

**Analyse av seismiske data innenfor
Gullfakslisensen -
implikasjoner for tolkningen av topp NER**

av

Ingrid Drange



Cand. scient oppgave
Institutt for Geovitenskap
Universitetet i Bergen
August 2003

Forord

Denne hovedfagsoppgaven er utført innen studieretning for petroleumsgeofysikk / -geologi ved Institutt for Geovitenskap, Universitetet i Bergen. Arbeidet er utført i samarbeid med Universitetet og Gullfaks Ressursutnyttelse på Statoil i Bergen.

Jeg vil takke mine to veiledere, Egil Rundhovde på Statoil og Tor Arne Johansen på UiB for all hjelp underveis med denne oppgaven. Berit Kuvaas og Per Digranes har også vært glimrende støttespillere og har kommet med nyttige kommentarer. Bent Ole Ruud på universitetet, verdens mest tålmodige mann, fortjener også en stor takk for all sindig guiding underveis.

En diger takk må også gis til mine gode medstudenter både fra fjern og nær som har kommet med mer eller mindre fornuftige råd på veien, både sent og tidlig. For ikke å snakke om syklubben "Lett på tråden". Det har jammen vært moro alt sammen.

Tusen takk til familien min som har hjulpet meg litt og oppmuntret meg mye, og ikke minst til Kjell Bodvar som har holdt ut.

Bergen, august 2003

Ingrid Drange

Innhold

1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Målsetting med studiet.....	2
1.3 Oppbygning av oppgaven.....	2
1.4 Gullfaksfeltet og Gullfaks Satellitter.....	4
2 Geologisk rammeverk	6
2.1 Innledning.....	6
2.2 Geologisk utvikling i Nordsjøen.....	8
2.2.1 Strukturgeologi.....	8
2.2.2 Sedimentologi.....	13
2.3 Geologien i Gullfaksområdet.....	16
2.3.1 Strukturgeologi.....	16
2.3.2 Stratigrafi og reservoarbeskrivelse.....	21
2.3.3 Avsetningshistorie.....	22
2.3.4 Seismisk avbildning av topp NER.....	30
3 Datagrunnlag, verktøy og arbeidsmetoder	31
3.1 Innledning.....	31
3.2 Datagrunnlag.....	31
3.2.1 Seismikk.....	31
3.2.2 Tidligere tolkninger.....	32
3.3 Verktøy.....	34
3.3.1 SeisWorks.....	34
3.3.2 Nucleus 1D reflectivity.....	34

3.4 Arbeidsmetoder.....	34
3.4.1 Seismisk tolkning.....	35
3.4.2 Signalmodellering.....	35
4 Sammenstilling og tolkning av topp NER	36
4.1 Innledning.....	36
4.2 Bakgrunn for tolkningen.....	36
4.2.1 Akustisk impedans og refleksjonskoeffisient.....	37
4.2.2 Vertikalt seismisk profil (VSP).....	37
4.2.3 Fase og polaritet.....	38
4.3 Integrering av horisontene.....	40
4.4 Kvalitetskontroll av integreringen.....	40
4.4.1 Brønntie under integreringen.....	41
4.4.2 Kontroll i overlappingsområdet.....	45
4.5 Innfyllende tolkning.....	46
4.5.1 Brønntie under innfyllende tolkning.....	46
4.5.2 Datakvalitet i innfyllingsområdet.....	46
4.5.3 Generering av topp NER fra topp Statfjord.....	48
4.5.4 Forkastninger.....	51
4.6 Sammenstilling til sluttprodukt.....	53
4.6.1 Interpolering.....	53
4.6.2 3D visualisering.....	56
4.7 Oppsummering.....	57
5 Seismisk modellering	58
5.1 Innledning.....	58
5.2 Bakgrunn for modelleringen.....	58
5.2.1 Seismisk oppløsning.....	59
5.3 Modelleringsprosessen.....	60
5.3.1 Blokking av logger.....	60
5.3.2 Generering av lagdelt modell.....	61
5.3.3 Generering av syntetiske seismogrammer.....	63
5.3.4 Hastighetsspekter / analyse.....	64
5.3.5 NMO-korreksjon.....	65

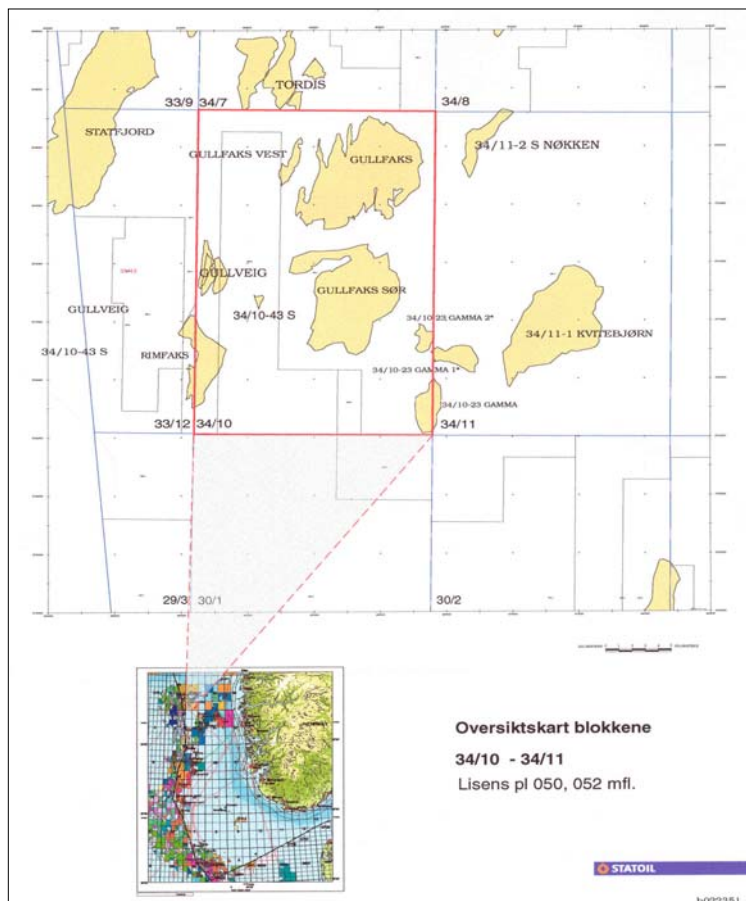
5.3.6	Stacking.....	66
5.3.7	Identifisering av topp NER.....	66
5.3.8	Fjerning av kull.....	67
5.4	Observasjoner.....	68
5.4.1	Modellert topp NER.....	68
5.4.2	Sammenligning med reell seismikk.....	71
5.4.3	Modellerte signal uten kull.....	77
5.4.4	Sammenligning av signal med og uten kull.....	80
5.5	Oppsummering.....	83
6	Diskusjon	85
6.1	Innledning.....	85
6.2	Seismisk tolkning.....	85
6.2.1	Multipelproblematikk.....	86
6.2.2	Forkastningstolking.....	86
6.2.3	Sammenstilling til endelig horisont.....	88
6.3	Seismisk modellering.....	88
6.3.1	Faktorer som kan påvirke modelleringsresultatet.....	89
6.3.2	Sammenligning av signalform og brønnenes geografiske plassering.....	92
6.3.3	Kullets innvirkning på signalet.....	93
6.4	Modelleringens implikasjoner på tolkingen.....	94
6.5	Oppsummering.....	95
7	Konklusjon og videre arbeid	96
	Bibliografi	98
A	Datamateriale	101
B	Modelleringsdata	102
C	Modellerte brønner	103

Kapittel 1

Innledning

1.1. Bakgrunn

Denne oppgaven inngår som en del av Strukturelt Integrerings Prosjekt (SIP) i regi av Statoil, der Egil Rundhovde er prosjektleder. Prosjektets hovedmål er å sammenstille seismiske tolkninger over flere stratigrafiske nivå for å få en regional oversikt over Gullfaksområdet (se Fig. 1.1 og Kap 2.3). Oppgaven er utført delvis i samarbeid med andre studenter på SIP.



Figur 1.1. Kartet viser hvor Gullfaksområdet befinner seg i blokk 34/10 og deler av 33/12. Figuren er laget av Statoil 2003.

1.2. Målsetting med studiet

Oppgaven har to primære mål:

- Sammenstille seismiske tolkninger fra Gullfaks, Gullfaks sør, Rimfaks og Gullveig for å få en konsistent flate på topp NER-nivå (Kap. 2.3.3 *Brentgruppen*).
- Modellere det seismiske topp NER-signalet for å bedre forståelsen av hvor i stratigrafien det blir satt opp. Videre avgjøre om modelleringsresultatet har implikasjoner på tolkningen i Gullfakslisensen.

Sammenstillingen innebærer bruk av både tidligere og nye tolkninger av seismikk i arbeidsområdet. Tidligere tolkninger vil bli brukt fra Gullfaks hovedfelt og Gullfaks satellitter mens mer perifere områder vil bli tolket for å få en horisont som dekker hele Gullfaksområdet.

I arbeidet med å modellere det seismiske topp NER-signalet vil brønndata fra utvalgte brønner i Gullfaksområdet danne grunnlaget for en 1D-modellering for lagdelte modeller. Disse vil danne grunnlaget for syntetisk seismikk hvor signalet på topp NER-nivå vil bli undersøkt både med opprinnelige og editerte data fra brønnlogger. Dette kan bidra til å avdekke kilden til refleksjonen. Videre vil syntetisk seismikk sammenlignes med reell for å vurdere påliteligheten i modelleringsresultatene.

1.3. Oppbygning av oppgaven

Oppgaven tar for seg det geologiske rammeverket for arbeidsområdet og datagrunnlaget for den seismiske tolkningen og signalmodelleringen. Videre beskrives tolkningsarbeidet innenfor Gullfakslisensen og modelleringsarbeidet fra de utvalgte brønnene. Observasjoner fra tolkning og modellering blir kommentert og fremstilt visuelt og danner grunnlaget for en diskusjon omkring resultatene.

Oppgaven har følgende oppbygning:

- Kapittel 2 beskriver i korte trekk den geologiske historien til nordlige Nordsjø både regionalt og lokalt. Spesiell oppmerksomhet er viet strukturer i Gullfaksområdet og utvikling av Brentdeltaet.
- Kapittel 3 tar for seg datagrunnlaget for oppgaven og hvilke dataverktøy som er benyttet. Videre blir det gitt en kort beskrivelse av arbeidsmetodene som er benyttet i oppgaven.
- Kapittel 4 omtaler arbeidet med den seismiske tolkningen i Gullfaksområdet og prosessen med å sette sammen uavhengige tolkninger til én helhetlig flate. Bakgrunnsteori for seismikk blir kort presentert og metodene som er benyttet i tolkningsarbeidet blir omtalt. Observasjoner underveis blir kommentert og fremstilt visuelt.
- Kapittel 5 beskriver arbeidet som er gjort i forbindelse med den seismiske signalmodelleringen. Bakgrunnsteori blir forklart i korte trekk og modelleringsprosessen blir presentert trinn for trinn. Videre vil modelleringsresultatene bli sammenlignet både med syntetisk og reell seismikk og forsøkt satt i system.
- I Kapittel 6 blir de viktigste observasjonene fra det seismiske tolknings- og modelleringsarbeidet sammenfattet og diskutert.
- Kapittel 7 omfatter konklusjonene etter arbeidet og forslag til videre arbeid.
- Appendiks A er en oversikt over datamaterialet som er brukt i oppgaven.
- Appendiks B viser inngangsverdiene for den seismiske modelleringen.
- Appendiks C er en oversikt over lagdelte modeller, CMP-samlinger, NMO-korrigerede CMP-samlinger og hastighetsanalyser for den enkelte brønn, samt logger over NER-intervallet med og uten kull.

1.4. Gullfaksfeltet og Gullfaks Satellitter

Gullfaks Satellitter er fellesbetegnelsen for feltene Gullfaks Sør, Rimfaks og Gullveig. Både Gullfaksfeltet og Gullfaks Satellitter ligger i blokk 34/10 med unntak av en mindre del av ressursene i Rimfaksområdet, som strekker seg inn i blokk 33/12 (Fig. 1.1). Produksjonslisens PL050 i blokk 34/10 bli tildelt selskapene Statoil, Norsk Hydro og Saga Petroleum i 1978.

Gullfaksfeltet drives fra tre produksjonsplattformer, Gullfaks A, B og C (Fig. 1.2) og har vært i produksjon siden desember 1986. Så langt er det boret over 200 brønner i forbindelse med leting og produksjon på Gullfaksfeltet, dette gir feltet den høyeste tettheten av brønner i Nordsjøen (Statoil, 2002b). Daglig produseres det 280 000 fat olje og 11 millioner kubikkmeter gass fra hovedfeltet og 125 000 fat olje fra satellittfeltene (Statoil, 2003).



Figur 1.2. Gullfaksfeltet drives fra tre produksjonsplattformer, Gullfaks A, B og C. Satellittfeltene blir fjernoperert fra Gullfaks A og C ved hjelp av havbunnsinstallasjoner. Figuren er hentet fra Statoils hjemmesider.

Feltene i satellittområdet har olje og gass i de samme reservoarene som på Gullfaksfeltet. Disse er Brentgruppen, Cook-, Statfjord- og Lundeforrasjonen. Et stort overlageringsdyp over

satellittfeltene har ført til en betydelig reduksjon av reservoarparametrene porøsitet og permeabilitet. Videre gir sterk segmentering og forseglende forkastninger på Gullfaks Sør opphav til kompliserte væskekontakt- og strømningsforhold (Statoil, 2002a , 2002b).

Utviklingen av satellittfeltene har foregått i to faser. Fase 1 omfatter produksjon av olje- og kondensatreserver med reinjeksjon av gass inn mot Gullfaks A-plattformen. Gullveig kom i drift som første felt i oktober 1998. Fase 2 omfatter produksjon og eksport av gassreserver og assosierte væskemengder fra Brentreservoaret på Gullfaks Sør inn mot Gullfaks C-plattformen. Gassleveransene fra Gullfaks Satellitter startet i oktober 2001 (Statoil, 2002a).

Kapittel 2

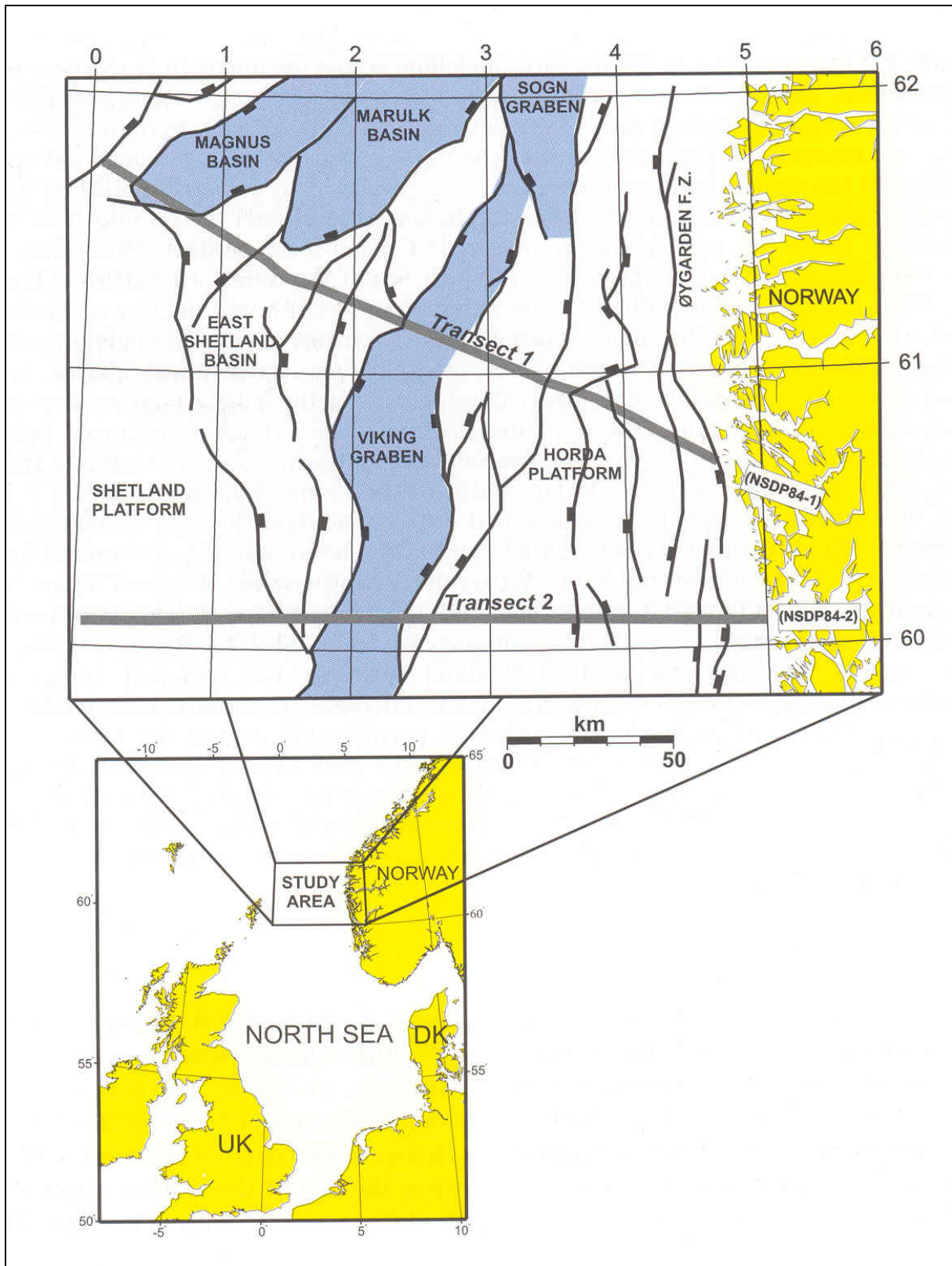
Geologisk rammeverk

2.1 Innledning

Gullfaks hovedfelt og Gullfaks satellitter ligger på vestflanken av Vikinggraben (Fig. 2.1). I dette kapitlet vil den geologiske historien til undersøkelsesområdet bli diskutert. I tillegg til den strukturelle utviklingen vil det her gis en oversikt over utviklingen av sedimentologien i området med spesiell vekt på Brentdeltaet. Til slutt vil det bli gitt en kort introduksjon til det seismiske topp NER-signalet.

Nordsjøen er et riftbasseng som er dannet gjennom flere ekstensjonsperioder, de tidligste er mindre kjent som følge av overprinting av de senere hendelsene (Roberts et al., 1995). Med den nordlige Nordsjøen forstår vi området mellom det vestlige fastlandet i Norge og Shetlandsplattformen mellom 58 og 62 ° N (Fig. 2.1). Hele dette området hviler på pre-devonske bergarter som er metamorfosert både gjennom den kaledonske og tidlige orogener (Johnson et al., 1993).

Arbeidsområdet er dominert av N-S til NNØ-SSV strykende forkastninger som følge av Ø-V ekstensjon gjennom flere faser. De to viktigste fant sted i overgangen perm-trias og sen jura (Fossen & Hesthammer, 1998).



Figur 2.1. Hovedstrukturelementene i nordlige Nordsjø (bunn kritt er referansenivå). Grå områder er primært påvirket av strekningen i Jura og tidlig kritt. Etter Odinsen et al. (2000).

