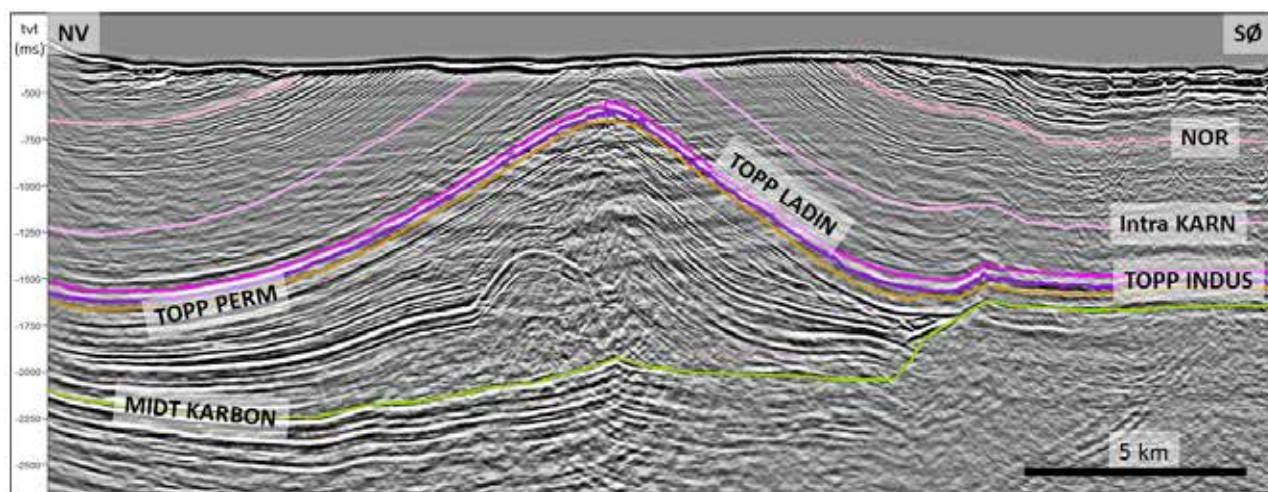
Da evaporittene begynte å bevege seg, ble de overliggende sedimentene presset opp (figur 23). Dannelsen av domer startet sannsynligvis de fleste steder i senjura, men har viktige faser i tidligkritt (figur 24).



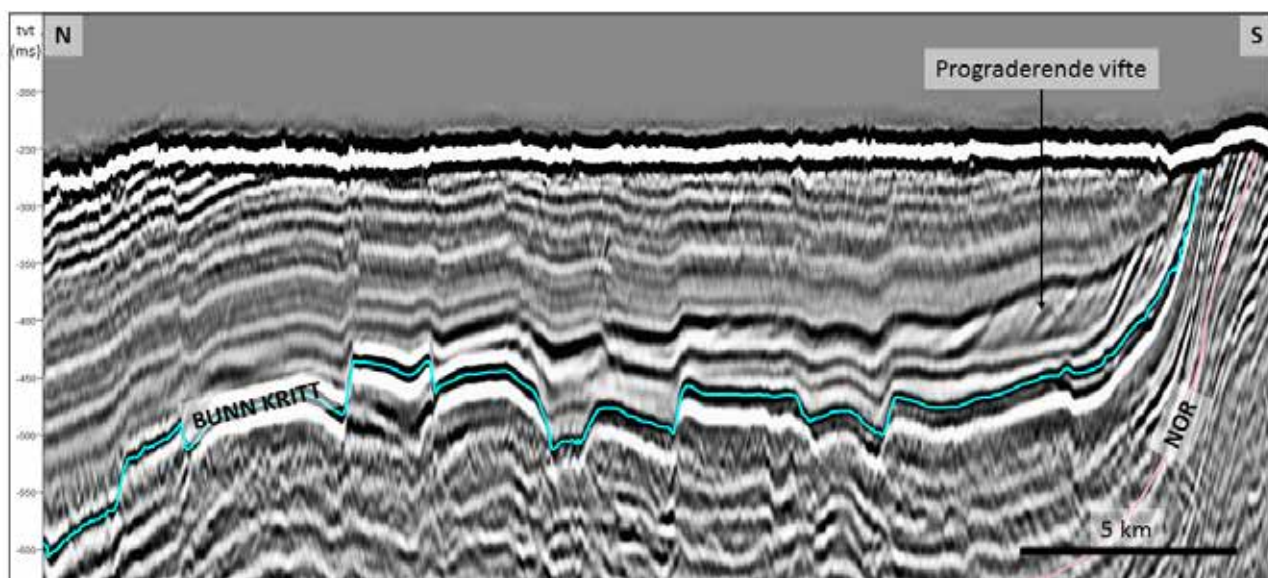
Figur 21. Tynning av skiferen av senjura alder, og avsetninger fra nederste kritt på flanken av en av de store antiklinalene på Kong Karl-plattformen er vist til venstre i figuren. Lagpakkene under ser ikke ut til å tynne ut mot antiklinalene.



Figur 22. Intrusjoner som følger lagningen (lagerganger) på Kong Karl-plattformen i lagrekken av senjura alder til venstre i figuren. Merk at refleksormønsteret som representerer tidligkritt lapper på bunn kritt reflektoren på flanken av antiklinalen.



Figur 23. Den største saltstrukturen i kartlagt område, like øst-sørøst for Kong Karls Land. Denne strukturen danner en stor antiklinal ca 15 km bred og 75 km lang. Ut fra geometrien på rimsynklinalene ser saltmobiliseringen ut til å være startet etter avsetningene av sentrias alder.



Figur 24. Prograderende vifteavsetning av tidligkritt alder på østlige del av Sentralbankhøgda. Trolig er sedimentene i vifteavsetningen lokalt derivert.

PALEOGEN

Som beskrevet over har en av hovedteoriene for dannelsen av de store antiklinalene i det nordøstlige delen av kartlagt område, vært at disse skjer på samme tid som kompresjon på Svalbard i paleogen. Imidlertid er det ikke påvist paleogene sedimenter i det kartlagte område som kan bekrefte dette. Paleogene sedimenter finnes på Spitsbergen eller den vestlige delen av Barentshavet hvor folderetningen er forskjellig fra retningen øst for Svalbard.

Samtidig indikerer tolkning av seismikk at tektonikk som er relatert til regionale bevegelser i senjura og tidligkritt og doming relatert til evaporitter, har vært en svært viktig faktor i dannelsen av høydene og antiklinalene i tidligkritt før den eller de siste fasene av kompresjon fant sted.

NEOGEN-KVARTÆR

I pliocen-kvartær, har det kartlagte området vært utsatt for gjentatte nedisningsperioder. Disse kan deles inn i tre hovedfaser, startfasen for 3,6 millioner år siden, deretter en vekstfase før siste fase med storskala glasiering for ca. 1 million år siden (Knies et al., 2009). Erosjonen knyttet til nedising førte til omfattende erosjon av hele Barentssokkelen. Store mengder sedimenter ble avsatt i submarine områder (deposenter) langs den vestlige og nordlige marginen. Maksimal total erosjon var størst på nordlige plattformområder og områdene rundt Svalbard. På Svalbard er det estimert at 2-3 km med sedimenter er fjernet (Smelror et al., 2009). Denne omfattende erosjonen skyldes både glacial erosjon og erosjon knyttet til de tektoniske hendelsene i paleogen. Det meste av paleogen- og krittlagene i Barentshavet nord ble fjernet ved erosjon i neogen i følge Ramberg et al. (2007).

BARENTSHAVET
NORD