2.2 Geologisk utvikling i Nordsjøen

2.2.1 Strukturgeologi

Prekambrium – karbon

Den kaledonske orogenesis og lukkingen av Iapetushavet tok til i slutten av kambrium som følge av konvergerende platebevegelser mellom den nordamerikanske platen (Laurentia) og det Baltiske skjold (Ziegler, 1990). I ordovicium og silur resulterte dette i dannelsen av en stor orogen kile bestående av proterozoiske og undre proterozoiske bergarter som ble skjøvet over det Baltiske skjold. Overskyvningen skjedde langs et underlag bestående av fyllitter og andre metasedimentære bergarter (Fossen & Rykkelid, 1992).

I tidlig devon endret platebevegelsene seg og ekstensive bevegelser førte til tilbakeglidning av den overskjøvne enheten og kollaps av den kaledonske fjellkjeden. Tilbakeglidningen skjedde langs skyvesonene og skjærsoner ble utviklet i grunnfjellet. Eksempler på slike er Hardangerfjord skjærsone og Nordfjord-Sogn detachment (Fig. 2.2) (Fossen & Rykkelid, 1992).

I perioden devon – karbon kolliderte den amerikanske og den afrikanske platen og superkontinentet Pangea ble dannet gjennom den hercynisk-varisiske orogenesis. (Ziegler, 1990).

Perm – Trias

I perm var hele vestre og sentrale Europa en del av superkontinentet Pangea. Denne perioden er preget av intrakontinental reorganisering av platene og er forløpet til den mesozoiske oppsprekningen av Pangea i trias. Spenningsforholdene i de varisiske og appalachiske foldebeltene endret seg fra sen karbon – tidlig perm kompresjon til triassisk ekstensjon (Ziegler, 1990). På grunn av manglende brønndata om synrift sedimenter assosiert med strukturer dannet i denne perioden har tidspunktet for denne tidlige riftfasen vært gjenstand for diskusjon, og både perm og trias alder er foreslått (Odinsen et al., 2000). I denne riftfasen ble uregelmessighetene i jordskorpen som var dannet under sammenføyningen av Laurasia og Gondwanaland reaktivert, og oppsprekningen av Pangea startet i hovedsak langs disse (Ziegler, 1990).

I nordlige Nordsjø var strekningen distribuert i et stort område mellom Shetlandsplattformen i vest og til Øygarden forkastningssone i øst. Ekstensjonen resulterte i store, skråstilte forkastningsblokker avgrenset av N-S strykende forkastninger under Hordaplattformen og Vikinggraben, mens hovedtrenden under Shetlandsbassenget er NNØ-SSV (Odinsen et al., 2000). Hovedriften ligger under vestre del av dagens Hordaplattform (Fig. 2.3) og ved utgangen av trias var det dannet et 130-150 km vidt basseng (Fig. 2.2) (Færseth, 1996). Den permotriassiske fasen ser ut til å ha påvirket et større område enn den senere jurassiske strekningen (Fossen et al., 2000). Flere forfattere foreslår en strekningsfaktor β på 1,3-1,4 i perm-trias (Odinsen et al., 2000; Roberts et al., 1995).

Etter riftingen inntraff en periode med termal innsynkning. Dette kan identifiseres på seismikk som tykking av lagpakke inn mot sentrum av bassenget (Badley et al., 1988). Innsynkningen førte til syn-sedimentære forkastninger langs begge bassengmarginene, og studier har poengtert at bassenget ikke hadde oppnådd termal likevekt da neste strekningsfase inntraff i midt jura (Færseth, 1996). Det nordlige Nordsjøbassenget ble separert fra det sentrale Nordsjøbassenget av en strukturell høyde i trippelpunktområdet for den jurassiske strekningen (Glennie, 1998).

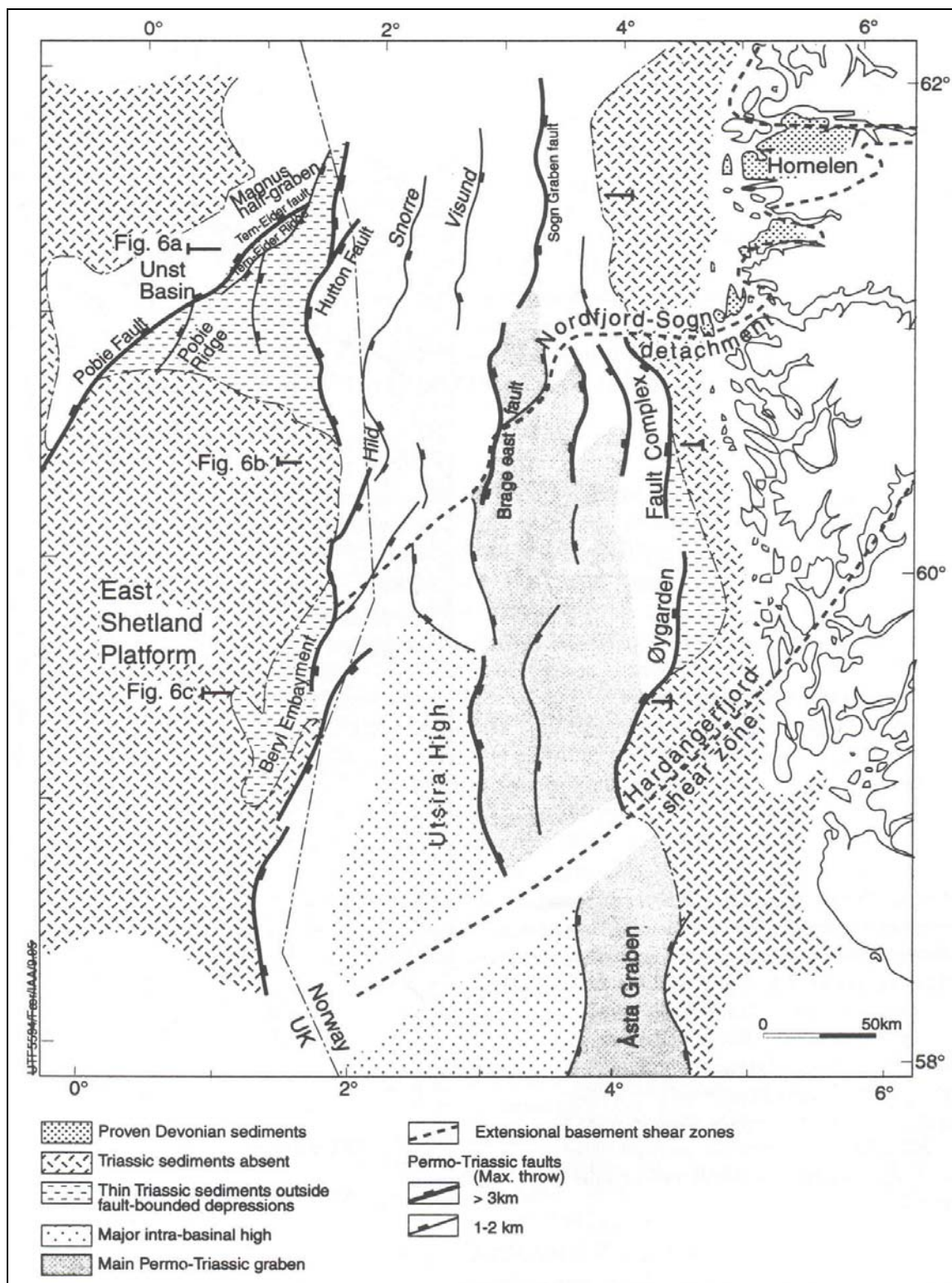
Jura

I midt-jura (bathon) og fram til undre kritt (ryazan) gjennomgikk området en ny fase med rifting (Badley et al., 1988). Det er også foreslått andre tidfestinger av rifteperioden som bathon-berras (Odinsen et al., 2000) og bajoc-volg (Færseth et al., 1997).

Grabenaksene befant seg i Vikinggraben, og nord for 61° i Sogngraben som er det nordligste segmentet i nordlige Nordsjøens riftsystem (Fig. 2.3) (Gabrielsen et al., 1999). Ekstensjonen forårsaket nye N-S- og NNØ-SSV-gående listriske forkastninger, fragmentering av det permotriassiske bassenget og økt innsynkning av bassenggulvet. Det ser ut til at et 150-200 km bredt område ble påvirket av denne ekstensjonen (Gabrielsen et al., 1999), som også reaktiverte hovedforkastningene fra forrige riftingase (Færseth, 1996).

Vikinggraben er en arm i et jurassisk trippelriftsystem bestående av Vikinggraben, Sentralgraben og Moray Firth Basin (Færseth et al., 1997), og representerer sammen med Sogngraben området med maksimal ekstensjon i jura. Denne sonen er en relativt smal (25-40

km) fordykning med NNØ-SSV orientering i det bredere permo-triassiske bassenget (Færseth et al., 1997). Strekningsfaktoren β for den jurassiske riftingen er beregnet til 1,4-1,5 (Færseth et al., 1997; Odinsen et al., 2000).



Figur 2.2. Hovedstrukturelementene i nordlige Nordsjø etter den permo-triassiske ekstensjonen. Etter Færseth (1996).

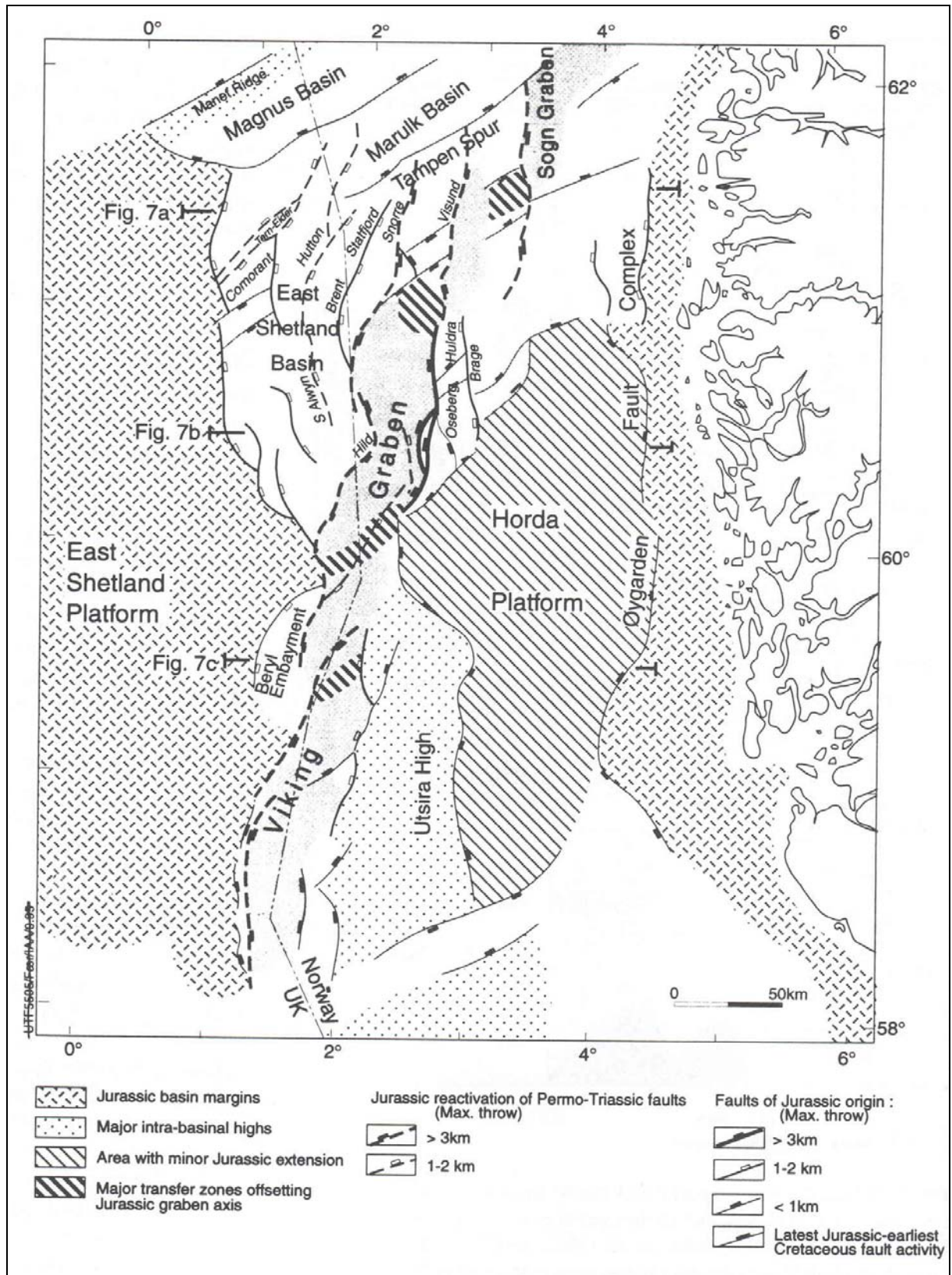
Initielt i fasen var ekstensjonen relativt uniform. I senere stadier dominerte en mer asymmetrisk spenningsfordeling og innsynkningen ble fokusert til vestlige del av Vikinggraben (Gabrielsen et al., 1999). Riftperioden hadde en sekvensiell utvikling, og tidligst i riftperioden (sen bajoc-oxford) var området dominert av reaktivering av N-S orienterte hovedforkastninger og utvikling av mindre NØ-SV-strykende forkastninger. I siste fase (kimmeridge-volg) ser NØ-SV-trenden ut til å overta og bli den viktigste. Nye hovedforkastninger med denne orienteringen tok opp det meste av ekstensjonen og det er observert at disse kutter de tidligere N-S-strykende forkastningene. Dette resulterte i segmentering til mindre, romboedriske forkastningsblokker (Færseth et al., 1997).

Forkastningenes geometri førte til rotasjon av forkastningsblokkene inn mot bassengets sentrum (Gabrielsen et al., 1999). Disse strukturene er svært tydelige på seismiske data og danner viktige oljefeller i nordlige del av Nordsjøen.

Kritt og tertiær

I overgangen jura-kritt avtok ekstensjonsraten (Fossen et al., 2000) og rotasjon av forkastningsblokkene opphørte (Badley et al., 1988). Innsynkning som følge av litosfærisk avkjøling og sedimentpålagring kombinert med mindre, planær forkastningsaktivitet langs hovedforkastningene ser ut til å ha påvirket hele Nordsjøområdet frem til paleocen (Dahl & Solli, 1993; Fossen et al., 2000). Innsynkningen var størst i sentrale deler av bassenget tidlig i perioden (ryazan-albian) og relatert til de planære forkastningene i området, senere (cenoman-turon) spredte innsynkning og forkastningsaktivitet seg mot bassengmarginene og påvirket et større område. Neste fase (coniac-maastricht) er preget av uniform termal innsynkning og forkastningsaktivitet begrenset til de store forkastningene i ytterkant av bassenget (Badley et al., 1988).

Siste innsynkningsfase i tidlig tertiær viser lite eller ingen tegn til forkastningsaktivitet (Badley et al., 1988). Heving av kontinentalplattformene Shetland i vest og Skandinavia i øst førte til en akselerasjon av innsynkningraten i paleocen og eocen (Jordt et al., 1995).



Figur 2.3. Hovedstrukturelementene i den nordlige Nordsjøen etter den jurassiske ekstensjonen. Etter Færseth (1996).

2.2.2 Sedimentologi

Prekambrium-karbon

Et stort kontinent ble dannet som følge av lukkingen av Iapetushavet og den kaledonske fjellkjedefoldingen. Den devonske riftingen førte til dannelse av store graben- og halvgrabenbasseng, blant annet det Orkaniske bassenget som strakte seg rundt 600 km fra nord-østkysten av Skottland til vestkysten av Norge. Intrakontinental drenering til bassenget var opphavet til Old Red Sandstone-avsetningene, både lakustrint og terrigent, og seismiske avbildninger foreslår at disse hadde mektigheter på opp til 6000 m. Disse avsetningene er hovedsakelig av devon alder. Dagens nordlige Nordsjø befant seg da på sydligere breddegrader, og klimaet var varmt og forholdsvis tørt.

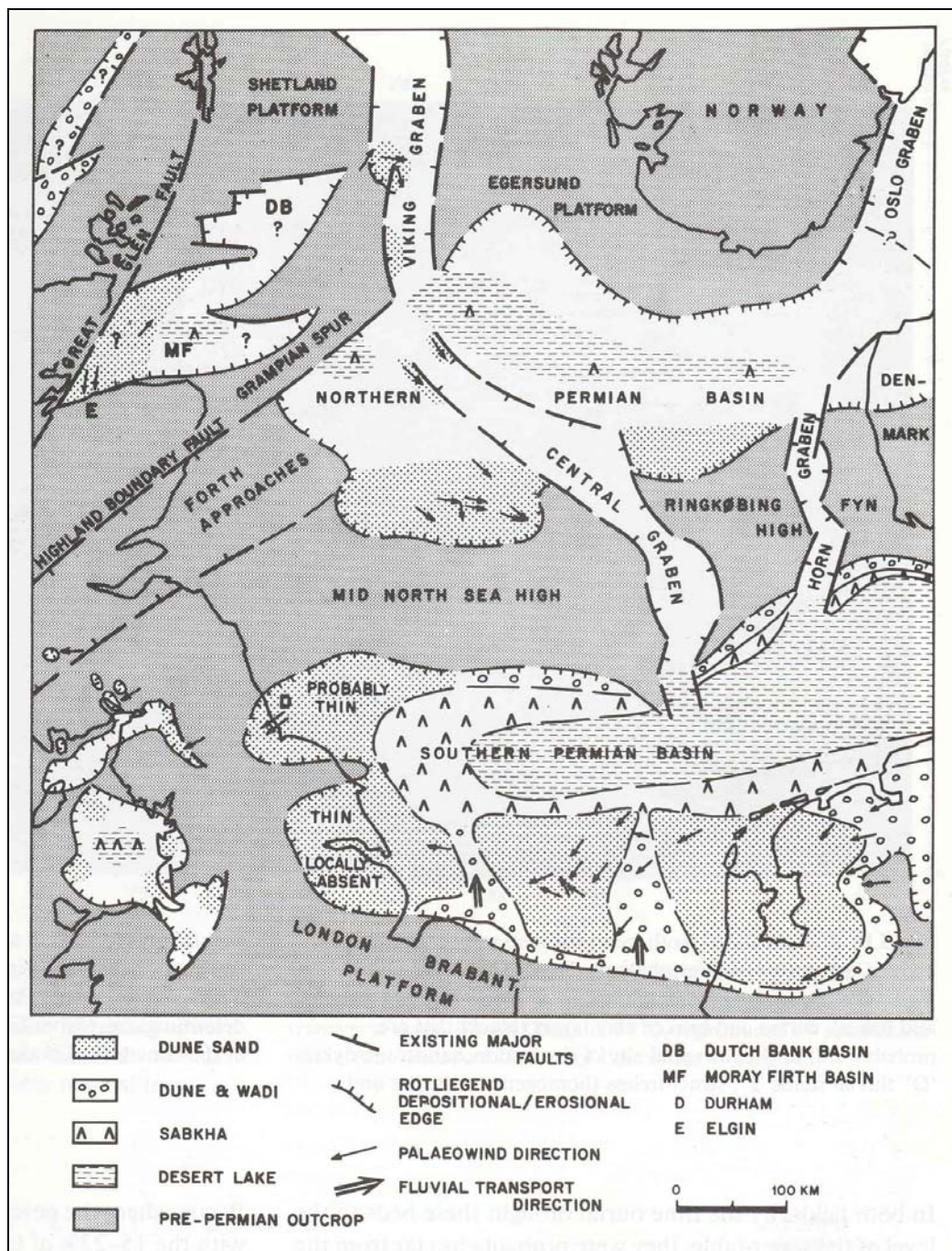
Tidlig i karbon endret forholdene seg til å bli mer tropisk og fuktig som følge av drift nordover. Fluviale systemer som avsatte Old Red Sandstone i Moray Firth Basin (Fig. 2.4) kan muligens ha drenert sørover til deltaiske og grunnmarine områder representert ved kullbærende lag av tidlig karbon alder. I ytre deler av bassenget er denne enheten over 1500 m tykk (Johnson et al., 1993).

Perm-trias

Videre drift nordover førte området ut av den tropiske sonen, og klimaet ble igjen tørrere som i devon. Vikinggraben, Sentralgraben og Moray Firth Basin var i begynnende utvikling, mens de to viktigste sedimentasjonsbassengene var to Ø-V gående strukturer adskilt av midt-Nordsjø høyden og Ringkøbing-Fyn høyden (Fig. 2.4) (Glennie, 1998).

I nordlige del av Nordsjøen er avsetninger fra undre perm, Rotliegendavsetninger, mangelfullt dokumentert, men det er rimelig å anta at de er av kontinental eolisk opprinnelse (Johnson et al., 1993). I begynnelsen av øvre perm inntraff en transgresjon som følge av en global heving av havnivå kombinert med rifting i Nordsjøen, og avsetningen av Rotliegend opphørte (Glennie, 1998). Tilførsel av sjøvann inn i nordlige og sørlige permiske basseng (Fig. 2.4) gjorde disse til enorme evaporittbasseng i det tørre og varme klimaet, og store Zechstein saltavsetninger dominerer området fra denne perioden (Johnson et al., 1993).

Store elvesletter dominerte Vikinggraben i innsynkningsperioden etter den permo-triassiske riftfasen (Dahl & Solli, 1993), og fluviale sedimenter ble avsatt langs transportveien fra sør mot nord. Variasjoner i tykkelse på triaspakkene antyder forskjellig innsynkningsrate og synsedimentær forkastningsaktivitet. Den triassiske Hegregruppen består av sandstein i veksling med skifer og slamstein i tilknytning til intervaller dominert av fint og grovt klastisk materiale (Glennie, 1998).



Figur 2.4. Faciesdistribusjon og avsetningsmønster av tidlig perm (rotliegend) avsetninger i Nordsjøområdet med nordlige og sørlige permiske basseng. Etter Glennie (1998).

Jura

En global transgresjon ble innledet i rhaet og fortsatte inn i tidlig jura. Tethyshavet ble satt i forbindelse med det Arktiske hav (Ziegler, 1990), og klimaet endret seg fra forholdsvis tørt til humid (Glennie, 1998). Nordlige del av Vikinggraben var dominert av store elvesletter (Dahl & Solli, 1993), og alluviale sekvenser som Statfjordformasjonen ble dannet i rhaet-sinemur (Glennie, 1998; Johnson et al., 1993).

En oppdoming i sentrale Nordsjø i aalen-bajoc strakte seg 700 km fra sørlige Vikinggraben inn i sørlige Nordsjø og 1000 km fra England til Danmark. Nordlige Nordsjø var fremdeles i en innsynkningsfase og kombinert med hevingen i sør oppstod det en regresjon (Ziegler, 1990). En begynnende sedimentasjon i Brentgruppen (Fig. 2.8) ble initiert (Glennie, 1998). Brentdeltaet er tolket som en regressiv-transgressiv klastisk vifte (Fig. 2.11) med regressive avsetninger fra aalen-bajoc, og transgressive avsetninger fra bajoc-bathon (Helland-Hansen et al., 1992).

Riftingen i jura førte til en relativ stigning i havnivå, og marine avsetningsforhold ble dominerende i nordlige Nordsjø (Dahl & Solli, 1993). Siltig slamstein tilhørende Heatherformasjonen ble avsatt over deltasekvensen i bathon-kimmeridge og påfølgende overlaging av organisk rike skifre tilhørende Draupneformasjonen fortsatte inn i undre kritt (ryazan) (Glennie, 1998).

Kritt og tertiær

Ved inngangen til post-rift perioden i kritt var innsynkningsraten i nordlige Nordsjø ujevnt distribuert, og lokal erosjon og sedimentinnfylling med deposenter i grabenaksen foregikk i det segmenterte bassenget (Gabrielsen et al., 2001). Innsynkning kombinert med en eustatisk stigning i havnivå i cenoman førte til en rask begravning av de triassiske og jurassiske sedimentene (Hesthammer & Fossen, 1999), og relieffet dannet av de roterte jurassiske forkastningsblokkene ble fylt inn av sedimenter mot slutten av kritt (Dahl & Solli, 1993).

Sedimentasjon i tertiær ble i hovedsak kontrollert av et fluktuerende havnivå med massestrømmer (turbiditter og dypmarine vifter) som dominerende avsetningsprosesser (Johnson et al., 1993).

2.3 Geologien i Gullfaksområdet

Gullfaksområdet ligger i blokk 34/10 på vestflanken av Vikinggraben og omfatter Gullfaksfeltet og Gullfaks Satellitter (Gullfaks Sør, Rimfaks og Gullveig) (Fig. 2.5).

Hovedreservoarene er sandsteinene i Brentgruppen, Cook- og Statfjordformasjonen. Kildebergarter er Draupne- og Heatherformasjonen som ble avsatt under den jurassiske riftfasen (Statoil, 2002a , 2002b).

Informasjon fra mer enn 200 brønner og flere seismiske innsamlinger utgjør datagrunnlaget for kartlegging av strukturene og stratigrafien i området.

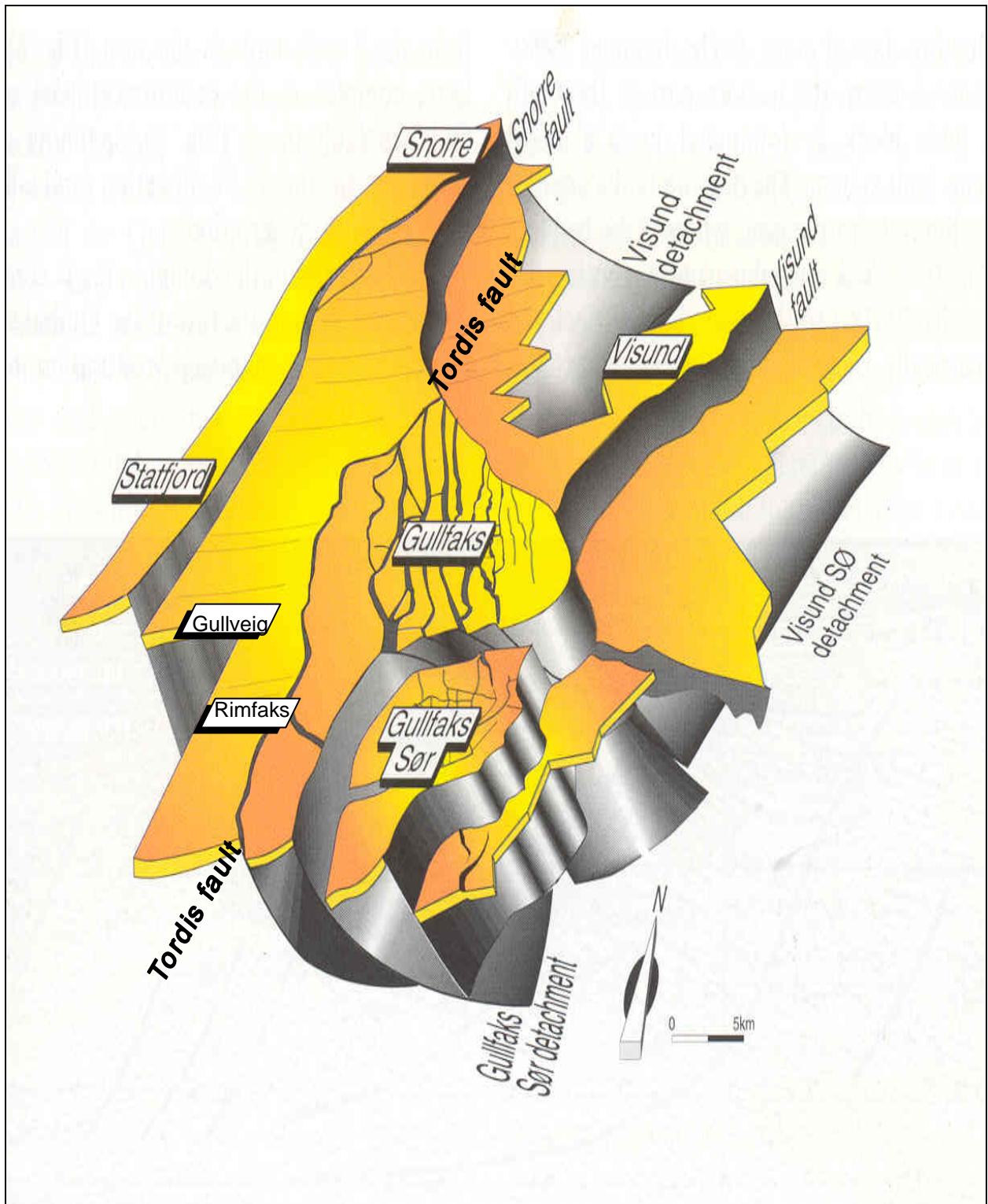
I denne beskrivelsen av geologien i Gullfaksområdet er *Reservoarstyringsplan for Gullfaksfeltet* (2002) og *Reservoarstyringsplan for Gullfaks Satellitter* (2002) lagt til grunn der annet ikke er angitt.

2.3.1 Strukturgeologi

Gullfaksstrukturen er en 10-25 km bred førsteordens forkastningsblokk som stryker NNØ-SSV med fall mot vest. Den er en av en rekke forkastningsblokker som ligger side om side inn mot Vikinggraben (Fossen & Hesthammer, 1998). Normalforkastninger separerer blokken fra Statfjord i vest og Vikinggraben i øst. Den østlige forkastningen er ikke-planær og forgrener seg mot sør til å avgrense Gullfaks Sør-strukturen. Rimfaks ligger på en vesthellende forkastningsblokk vest for Gullfaksforkastningen og Gullveig ligger på en vestlig rotert forkastningsblokk nord for Rimfaks og vest for Gullfaks (Fig. 2.5).

Gullfaksfeltet kan deles inn i tre hovedområder med forskjellige strukturelle karakteristika (Fig. 2.6): I sentrale og vestlige deler av feltet ligger dominoområdet med roterte forkastningsblokker. Lengst øst ligger et ikke-rotert horstområde. Mellom disse ligger en kompleks tilpasnings-sone karakterisert av fragmenterte foldestrukturer. Feltet er delt opp av et sett hovedforkastninger som stryker N-S, disse danner et anastomerende mønster. Spranget på hovedforkastningene ligger stort sett mellom 50-250 m, men på det meste kan det observeres sprang på over 500 m. I dominoområdet har forkastningene 25-30° fall mot øst,

mens i horstområdet er trenden 60-65° mot vest.



Figur 2.5. Gullfaksområdet med Gullfaks hovedfelt og satellitter, samt omkringliggende felt. Lagningen indikerer midt-jura nivå. Modifisert etter Fossen et al. (2000).

Dominoområdet dekker størsteparten av Gullfaksfeltet (Fig. 2.6). Deformasjonen i dette området har ført til dannelse av en rekke forkastningsblokker med en N-S-gående hovedtrend. Fallvinkelen på forkastningene som forbinder blokkene er unormalt lav (25-30° mot øst) mens blokkenes stratigrafiske lagning faller mot vest (ca 15°). Internt er forkastningsblokkene gjennomført av mindre forkastninger med et sprang på under 50 m og varierende strøktrender, inkludert en markert Ø-V-trend (Fossen & Hesthammer, 1998).

Hovedforkastningene i dominoområdet viser en økende kompleksitet på grunnere nivå, blant annet slepestrukturer og kollapsstrukturer. Minking i laghelning er observert fra 17° på dypt nivå (Statfjordformasjonen) til 13° på grunneste reservoarnivå (Brentgruppen). Storskala slep er observert som minking i laghelning inn mot hengsiden av forkastningene. Lateralt gjennom feltet kan det observeres flere overlappstrukturer som er karakterisert ved at det totale spranget forflyttes langs forkastningene. Dette er mest fremtredende på det grunneste reservoarnivå.

Generelt har hengblokkene gjennomgått en kraftigere deformasjon enn liggblokkene. Ved rotasjon langs forkastningsplanet gjennomgår liggblokken en rigid deformasjon mens hengblokken vil bli utsatt for skjær syntetisk til hovedforkastningen. Skjærbevegelsens deformasjon kan resultere i to utslag: Dannelse av mindre forkastninger med sprang på meterskala subparallelt med hovedforkastningen, eller en mer homogen fordeling av deformasjonen på kornskala som resulterer i duktil deformasjon / omorganisering av kornene. Internt i blokkene på Gullfaksfeltet er det for en stor del observert intern omorganisering av korn.

Horstområdet i øst er karakterisert av gjennomgående brattere forkastninger enn i vest, vanligvis mellom 60-65°, og fall både mot øst og vest forekommer (Fig. 2.6). Strøktrenden er mer tydelig N-S og forkastningene er mer planære enn i Dominoområdet (Fossen & Hesthammer, 1998). Selv om horstområdet ikke har vært utsatt for gjennomgående skjærdeformasjon slik tilfellet har vært lenger vest medfører beliggenheten inn mot den østlige Gullfaksforkastningen delvis kraftig oppsprekking.

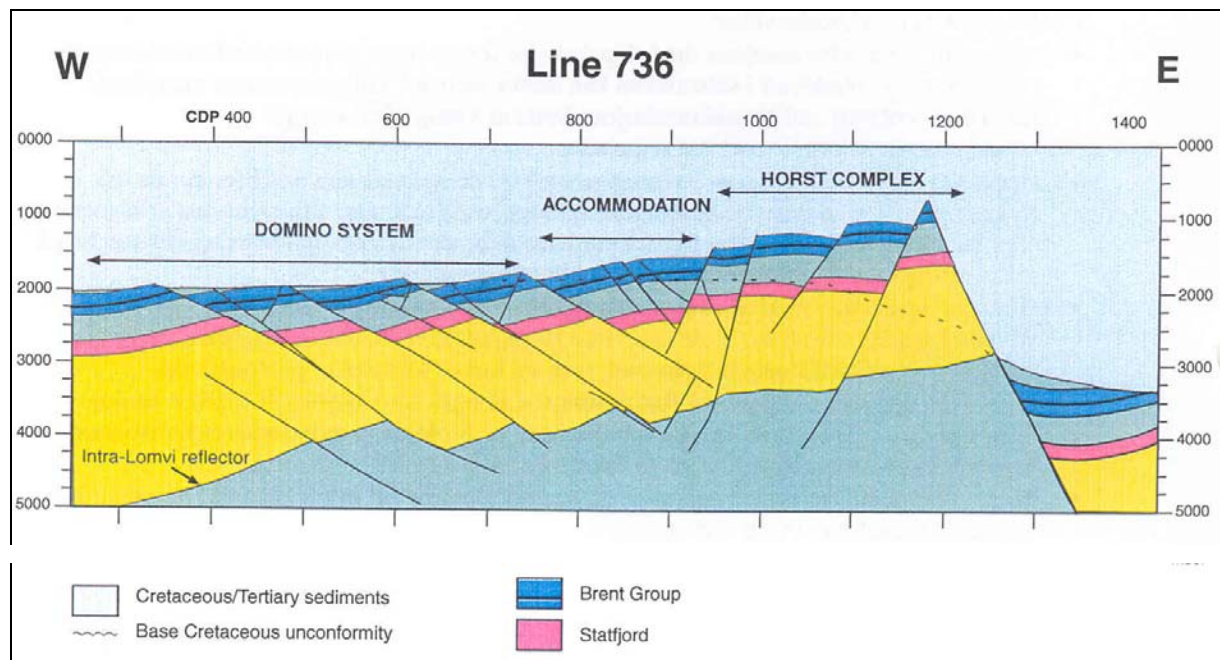
De gode jurassiske reflektorene som er tilstede på mesteparten av Gullfaksfeltet er erodert vekk i det strukturelt høye horstområdet. Dette medfører at kartleggingen av mindre

forkastninger bli mer usikker. Mesteparten av disse mindre forkastningene er relativt bratte (45-70°) og er subparallelle til hovedforkastningene. Lagningen er tilnærmet horisontal med en svak vestlig preferanse (Fossen & Hesthammer, 1998).

Tilpasnings-sonen er en grabenstruktur og ligger som en overgang mellom horst- og dominoområdet (Fig. 2.6). De to forskjellige deformasjonsstilene forenes her og gjør tilpasningssonen til det mest komplekse området på Gullfaksfeltet.

Lagningen danner en antiklinal hvor vestlige sjenkel faller mot vest og østlige er subhorisontal (Fossen & Hesthammer, 1998). De to forskjellige deformasjonsstilene har gitt seg utslag i en fragmentert foldestruktur hvor sjenklene har vært utsatt for forskjellig skjær. I vest viser modellering at sjenkelen har gjennomgått subvertikalt skjær, mens den østre har gjennomgått et ikke-homogent skjær.

Tilpasnings-sonen forflyttes vestover hvis den følges mot nord (Statoil, 2002b).



Figur 2.6. Gullfaksfeltets 3 strukturelle hovedområder. Etter Statoil (2002 b).

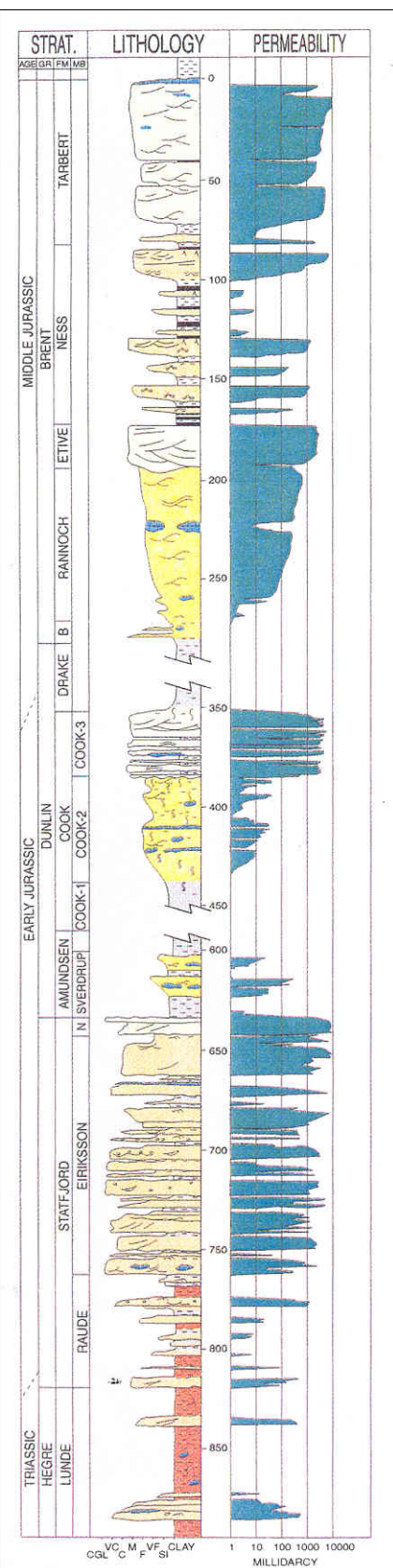
Gullfaks satellittene (Gullfaks Sør, Rimfaks og Gullveig) ligger alle på adskilte, vestlige roterte forkastningsblokker. Tilsvarende hovedfeltet kan også Gullfaks Sør og Rimfaks deles inn i de samme tre strukturelle hovedområdene, dog er ikke tilpasnings-sonen og dominoområdet like fremtredende på Rimfaks.

Gullfaks Sør er den dypeste strukturen i Gullfaksområdet (Fig. 2.5) med topp reservoar på 2860 m TVD MSL. Forkastningene er i hovedsak orientert N-S, NØ-SV og Ø-V, men den første orienteringen er dominerende. Lagningen har en vestlig helning på $\sim 15^\circ$, men dipmeterdata, kjernedata og strukturelle dybdekart antyder at denne øker mot stratigrafisk dypere nivå. Samtidig viser de samme dataene at slep inn mot forkastningene er mest utviklet på grunt nivå (Brentgruppen) og mindre i dypet (Statfjordformasjonen).

Rimfaks ligger på et grunnere strukturelt nivå enn Gullfaks Sør (Fig. 2.5) med topp reservoar på ~ 2500 m TVD MSL, men ellers deler feltene store likhetstrekk. Forkastningene her er orientert N-S, NV-SØ og Ø-V, men også her er N-S den mest fremtredende orienteringen. Videre øker laghelningen mot dypet mens slep inn mot forkastningene er mest utviklet på grunt nivå. Brentlagene heller $15-20^\circ$ mot VSV.

Gullveig er det grunneste av satellittfeltene (Fig 2.5) med topp reservoar på ~ 2400 m TVD MSL. Feltet ligger på en strukturell høyde med få forkastninger i vest og er avgrenset i øst av Tordisforkastningen. Lagningen i Brentgruppen faller 18° mot VNV.

2.3.2 Stratigrafi og reservoarbeskrivelse



Den dypeste brønnen på Gullfaksfeltet (letebrønn 34/10-13) trenger 1340 m ned i de triassiske avsetningene i Hegregruppen. Informasjon om dypere stratigrafiske nivå og basement er derfor usikker.

Lundeformasjonen i Tampenområdet tilhører øvre del av Hegregruppen. Formasjonen består av en 800-1200 m tykk pakke av kontinentale avsetninger, karakterisert av vekslinger i sand/skifer. Dette er de eldste reservoarsandsteinene med moderat til dårlige reservoaregenskaper (Fig.2.7).

Statfjordformasjonen på Gullfaksfeltet har en økning i mektighet mot vest fra 170 m i horstområdet til mer enn 250 m vest i dominoområdet. Avsetningene endrer karakter fra alluviale med periodiske flomavsetninger i nedre deler til sump- og kanalavsetninger i øvre deler. Nedre del er et moderat til dårlig reservoar, mens øvre del er et svært godt reservoar (Fig. 2.7).

Dunlingruppen består av marine siltsteiner og skifer uten resevoaregenskaper i Amundsen- og Burtonformasjonen (170-180 m), samt Drakeformasjonen (75-120 m). Cookformasjonen (~150 m) er en oppgrovende lagrekke med til dels gode reservoaregenskaper (Fig. 2.7).

Brentgruppen representerer avsetninger fra et regressivt-transgressivt delta, og er meget heterogent sammensatt. Reservoaregenskapene varierer fra dårlige til svært gode (Fig. 2.7 og 2.8).

Figur 2.7. Stratigrafisk oversikt som viser avsetningene fra øvre trias til midtre jura i Gullfaksområdet. Etter Hesthammer & Fossen (2001).

2.3.3 Avsetningshistorie

I dette avsnittet vil avsetningshistorien til enhetene nevnt i 2.3.2 gjennomgått, med spesiell vekt på Brentgruppen. Dette skal bidra til å underbygge forståelsen for deler av problemstillingen i oppgaven.

Lundeformasjonen

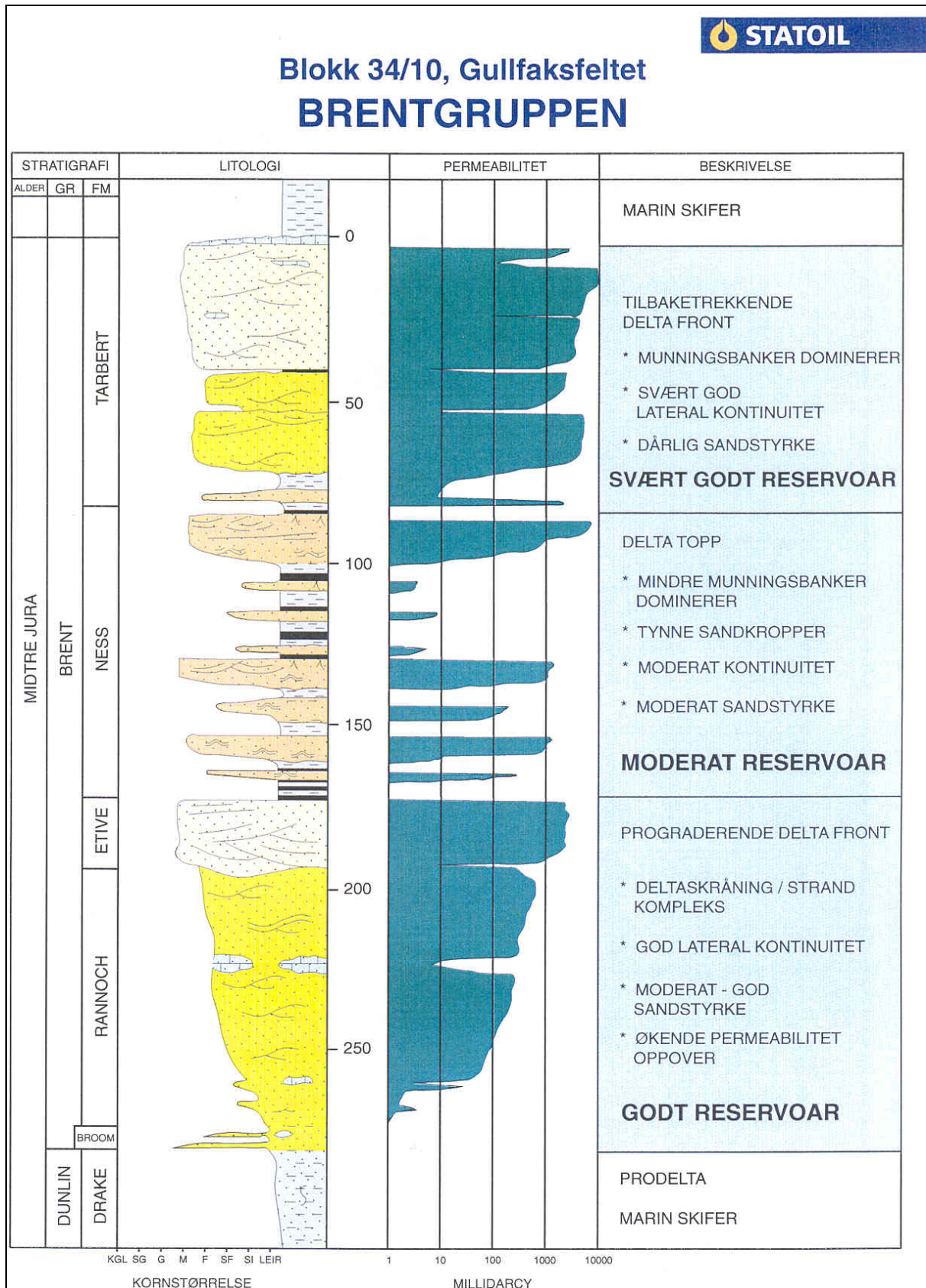
I ladin-rhæt ble Lundeformasjonen avsatt i et forkastningsbegrenset basseng med tydelig forskjell i innsynkningsrate. Generelt var trolig de klimatiske forholdene varme og tørre av monsun type. Kildeområdet ser ut til å ha vært i vest og syd, men mot overgangen Lunde/Statfjord kan dette ha skiftet mot nordvest. Nedre del av Lunde består av finkornige lakustrine avsetninger (~250 m) fra en relativt grunn innsjø. Videre oppover overtar kanaler og flomsletteavsetninger (400-700 m). Den øvre sonen (~100 m) er relativt finkornet med oppfinende enheter. Det er foreslått at den øvre grensen mot Statfjordformasjonen er regionalt transgressiv.

Statfjordformasjonen

Statfjordformasjonen på Gullfaksfeltet er avsatt i sen trias-tidlig jura. Avsetningene viser en endring fra alluvialt miljø med periodiske flomavsetninger i nedre deler til et en dårlig drenert alluvial slette med sumper og elvekanaler i øvre deler. Her er avsetningene i hovedsak fluviale, men tidevannstrukturer som er observert i toppen antyder en overgang til estuarine kanaler. Dette tyder på en transgresjon i området.

Dunlinggruppen

Dunlinggruppen er av tidlig-midt jura alder og deles inn i fire formasjoner. Amundsen- og Burtonformasjonen er et resultat av transgresjonen som ble initiert øverst i Statfjordavsetningene, og består av marine skifer. Hele området var oversvømt, og marine forhold regjerte til den etterfølgende Cookformasjonen ble avsatt i nordlige del av Vikinggraben. De nedre delene av Cook er marin skifer med innslag av tynne sandsteinslag, den midtre sonen er finkornige sand-og siltsteiner mens den øverste delen er medium-fin sandstein. Denne oppgrovende tendensen antyder en minking i relativt havnivå. Drakeformasjonen ligger øverst i Dunlinggruppen og viser en brå overgang fra estuarine forhold i Cook/ tidlig jura til marine og prodeltaforhold i Drake/ midt-jura.



Figur 2.8. Stratigrafisk kolonne over Brentgruppen. Etter Statoil (2002 b).

Brentgruppen

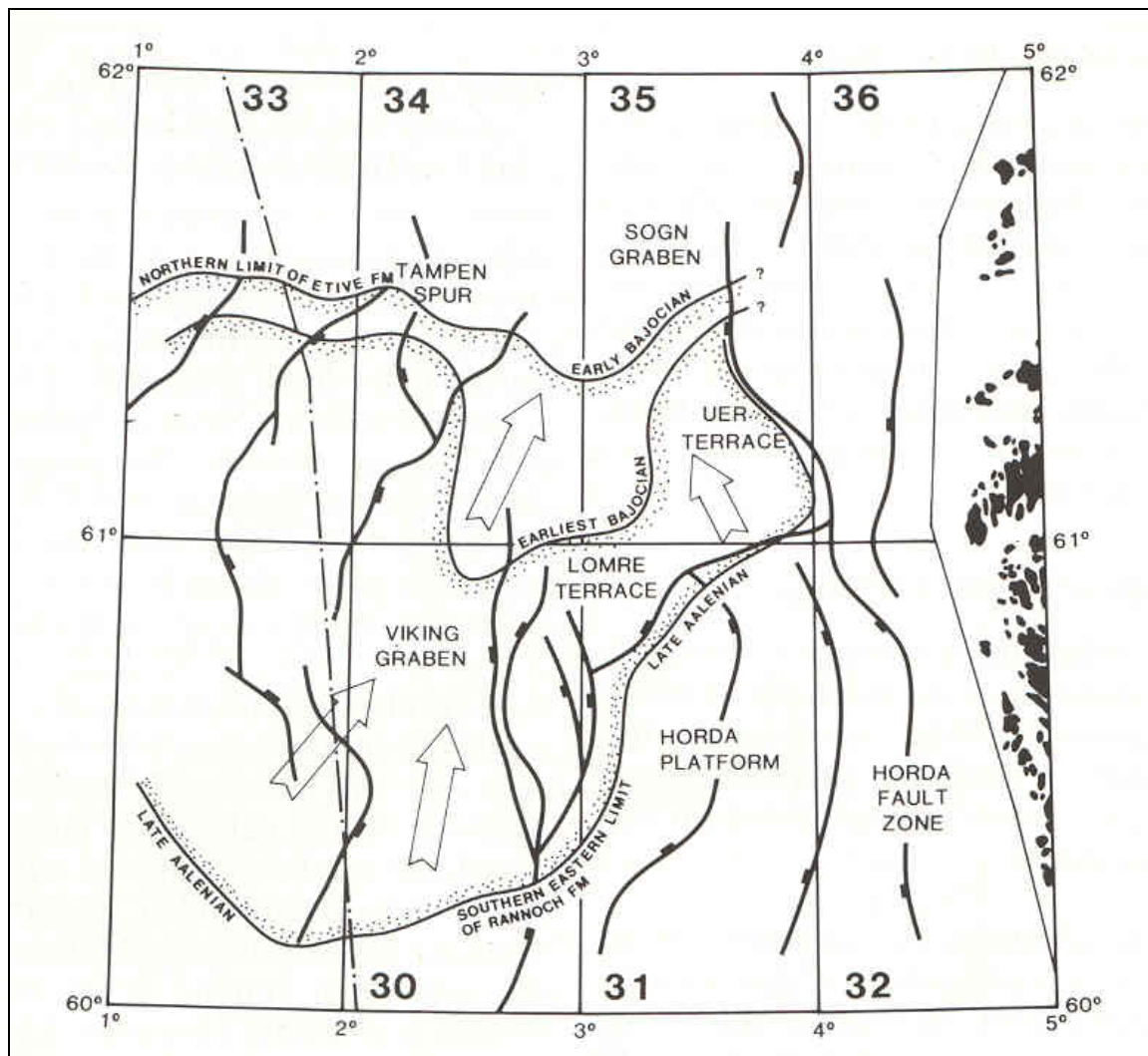
Et prograderende og senere retrograderende delta fra midt-jura (Helland-Hansen et al., 1992) utgjør det vi i dag kjenner som Brentdeltaet. Brentgruppen (Fig 2.8) består av fem formasjoner, Broom, Rannoch, Etive, Ness og Tarbert og inneholder hoveddelen av oljereservoarene på Gullfaks og Gullfaks Satellitter.

Broomformasjonen (Fig. 2.8 og 2.11) er av tidlig aalen alder og består i hovedsak av tykke slam- og skiferlag. Disse ble avsatt som prodelta innfyllinger under et relativt fall i havnivå som følge av tektonisk oppløft (Helland-Hansen et al., 1992).

Prograderingen av Brentdeltaet er datert til sen aalen til tidlig bajoc og skjedde hovedsakelig fra sør mot nord (Fig. 2.9) (Helland-Hansen et al., 1992). I denne perioden ble Rannoch-, Etive- og den fluvialdominerte nedre del av Nessformasjonen (Fig. 2.8 og 2.11) avsatt. Sekvensstratigrafisk er nedre Brent delt inn som vist i figur. 2.12. R1-R4 (Rannochfacies), ER (Etivefacies som lateralt går over til Rannochfacies), NER (Nessfacies som lateralt går over til Etivefacies og Rannochfacies), NE (Nessfacies som lateralt går over til Etivefacies) og N-1 (Nessfacies). N-1 er inkludert i nedre Brent og representerer en fase der Brentdeltaet har progradert forbi Gullfaksfeltet.

Rannoch- og Etiveformasjonen danner til sammen en stormbølgedominert deltafront eller barrière / nedre strandbelte-enhet av varierende tykkelse. Sekvensen viser en generelt oppgrovende tendens (Helland-Hansen et al., 1992). Rannochfacies er karakterisert av hummocky-kryssjiktet sandstein mens Etivefacies er massive og kryssjiktete sandsteiner (Statoil, 2002b). En vanlig oppfatning er at Rannochavsetningene representerer nedre til midtre strandbelte mens sandsteiner av Etivefacies er avsatt i øvre strandbelte/ øvre deltafront (Helland-Hansen et al., 1992).

Nessformasjonen varierer også i tykkelse og utgjør et heterogent intervall av deltasletteavsetninger (Helland-Hansen et al., 1992). Nessfacies består generelt av sandsteiner, slamsteiner og kull (Statoil, 2002b) og kan tolkes til fluviale kanaler, munningsbarrierer og lagunemiljø. Den prograderende delen av Nessformasjonen består i hovedsak av oppfinende fluviale sandkropper assosiert med flomgenererte avsetninger (Helland-Hansen et al., 1992).



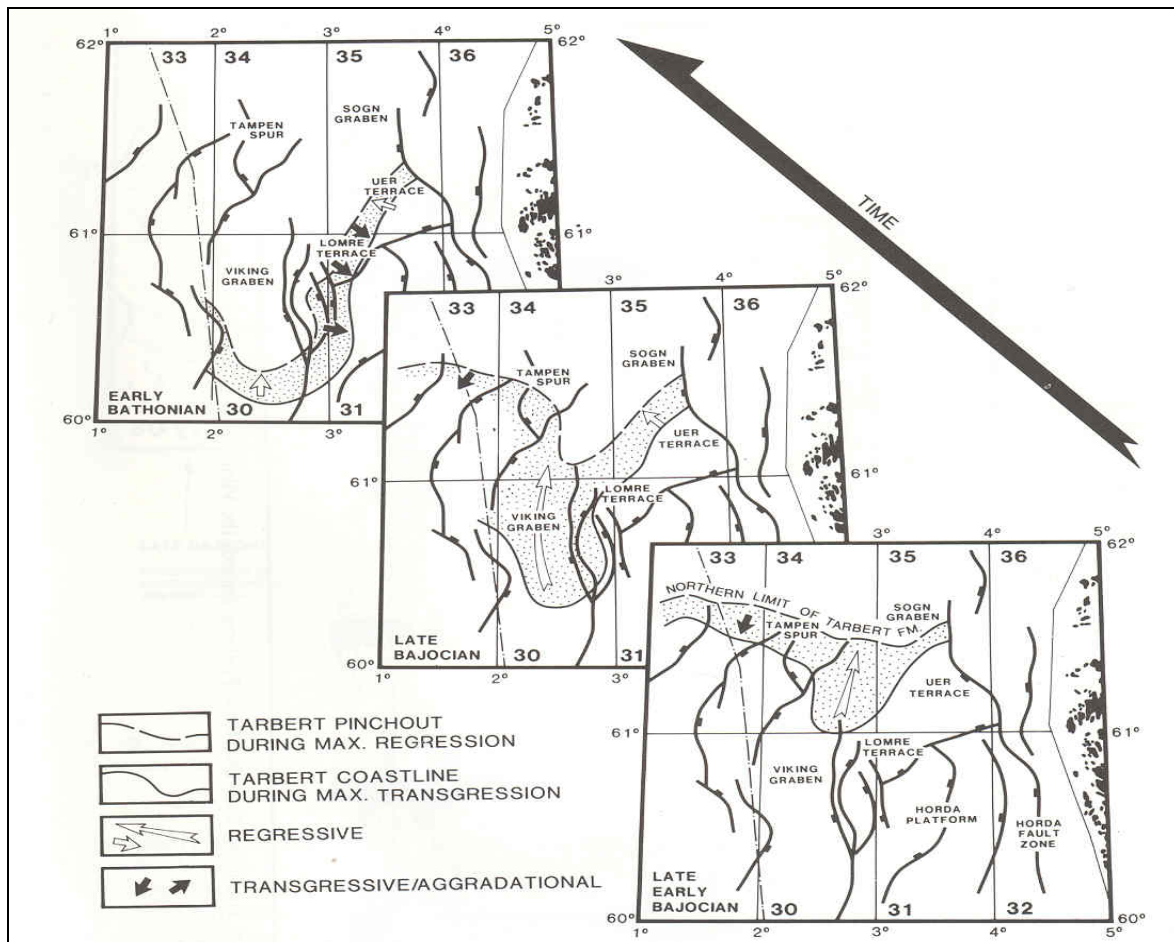
Figur 2.9. Tre forskjellige posisjoner av Rannoch-Etive kystlinjen under progradering av Brentdeltaet. Etter Helland-Hansen et al. (1992).

Som følge av deltaets progradering mot nord avtar mektigheten i NER-intervallet i progradasjonsretningen, fra 38 m i sør til 15 m i nord, og det er også registrert færre kullag i nord enn i sør (Fig. 2.12).

Tilbaketrekingen av Brentdeltaet (Fig. 2.10) er tidfestet til tidlig bajoc-tidlig bathon og skjedde langs en N-S gående akse (Helland-Hansen et al., 1992). I denne perioden ble øvre del av Ness- og Tarbertformasjonen (Fig. 2.8 Og 2.11) avsatt. Til sammen utgjør disse øvre Brent.

Den retrograderende øvre delen av Nessformasjonen (Fig. 2.8 Og 2.11) deles inn i to hovedgrupper av facies: Flomslette/ buktsedimenter og krevassekomplekser/ mindre

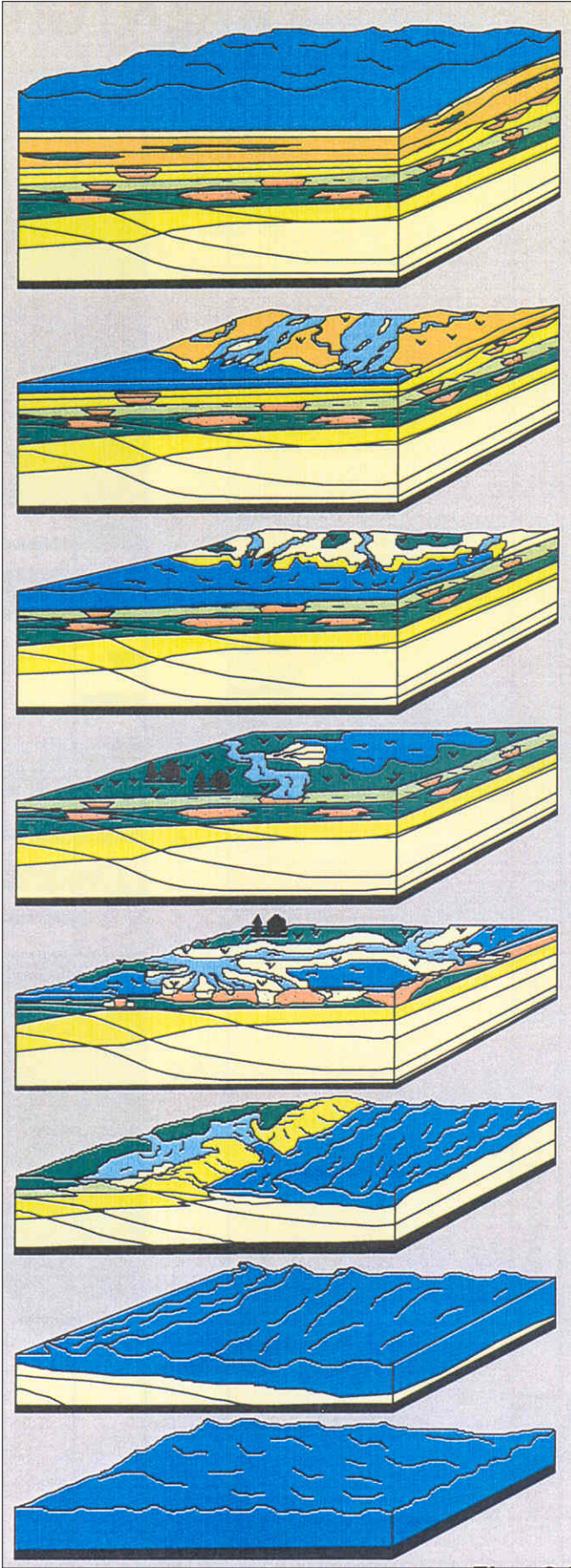
munningsbanker. På grunn av formasjonens marint påvirkede karakter antas denne delen å representere nedre deltaslette (Statoil, 2002b).



Figur 2.10. Tre forskjellige stadier av tilbaketrekingen av Brentdeltaet. Etter Helland-Hansen et al. (1992).

Tarbertformasjonen (Fig. 2.8 Og 2.11) består av prograderende pulser avsatt under en generell tilbaketreking av deltafronten. Nedre del er avsatt som buktinnfyllinger av oppgrovende karakter og består av mørke, impermeable slamsteiner avsatt under bølgebasis. Den oppgrovende tendensen antas å stamme fra prograderende submarine munningsbanker foran elveutløp. Etter hvert som buktssystemet ble fylt igjen oppstod det store sumpsletter som i sin tid dekket hele Gullfaksfeltet. Disse ga opphav til kullhorisonter som kan observeres i flere reservoarsoner. Midtre del av formasjonen gjenspeiler i hovedsak tidevannsfleter og

kystsletter med kanaler. Her finner vi også en homogen sandstein opp til 50 m tykk, også kalt "Silkesanden" (Fig. 2.12). Denne kan tolkes til tektonisk bevegelse som medførte oppløfting og økt energi i elvene. En elv i Ø-V-retning skar ut en 40-50 m dyp og 1,5-2 km bred dal som i den etterfølgende havnivåstigningen ble fylt igjen av sand. Dette er i dag et svært godt reservoar. Øvre del av Tarbert ser ut til å være strandnære avsetninger, og er de siste



et.

ord) ble Heatherformasjonen avsatt over det neformasjonen sent i riftfasen (kimmeridge- n det er funnet tynne sandlag internt i Draupne akbergarter for reservoarene fra trias og jura. eparten av oljen på Gullfaks, mens oljen på eather som kildebergart og et mer komplisert

riassiske og jurassiske avsetningene fra inkonformiteten et tidsgap på opp til 100 Ma.

Heatherformasjonen: Marine skifre

Tarbertformasjonen: Tidevann og deltasletter. Avsatt fra V.

Øvre Ness/ nedre Tarbert: Buktinnfyllinger. Heterogene avsetninger fra V.

Nessformasjonen: Øvre deltaslette. Heterogene avsetninger fra S-SV.

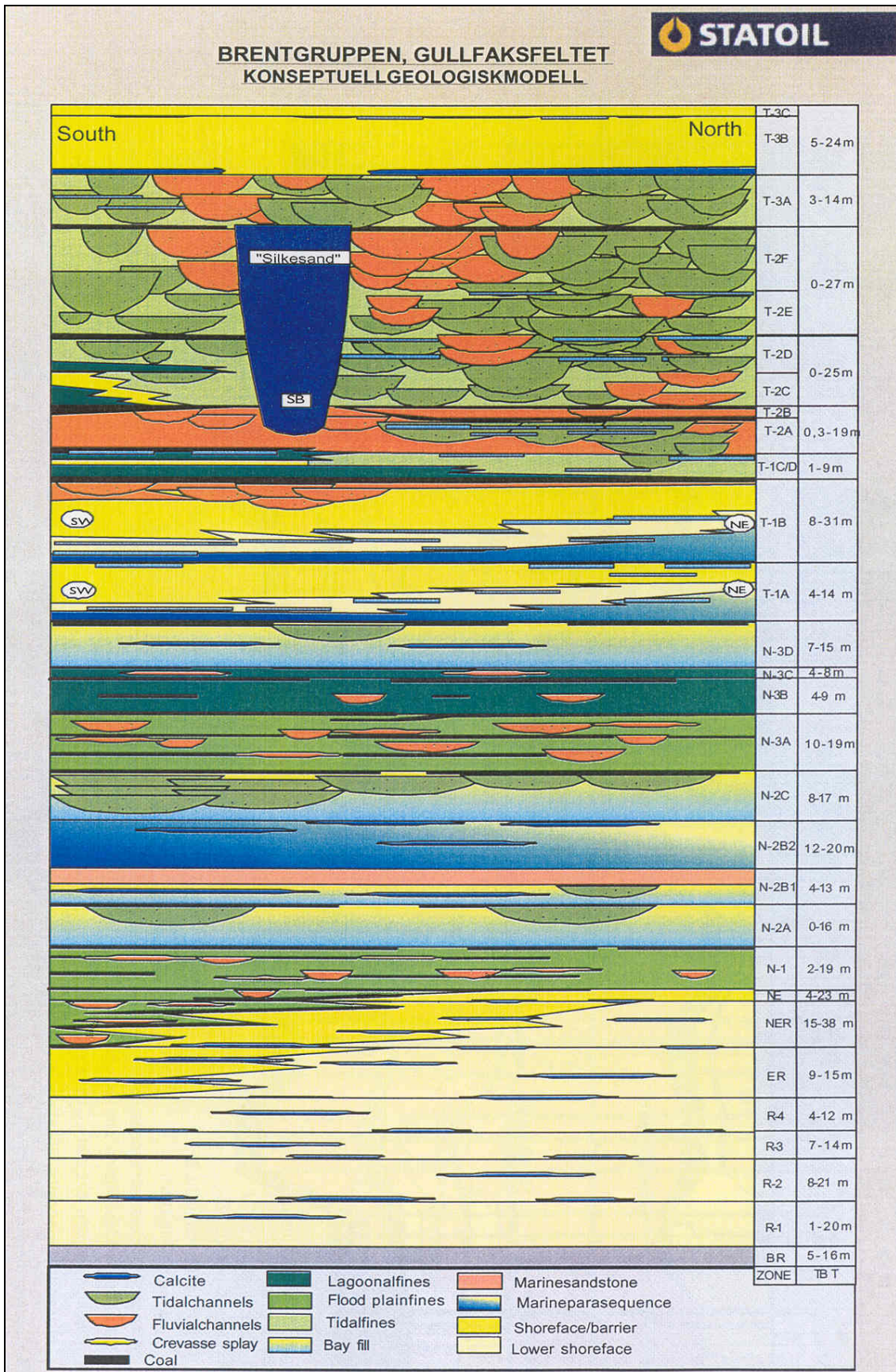
Nessformasjonen: Nedre deltaslette og buktinnfyllinger. Avsetninger fra S.

NER (Ness-Etive-Rannoch): Nedre deltaslette, deltafront.

Rannoch: Prograderende deltafront, prodelta.

Broom: Prodelta.

Figur 2.11. Generalisert avsetningshistorie for Brentdeltaet. Etter Statoil (2002 b).

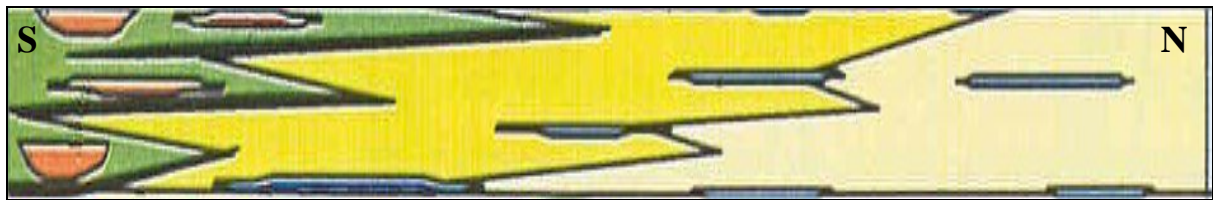


Figur 2.12. Sekvensstratigrafisk sonering av Brentdeltaet. Etter Statoil (2002 b).

2.3.4 Seismisk avbildning av topp NER

Toppen av NER-enheten defineres på brønnlogger ut fra et kullag. Enheten er svært heterogen og domineres av laterale endringer i facies (Fig. 2.13). Spesielt er det innholdet av kullag som varierer. Kullagene har hver en mektighet på 1-2 m i NER-intervallet, i enkelte tilfeller opp til 6 m, og varierer i antall fra 2 til 13 i de utvalgte brønnene. Brentdeltaets progradasjonsretning medfører at det er færrest kullag i de nordligste brønnene (Tab. 5.1 og Fig. 2.13).

Gullfaks Satellitter har ikke tatt i bruk den samme sekvensstratigrafiske soneringen som Gullfaks hovedfelt, og på disse feltene kalles det seismiske topp NER-signalet topp Ness-1 eller intra-Ness. I denne oppgaven vil imidlertid signalet bli omtalt som topp NER.



Figur 2.13. NER intervallet har laterale endringer i facies (se figur 2.12 for tegnforklaring). Etter Statoil (2002 b).

På seismiske data danner topp NER et meget godt signal over store deler av arbeidsområdet. Det er antatt at det gode signalet skyldes overgangen til kull, som har lav hastighet og tetthet, og dermed lav akustisk impedans (Kap. 4). Den laterale variasjonen i antall kullag vanskeliggjør bestemmelsen av hvor i stratigrafien topp NER-signalet blir satt opp.

På grunn av den seismiske oppløsningen i arbeidsområdet (Kap. 5) er det lite trolig at ett enkelt kullag vil kunne forårsake den kraftige negative refleksjonen som topp NER er. Blant annet er det foreslått at kullagene danner et interferensmønster internt i NER-pakken og dermed står for en kraftig nedgang i akustisk impedans.

Kapittel 3

Datagrunnlag, verktøy og arbeidsmetoder

3.1 Innledning

Tolkningen og sammenstillingen som er gjort av topp NER (Kap. 2.3.3 *Brentgruppen*) i denne oppgaven baserer seg på seismiske data, brønninformasjon og tidligere tolkninger av topp NER i arbeidsområdet. Modelleringen er gjort med informasjon fra utvalgte brønner og seismiske data.

3.2 Datagrunnlag

Det er samlet inn seismiske data fra Gullfaksområdet ved flere anledninger. I denne oppgaven er det brukt 3D seismikk fra en innsamling som dekker både Gullfaks og Gullfaks Satellitter og derfor anses som mest hensiktsmessig for den aktuelle problemstillingen. Brønnene er valgt ut fra geografisk beliggenhet, boringsvinkel, seismisk datakvalitet i området, litologiske forhold, loggdekning og logginnhold.

3.2.1 Seismikk

Innsamlinger

I denne oppgaven er det brukt 3D refleksjonsseismikk fra innsamlinger foretatt i 1996 og 1998 (Appendiks A). Disse ble satt sammen i 1999 og dekker hele arbeidsområdet; hele blokk 34/10 og deler av 34/11.

En 3D seismisk kube er et datasett som inneholder seismiske data i tre dimensjoner. Dette muliggjør fremstilling av seismikk i alle punkt i alle retninger. Innsamlingen som er brukt i denne oppgaven går fra linje 600 til 3100 og krysslinje 1300 til 3000 (Fig. 3.1). Med en linjeavstand på 12,5 m utgjør dette et område på omtrent 600 km². I områdene mellom linjene kan amplitudeverdiene interpoleres.

Registreringstid for innsamlingen er 5 sek og samplingsintervall 4 ms. Dataene er prosessert til nullfasesignal med normal polaritet; dvs økning i akustisk impedans gir en positiv refleksjon.

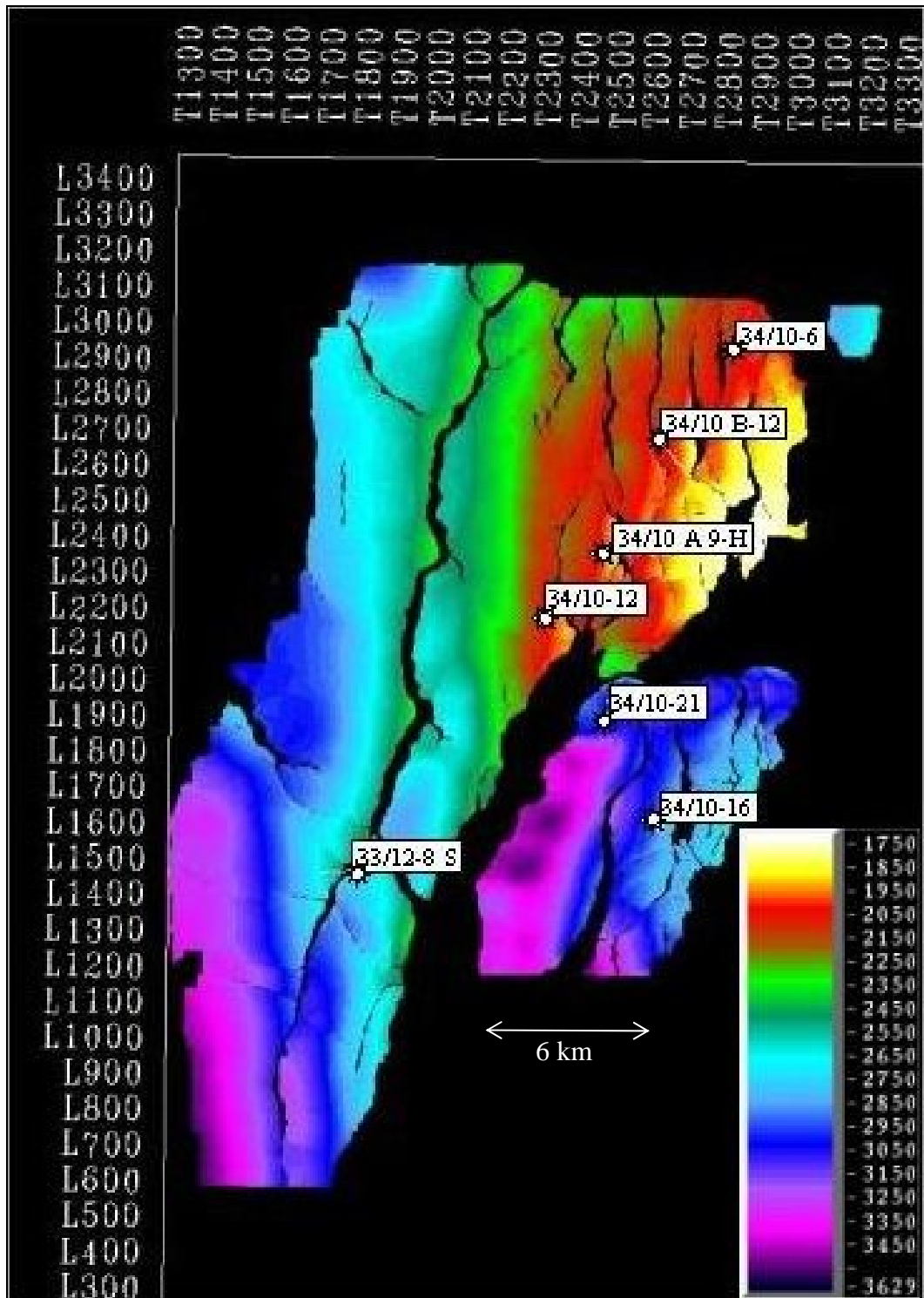
Datakvalitet

Alle seismiske data vil inneholde en blanding av primære refleksjoner og støy. Primære refleksjoner dannes av reflektorer under overflaten, støy er alt som forstyrrer disse signalene. I Gullfaksområdet er de vanligste støyproblemene multipler og fallende koherent støy. Grunn gass (~300 m), et stort antall forkastninger og forekomster av mindre mengder gass i tertiær- og kritt sedimentene bidrar også til å minke datakvaliteten. Sterke multipler settes opp av vannlaget, og kombinert med topp paleocen, topp kritt og bunn kritt reflektorene interfererer disse på juranivå. Topp paleocen og topp kritt gir kraftige refleksjoner og hindrer derfor en del av den seismiske energien å nå ned til reservoarnivå (Statoil, 1994).

Generelt for arbeidsområdet er det gode data på topp NER-nivå, men i nordvest interfererer bunn kritt + vannlag –multippelen med nevnte reflektor og vanskeliggjør tolkningen. I tillegg er det noe dårlig avbildning inn mot Tordisforkastningen fra vest.

3.2.2 Tidligere tolkninger

Topp NER-signalet er tolket separat på Gullfaks, Gullfaks Sør og Rimfaks/Gullveig. Disse tolkningene er lagt til grunn for sammenstilling av området til en helhetlig flate og er ikke retolket. På Gullfaks er det tolket systematisk på hver 2. linje og derfor svært detaljert. På satellittene ligger det tolkninger omtrent på hver 8. linje i tillegg til et stort antall krysslinjer, hovedsakelig på Rimfaks og Gullveig. Disse offisielle tolkningene er knyttet opp mot flere seismiske innsamlinger samt brønndata fra mer enn 200 brønner som fastpunktinformasjon.



Figur 3.1. Oversikt over brønner som er brukt i modelleringen. Kartet viser topp NER i toveis gangtid (millisekund) etter sammenstilling og tolkning av horisonten.

3.3 Verktøy

Flere typer software er brukt i denne oppgaven (Tab. 3.1), i dette avsnittet vil kun de viktigste bli gjennomgått.

Program	Leverandør	Bruksområde
SeisWorks	Landmark	Tolking av seismikk
PetroWorks	Landmark	Brønnlogger
OpenVision	Landmark	3D visualisering
Open Journal	Landmark	Figurer og dokumentasjon
Nucleus 1D reflectivity	Norsar	1D modellering
Nucleus Seismic Data Processing	Norsar	Enkel prosessering av modellerte data

Tabell 3.1. Oversikt over dataverktøy som er brukt i oppgaven.

3.3.1 SeisWorks

SeisWorks er et tolkningsverktøy for seismiske data. Både horisonter og forkastninger kan tolkes. Seismikken blir fremstilt som et tverrsnitt av kuben i en hvilken som helst ønsket orientering. Horisonter og forkastninger som tolkes fremstilles i et kartbilde som genereres av tolkningene som legges inn.

3.3.2 Nucleus 1D reflectivity

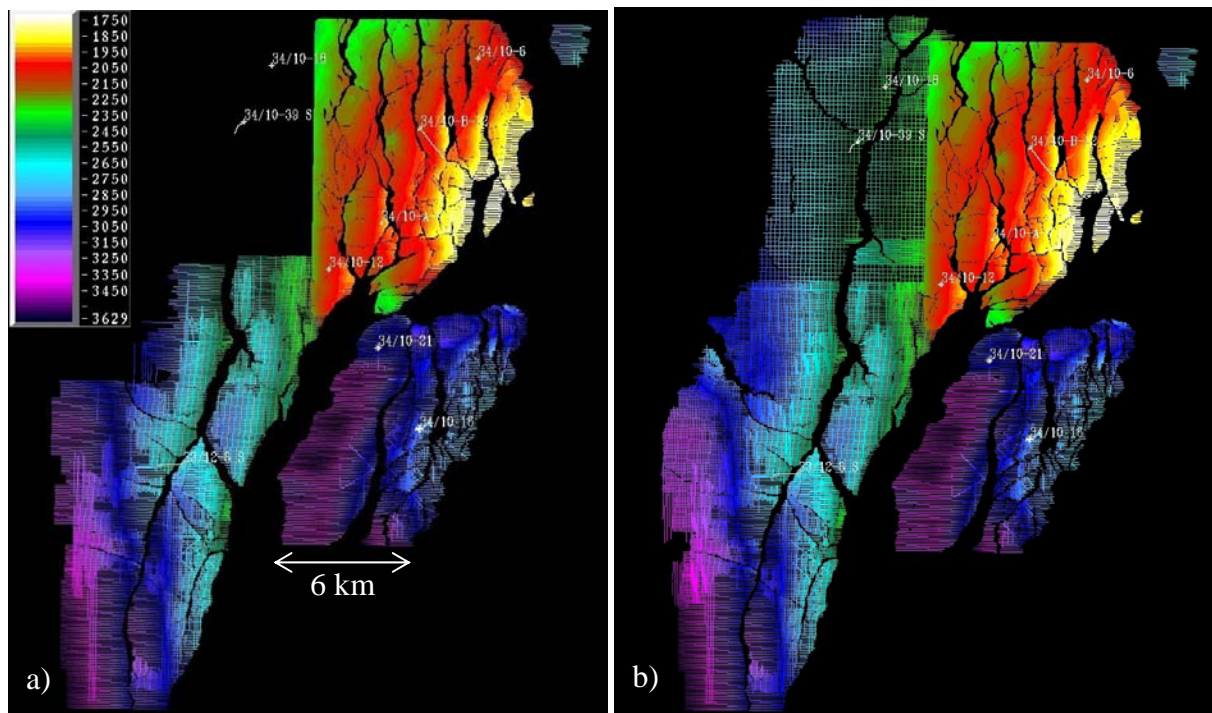
Nucleus 1D reflectivity er et modelleringsprogram for horisontalt lagdelte (1D) medium. Den anvendte funksjonen er refleksjonskoeffisienten (reflektiviteten) til et lagdelt medium. Programmet tar spesielt hensyn til den frekvensavhengige effekten for tynne lag; vertikal oppløsning (Kap. 5). Dermed er programmet velegnet til å beregne den seismiske responsen i et detaljert reservoar (Norsar, 2003).

3.4 Arbeidsmetoder

Arbeidet med å fremstille topp NER i hele Gullfaksområdet som en sammenhengende horisont er en trinnvis prosess (Kap. 3.4.1). Modelleringen av det seismiske topp NER-signalet er også gjort stegvis (Kap. 3.4.2) og hver brønn ble modellert for seg før resultatene ble sammenlignet.

3.4.1 Seismisk tolkning

Topp NER er tolket separat på alle felt i Gullfaksområdet. Disse tolkningene ble brukt som utgangspunkt for sammenstillingen av flatene i området og integrert til en helhet (Fig. 3.2 a). For å sikre at alle tolkningene var gjort i samme signal ble skjøtene der to separate tolkninger møtte hverandre kontrollert. I perifere områder ble Vertikalt Seismisk Profil (VSP) - data fra tilgjengelige brønner brukt til å knytte seismikken mot fastpunkter og innfyllende tolkning ble gjort her (Fig. 3.2 b)).



Figur 3.2. a) Separate tolkninger fra Gullfaks og satellittene er integrert til en flate. b) Innfyllende tolkning er gjort i de perifere områdene i nordvest. Fargene indikerer toveis gangtid.

3.4.2 Signalmodellering

Hastighets- og tetthetslogger ble brukt til å generere AI (akustisk impedans) –logger for de utvalgte brønnene (Fig. 3.1). På bakgrunn av AI-loggene ble brønnen delt inn i lag rundt reservoarsonen. I tillegg ble det laget en lagingndeling med utgangspunkt i brønn 34/10-12 for overlagingen som er lik for alle brønnene. Ut fra lagingndelingen ble det konstruert en 1D-modell og generert syntetiske seismogrammer for hver brønn. Syntetisk seismikk ble sammenlignet med reell seismikk fra 1999 (Appendiks A) i de modellerte områdene.

Kapittel 4

Sammenstilling og tolkning av topp NER

4.1 Innledning

Hovedhensikten med denne delen av oppgaven er å integrere uavhengige tolkninger av topp NER (Kap. 2.3.4) i Gullfaksområdet (Kap. 2.3) til en helhetlig horisont. Dette innebærer en sammenstilling av allerede tolkede flater i tillegg til en innfyllende tolkning nordvest i arbeidsområdet. Med utgangspunkt i tolkninger fra Gullfaks, Gullfaks Sør og Rimfaks/Gullveig (Fig. 4.4) vil tolkningsprosessen og problemstillinger underveis bli presentert i dette kapitlet. Sammenstilling og tolkning er utført på ett stratigrafisk nivå (topp NER), men andre reflektorer ble også brukt som rettesnorer underveis.

4.2 Bakgrunn for tolkningen

Kartleggingen og sammenstillingen av topp NER som en stratigrafisk grenseflate er basert på refleksjonsseismiske data og korrelasjon mellom disse og brønndata. Videre er tolkningskriterier som kontinuitet og signalform til reflektoren oppfylt på grunn av topp NERs kraftige negative utslag (Kap. 2.3.4) og gode kontinuitet over store deler av Gullfaksområdet.

4.2.1 Akustisk impedans og refleksjonskoeffisient

Akustisk impedans

Et av prinsippene bak seismiske innsamlinger er at forskjellige litologier har forskjellige egenskaper. I refleksjonsseismikk er de viktigste *tetthet* (ρ) og *seismisk hastighet* (V). Disse to faktorene inngår i en bergarts *akustiske impedans* (AI) som er gitt ved (Sheriff, 1999):

$$AI = \rho V . \quad (4.1)$$

Enhver endring i AI vil representere en grenseflate i undergrunnen og skape en refleksjon som registreres på overflaten. Jo større endringen i AI er, desto kraftigere vil refleksjonen som blir registrert på overflaten være.

Refleksjonskoeffisient

Refleksjonskoeffisienten (R) beskriver hvor mye energi som blir reflektert tilbake til overflaten ved normalt innfallende bølger. Fra Sheriff (1999) har vi at for to medium med tetthet ρ_1 og ρ_2 og seismisk hastighet V_1 og V_2 er refleksjonskoeffisienten for en plan innfallende bølge fra medium 1 gitt ved:

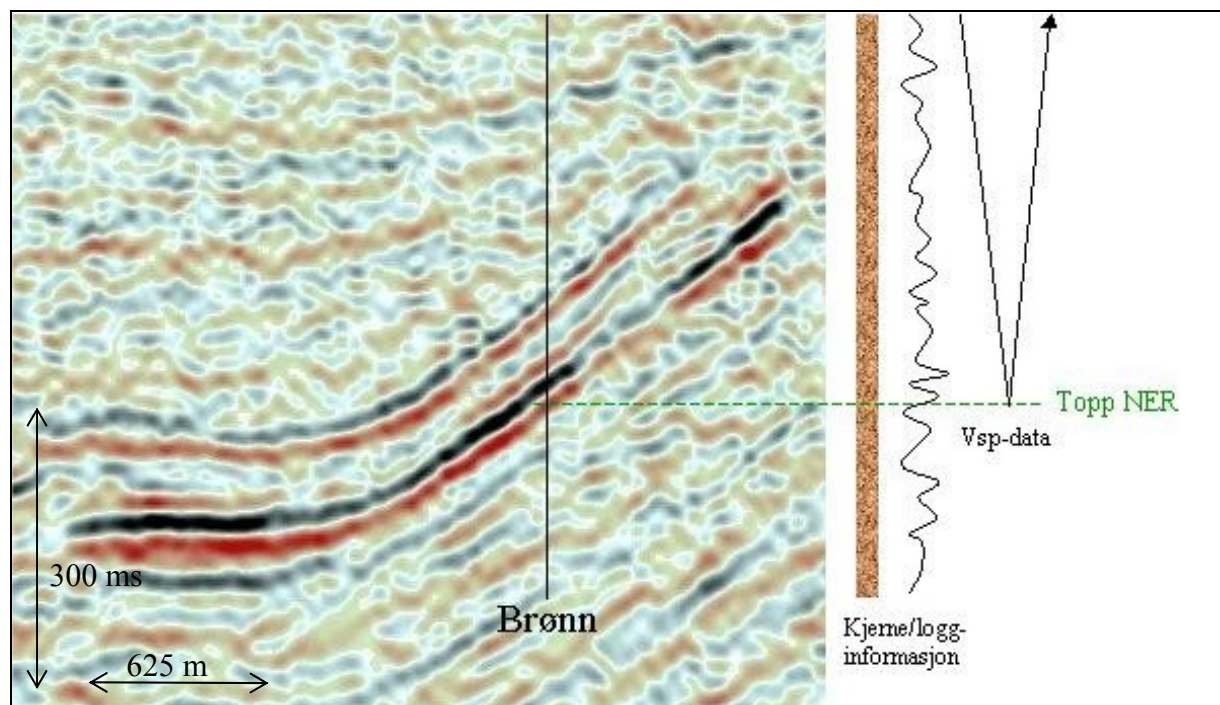
$$R = \frac{\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1}{\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1} . \quad (4.2)$$

En stor endring i AI vil således gi en høy R , og overgang til et tettere medium med høyere hastighet vil gi en positiv R . I tilfellet topp NER som representerer en nedgang i AI vil R derimot være negativ.

4.2.2 Vertikalt Seismisk Profil (VSP)

Sammenhengen mellom sant vertikalt dyp under havoverflaten (True Vertical Depth Sub Sea, TVDSS) og toveis seismisk gangtid for en spesiell kontrast i akustisk impedans kan finnes ved hjelp av VSP-data (Fig. 4.1). Gjennom tolkning av brønnlogger, eventuelt kjerneprøver, kan det slås fast hvor dypt den aktuelle stratigrafiske grensen ligger i meter. Akustiske mottakere plasseres på kjente dyp i borehullet og kan dermed registrere den seismiske gangtiden i millisekund til det aktuelle nivået. Dette utgjør et vertikalt seismisk profil. Til

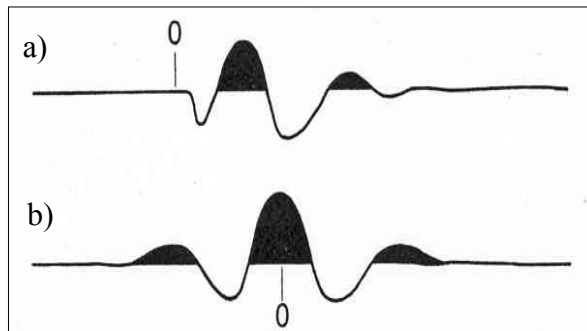
sammen etablerer VSP og brønnloggene en sammenheng som kan brukes til å nivellere seismikk mot brønner.



Figur 4.1. Prinsipp for sammenheng mellom seismikk og brønndata. Fra kjerne- og logginformasjon blir dypet oppgitt i meter, mens seismikken gir dypet i tid.

4.2.3 Fase og polaritet

De seismiske dataene som er brukt i denne oppgaven er prosessert til nullfase og innehar normal polaritet. Nullfase innebærer at responsen fra en kontrast i akustisk impedans ligger midt i et symmetrisk signal (wavelet) (Fig. 4.2 b)). Normal polaritet vil si at en økning i akustisk impedans (positiv refleksjonskoeffisient) gir et positivt utslag på seismikken (Sheriff, 1999). Topp NER representerer en nedgang i akustisk impedans og vises følgelig som et negativt utslag i de seismiske dataene (Fig. 4.3).

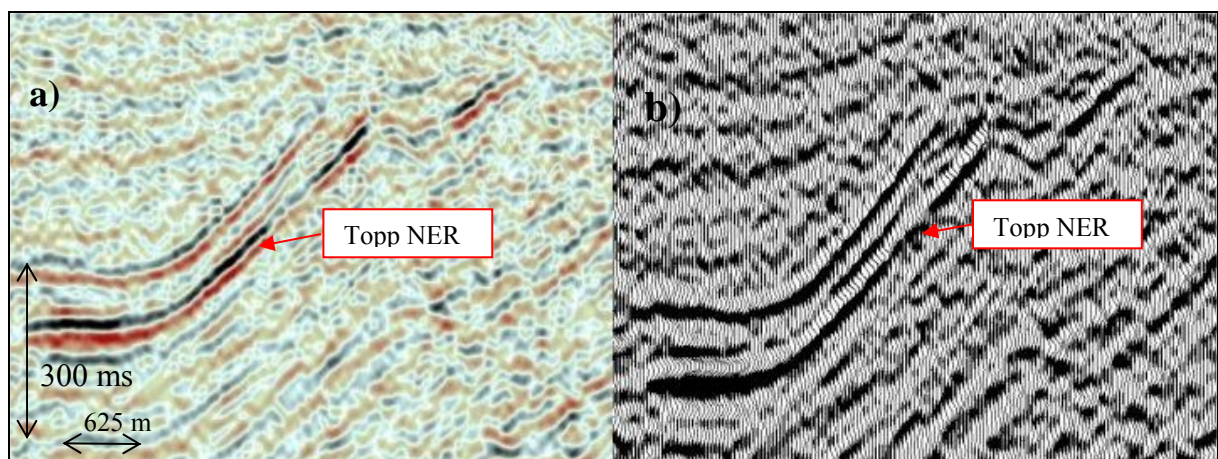


Minimumfasesignal for en positiv refleksjonskoeffisient gir først et lite negativt utslag etterfulgt av et større positivt.

Nullfasesignal for en positiv refleksjonskoeffisient gir et symmetrisk signal med positivt utslag i midten.

Figur 4.2. a) Minimum- og b) nullfasesignal dannet av en økning i akustisk impedans i en grenseflate ved nivå 0. Etter Sheriff (1999).

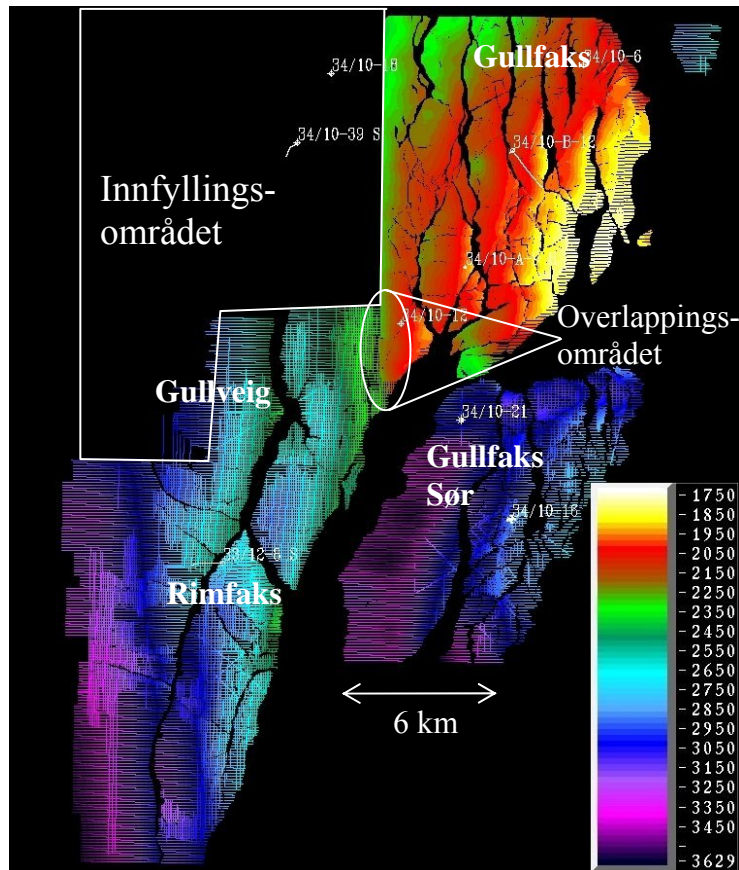
At dataene er prosessert til nullfase gjør at de kan være enklere å tolke fordi horisonten legges midt i signalet (Fig. 4.2.b)). Figur 4.2 a) viser minimumfase og her ligger den egentlige grenseflaten *før* det største utslaget vises på mottakeren, og det kan derfor være problematisk å legge tolkningen til riktig nivå. Det er vanlig i dag at alle seismiske data tolkes i nullfase.



Figur 4.3. Topp NER er et kraftig negativt signal med god kontinuitet over store deler av Gullfaksområdet. a) Seismikk i fremstilt i rød-sort fargeskala der rødt representerer traue og b) seismikk fremstilt som traser og variabelt areal der traue er farget sort.

4.3 Integrering av horisontene

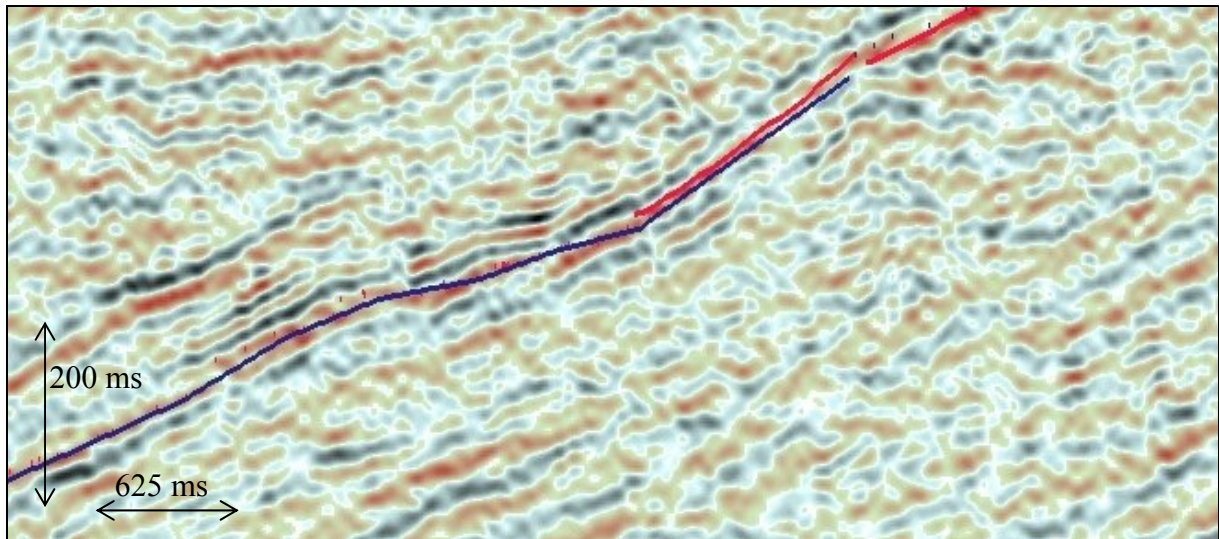
Som første trinn i utarbeidelsen av topp NER som en helhet i Gullfaksområdet ble de allerede eksisterende offisielle tolkningene av feltene i arbeidsområdet satt sammen til én flate (Fig. 4.4).



Figur 4.4. Tre uavhengige tolkninger av topp NER er satt sammen til én enkelt flate fremstilt i toveis gangtid. Gullfaks Sør-tolkningen separeres fra de to andre av Gullfaksforkastningen. Tolkningene fra Gullfaks og Rimfaks/Gullveig møtes i overlappingsområdet.

4.4 Kvalitetskontroll av integreringen

Topp NER kan gjenkjennes som en kraftig negativ amplitude (Fig. 4.3) over store deler av Gullfaksområdet. Selve integreringen av flatene tar ikke hensyn til hvor i seismikken de forskjellige tolkningene ligger i tid. En kvalitetskontroll i områdene der to uavhengige tolkninger møtes både på samme nivå (Fig. 4.5) og over forkastninger er derfor nødvendig.

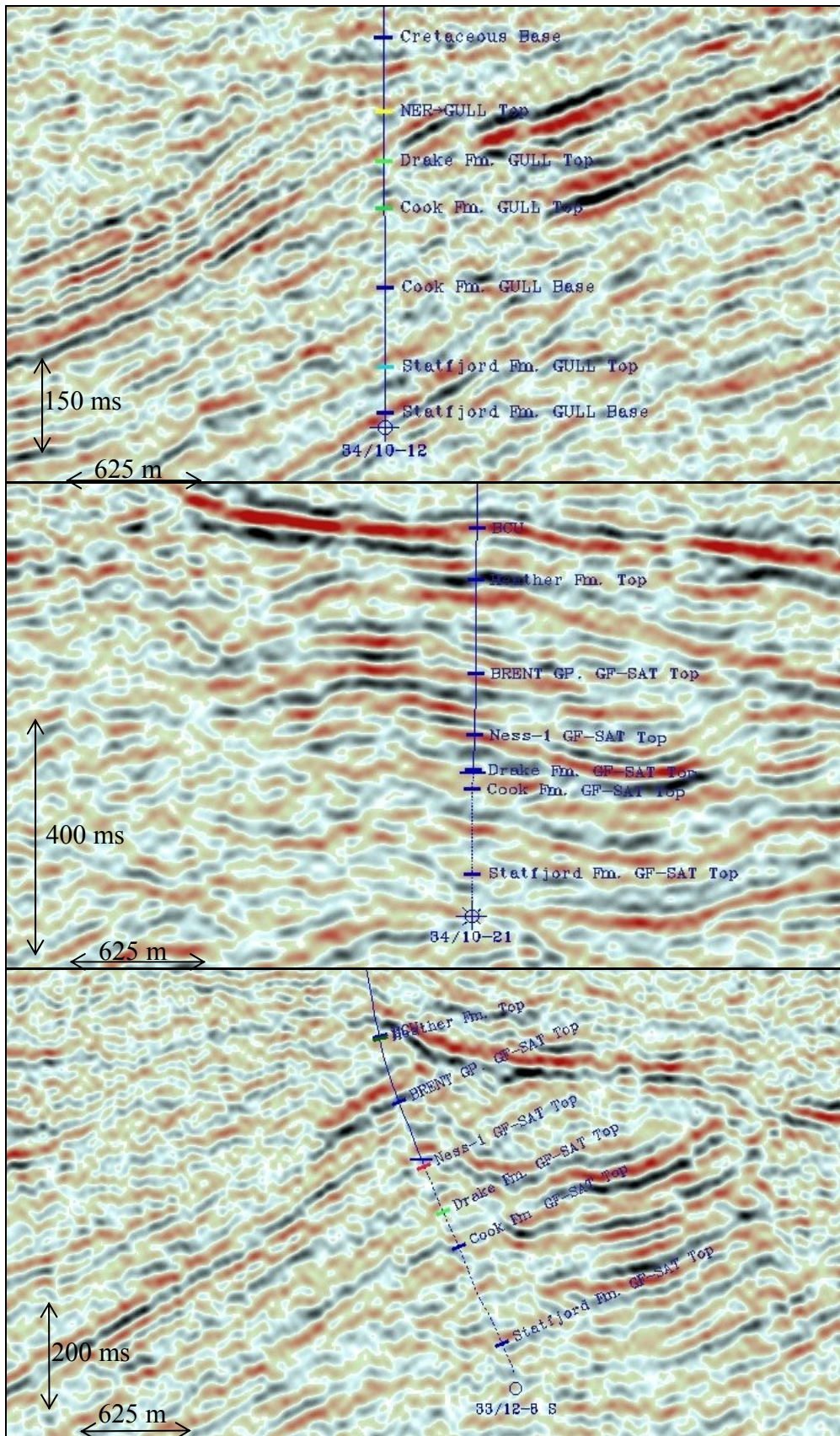


Figur 4.5. Uavhengige tolkninger møtes uten brudd i reflektoren. Blå tolkning er fra Rimfaks/Gullveig og rød er tolkning fra Gullfaksfeltet.

Det ble ikke avdekket uoverensstemmelser under kvalitetskontrollen.

4.4.1 Brønntie under integreringen

Gullfaks Sør separeres fra de andre feltene av Gullfaksforkastningen (Fig. 4.3). Med et sprang på over 1000 m vil følgelig ikke tolkningene av topp NER ligge på samme nivå der tolkningen på Gullfaks Sør møter tolkningen på de andre feltene. For å kontrollere at topp NER representerer samme signal både i hengblokken og liggblokken til Gullfaksforkastningen ble det tatt i bruk VSP-informasjon fra letebrønnene 34/10-16 og 34/10-21 på Gullfaks Sør og sammenlignet med brønner i liggblokken til Gullfaksforkastningen. På bakgrunn av tolkede logger, VSP-data og hastighetsmodeller utarbeidet av Statoil kan seismikken knyttes til brønnene. Ved å se hvilken tid topp NER skal ligge på i den aktuelle brønnen kan det kontrolleres at tolkningen ligger på rett dyp og i riktig signal (Fig. 4.6).



Figur 4.6. Kontroll av seismikk mot brønninformasjon. Fra brønn 34/10-12, Gullfaks, 34/10-21, Gullfaks Sør og 33/12-8 S, Rimfaks.

Siden VSP-data er samlet inn på en annen måte enn de seismiske innsamlingene vil det være et tidsskift mellom disse (Ekren, 2003). For å finne korrekt toveis gangtid til ønsket reflektor antas en lineær økning i tidsskift med dyp, og kan beskrives med sammenhengen

$$y - y_0 = a(x - x_0), \quad (4.3)$$

der y tilsvarer toveis gangtid i ms (t) og x tilsvarer dypet i m (z). Ved å omforme uttrykket får vi tidsskiftet Δt gitt ved

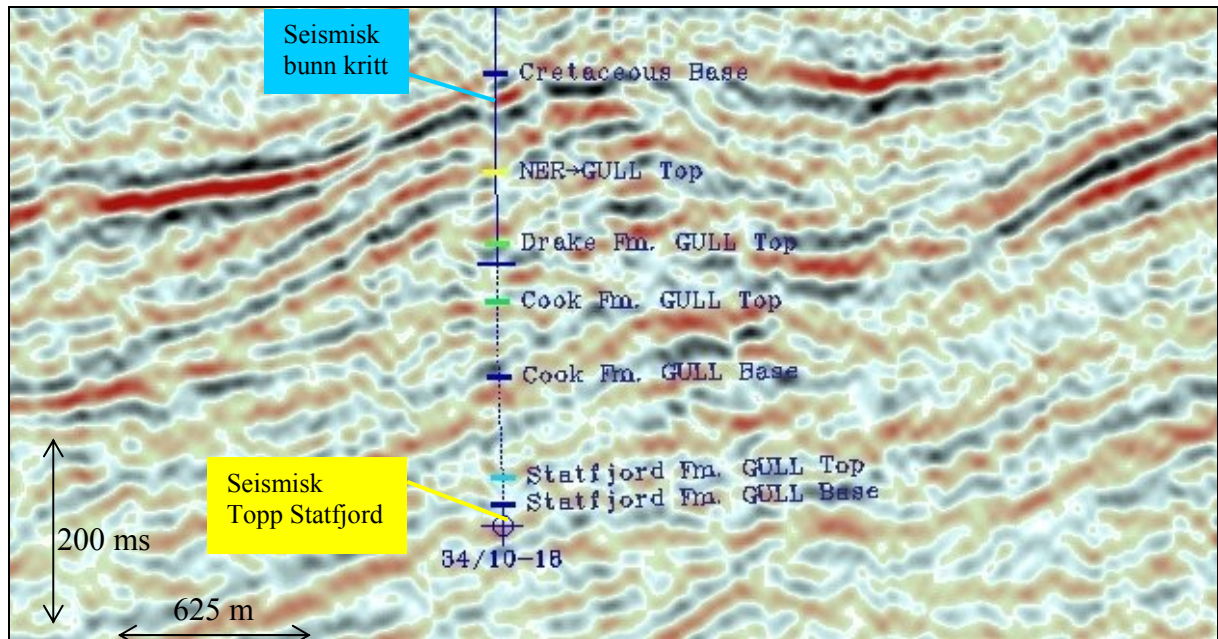
$$\Delta t = t_0 + \frac{t_1 - t_0}{z_2 - z_0}(z_1 - z_0), \quad (4.4)$$

der brøkuttrykket er satt inn for stigningstallet a .

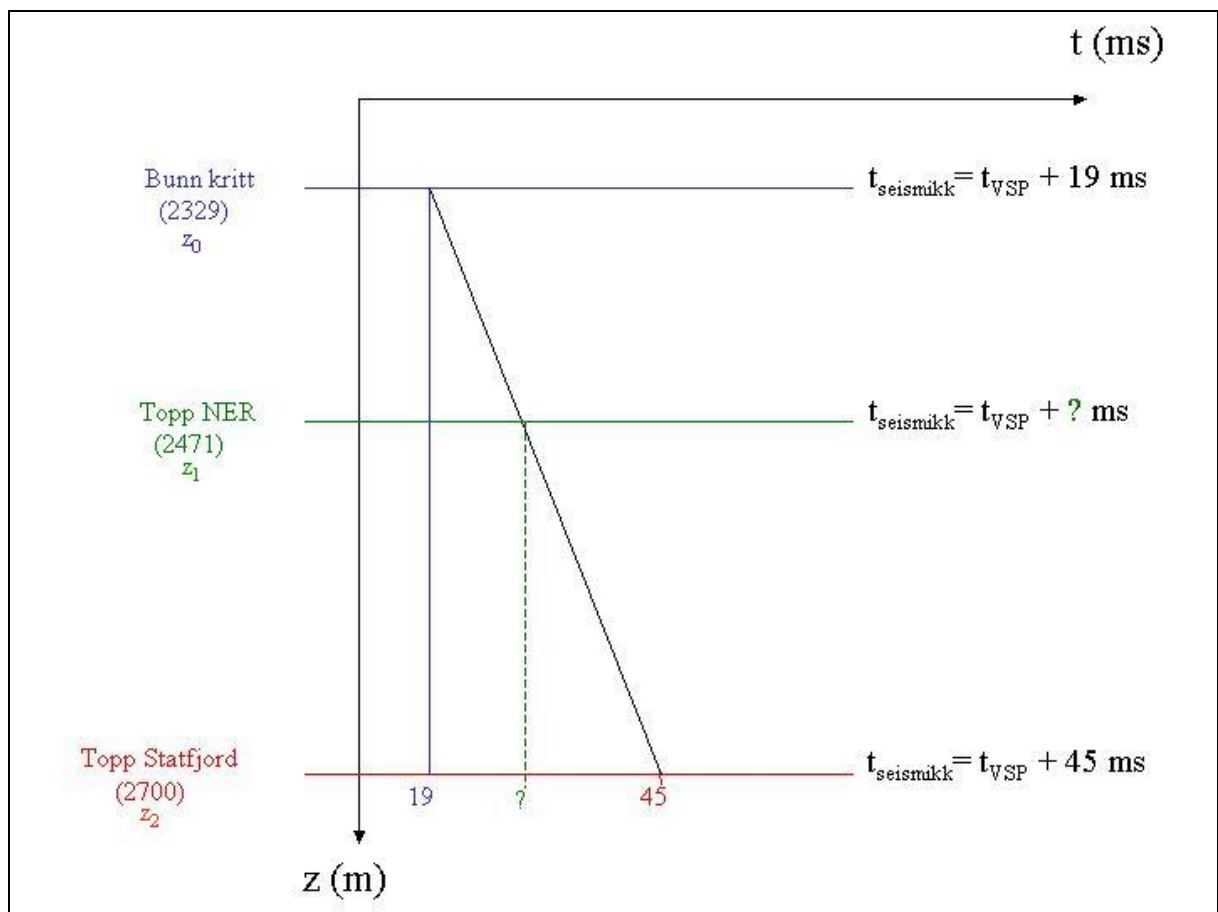
Ved å sette inn kjente verdier fra avlesninger fra brønnlogger (z -verdier) og seismikk (t -verdier) får man et enkelt uttrykk som gir tidsskiftet for den ukjente reflektoren. Denne metoden ble brukt i områder med dårlig datakvalitet på topp NER-nivå, men god på andre reflektorer (Fig. 4.7). For å bruke den må man ha minst to nivå med kjent tidsforskyvning, altså god seismikk med gjenkjennelige reflektorer og dyp i meter fra brønnlogger (Fig. 4.7).

Eksemplet i figur 4.8 er tatt fra brønn 34/10-18. Her er både bunn kritt og topp Statfjord tydelige reflektorer, og tidsskiftet fra VSP-dataene leses av fra seismikken. Dypet i meter finnes fra brønnlogger, tidsskiftet finnes fra seismikken hvor det er innlagte markeringer langs brønnbanen for den aktuelle reflektoren fra VSP-data. Verdiene settes inn i uttrykket for tidsskift (Δt) og vi får dypet til den ukjente reflektoren (t_{seismikk}):

$$t_{\text{seismikk}} = t_{\text{VSP}} + \Delta t. \quad (4.5)$$



Figur 4.7. I brønn 34/10-18 er det uklart hvor topp NER skal ligge. For å finne korrekt dyp må det legges til et tidsskift i forhold til det angitte dypet fra VSP-data (blå skrift).

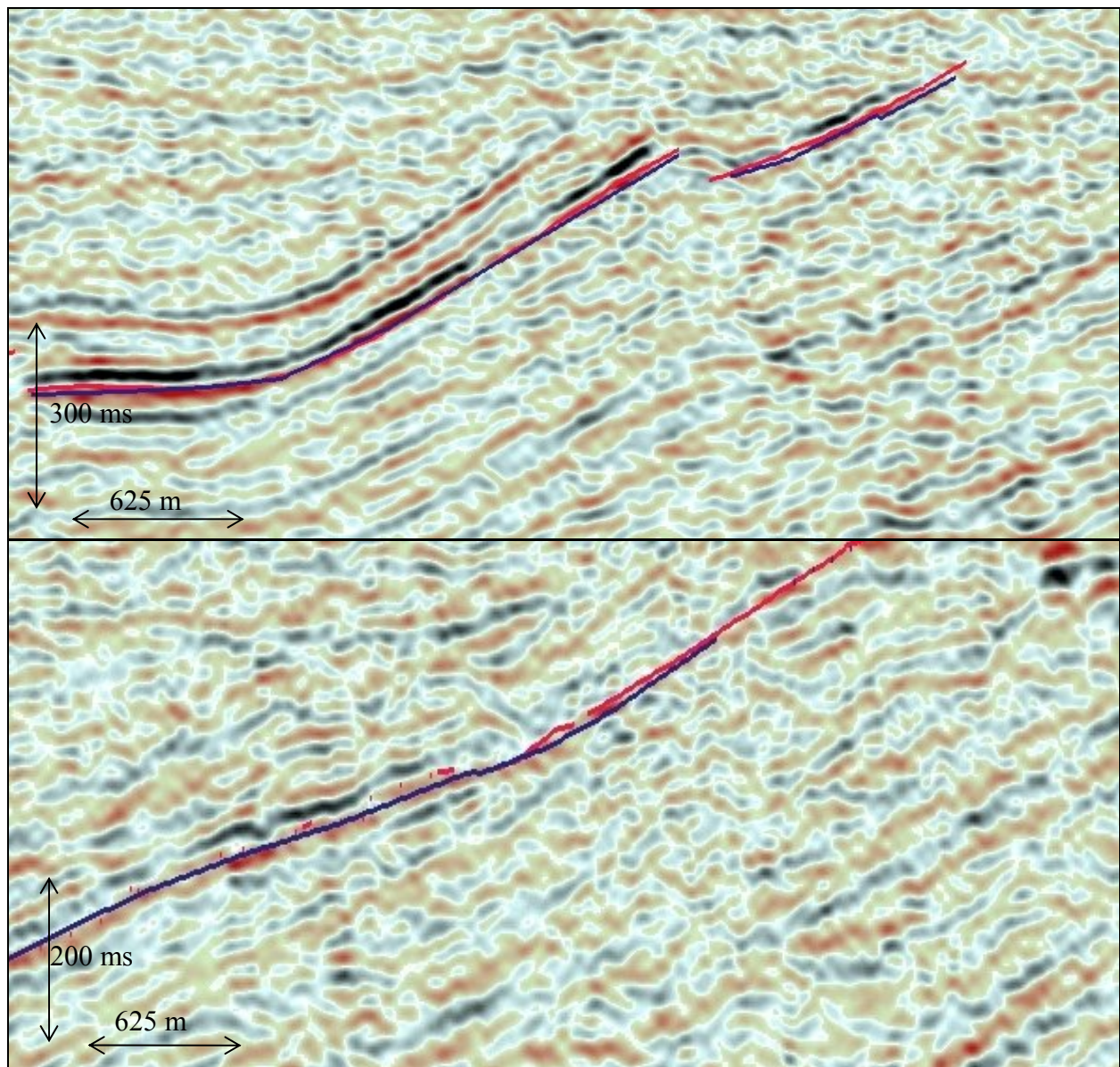


Figur 4.8. Eksempel på beregning av tidsskift fra brønn 34/10-18. Ved å sette tallene inn i uttrykket for tidsskift gir det 29 ms for topp NER.

En annen kontroll i integreringsprosessen lå i overlappingsområdet der de to uavhengige tolkningene fra Gullfaks og Rimfaks/Gullveig møtte hverandre (Fig. 4.4).

4.4.2 Kontroll i overlappingsområdet

I overlappingsområdet mellom Gullfaks og Rimfaks/Gullveig (Fig. 4.4) ble samtlige linjer kontrollert. De tolkede linjene viser godt samsvar mellom disse feltene og ingen tilfeller av uoverensstemmelser ble observert (Fig. 4.9).



Figur 4.9. Linjene viser overlappingsområdet mellom Gullfaks og Rimfaks/Gullveig. Snittene er representative for hele overlappingsområdet. Rød tolkning er fra Gullfaksfeltet og blå er Rimfaks/Gullveig.

4.5 Innfyllende tolkning

Nordvest i Gullfaksområdet fantes et område som ikke inngikk i de offisielle tolkningene. En innfyllende tolkning her var derfor nødvendig for å fremstille topp NER som en helhet i arbeidsområdet.

Området som ble tolket utgjør til sammen et areal på omlag 100 km². Begrensningene i vest og nord skyldes at Gullfakslisensen og den seismiske kuben slutter, i øst og sør av tidligere tolkninger. Til et område av denne størrelsen ble det vurdert at tolkning på hver 16. linje var tilstrekkelig generelt, men mer inngående studier ved forkastninger var nødvendig. Videre ble kun de største forkastningene tolket, med sprang på minst 30 m. Den største forkastningen i det tolkede området er Tordisforkastningen (Fig 2.5) med et sprang på opp mot 300 m i innfyllingsområdet.

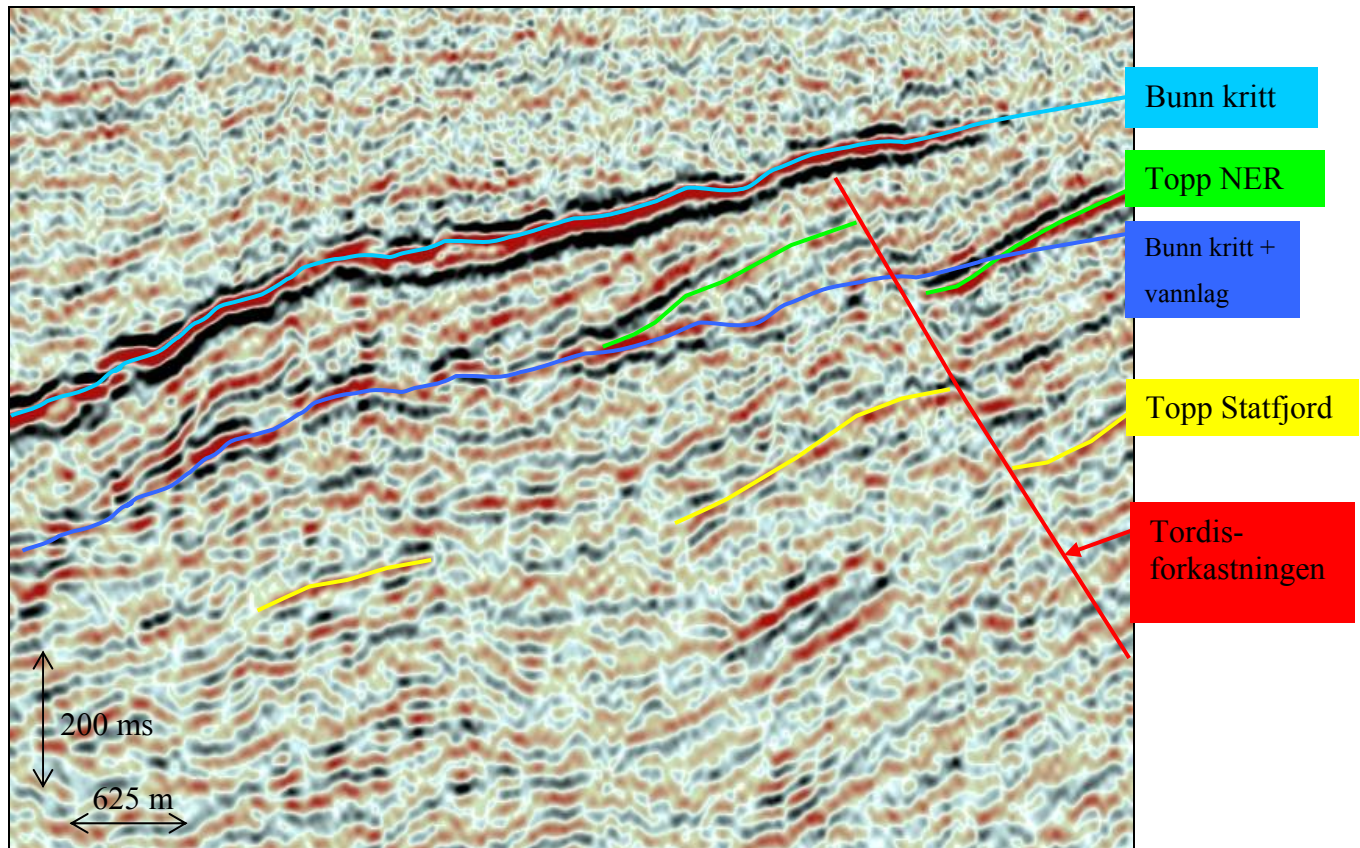
Innfyllende tolkning i det samme området ble også gjort av andre studenter på lavere (topp Statfjord) og høyere (topp Tarbert) stratigrafisk nivå. Hovedforkastningene av jurassisk alder skjærer gjennom på alle nivå i juraavsetningene (Fig 2.7) og tolkningen måtte derfor koordineres med medstudenter.

4.5.1 Brønntie under innfyllende tolkning

I området som skulle tolkes finnes det kun 2 brønner (34/10-18 og 34/10-39 S) å knytte seismikken til (Fig. 4.4). Dette bidrar til å minke nøyaktigheten på tolkningen, spesielt i områder med mye støy (Kap 4.5.2).

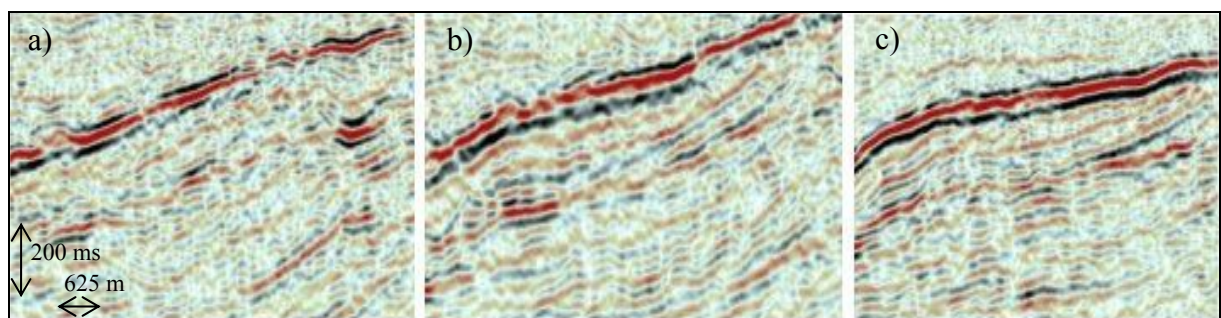
4.5.2 Datakvalitet i innfyllingsområdet

I området der den innfyllende tolkningen ble gjort (Fig. 4.4) var datakvaliteten varierende. I de sørligste delene var kvaliteten god, mens det nordvest i innfyllingsområdet er en del multippelstøy fra bunn kritt + vannlaget på 190 ms (Fig. 4.10) som forstyrret primærrefleksjonen fra topp NER.



Figur 4.10. Bunn kritt + vannlaget danner en multipel som krysser topp NER-reflektoren.

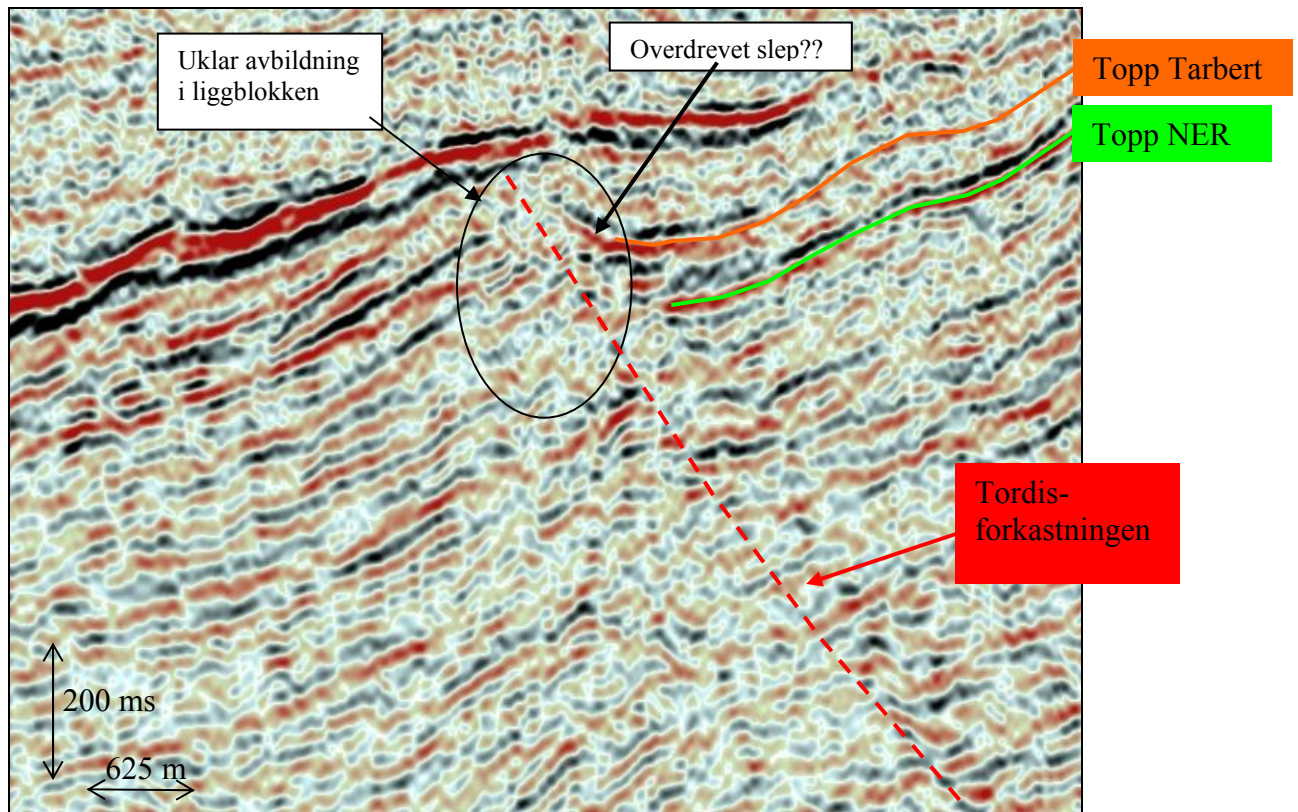
Multipelproblemet inntreffer gradvis rundt linje 2455 og problemet øker nordover (Fig 4.11). Bunn kritt er en meget kraftig reflektor i problemområdet og multipellen overskygger helt primærrefleksjonen i østlige deler av de seismiske linjene.



Figur 4.11. Økning av multipelproblemet mot nord. Linje a) 2455, b) 2630 og c) 2840 fra sør mot nord.

Avbildingskvaliteten inn mot forkastninger er også varierende, spesielt i liggblokken (Fig. 4.12). Dette minsker sikkerheten i kartleggingen av Tordisforkastningen på topp NER-nivå. Videre ser det ut til at sleet inn mot forkastningen i hengblokken er overdrevet i øvre del av Brentpakken og gir et feilaktig bilde av den egentlige deformasjonen i lagpakken mellom topp

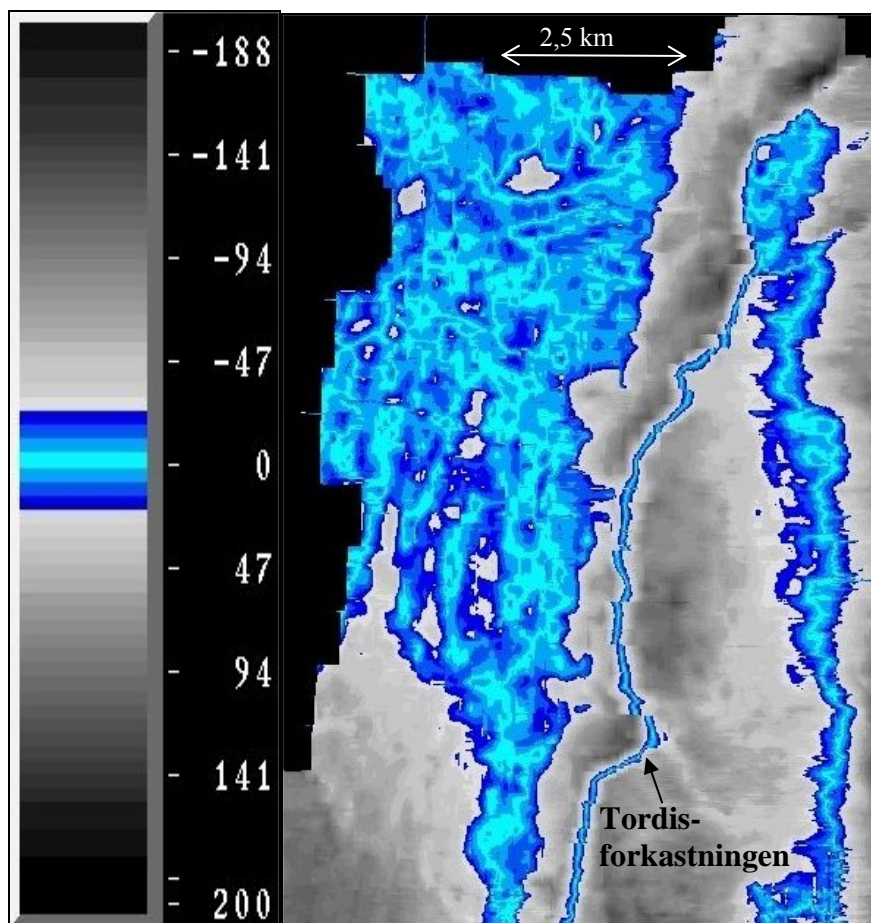
Statfjord og topp Tarbert. Til sammen kan disse faktorene forvrengte bildet av både forkastningenes og lagningens egentlige form.



Figur 4.12. Avbildningskvaliteten varierer i liggblokken inn mot Tordisforkastningen. Den seismiske avbildningen av slep i hengblokken kan være overdrevet.

4.5.3 Generering av topp NER fra topp Statfjord

Etter å ha tolket topp NER-signalet i store deler av innfyllingsområdet ble det klart at tolkningen delvis interfererte med vannlags-multippelen fra bunn kritt, spesielt i nordvest. For å kartlegge hvilke områder som burde undersøkes nærmere ble det laget et kart som viser forskjellen mellom multippelen og den første tolkningen. Der multippelen faller sammen med tolkningen over et større område er det grunn til å mistenke at det er multippelen som har blitt tolket som topp NER. I figur 4.13 er disse områdene vist med blå farge hvor den lyseste representerer liten eller ingen forskjell mellom de to flatene. Forkastninger fremkommer som en tynnere blå sone der multippelen krysser tolkningen.

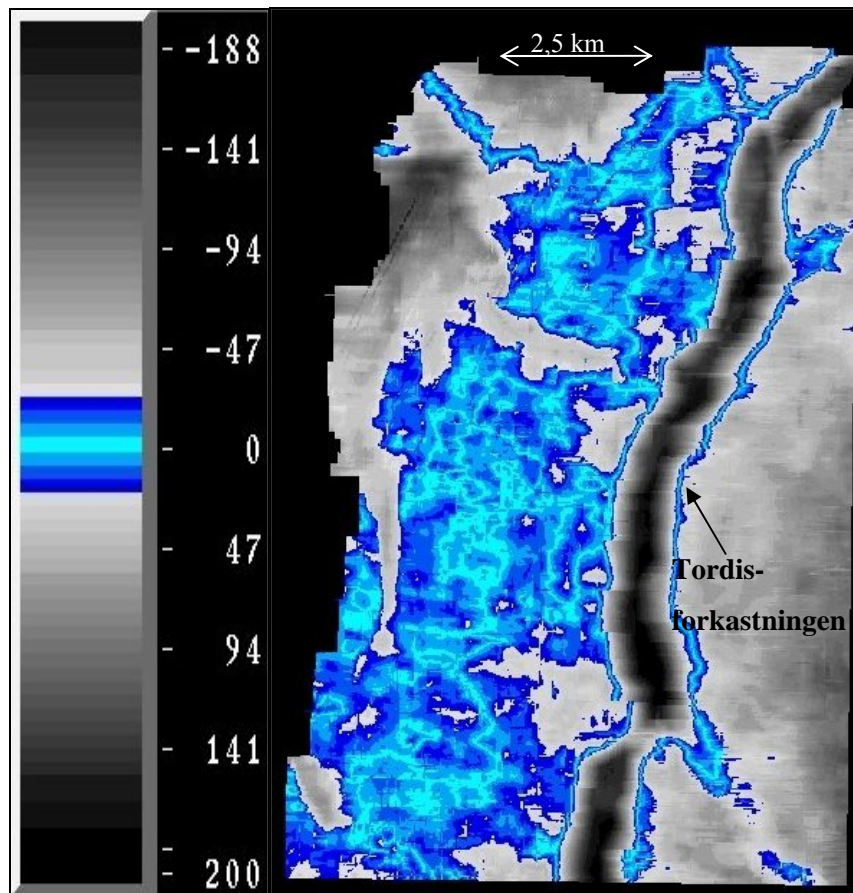


Figur 4.13. Kartet viser hvor den første tolkningen av topp NER faller sammen med bunn krittis vannlagmultipel. Forskjellen er gitt i millisekund. Lyseblå områder indikerer at det er tolket på multipelen.

Multipelen forstyrrer topp NER-signalet såpass mye i nordvest at det ikke alltid er mulig å følge den ønskede reflektoren (Fig. 4.10) selv etter mer inngående undersøkelser, og det kan være vanskelig å anslå nøyaktig hvor primærrefleksjonen går over i multipelen. For likevel å danne et bilde av hvor topp NER lå i problemområdet i nordvest ble det generert en isokor fra topp Statfjord.

Sør i innfyllingsområdet der både topp NER og topp Statfjord er tydelige reflektorer viste det seg at den mellomliggende pakken hadde en forholdsvis konstant tykkelse. Målinger ble foretatt over et område mellom linje 2186 og 3100 med 1-2 målinger per linje på wiggletraser. Gjennomsnittstykkelsen ble funnet til 290 ms toveis gangtid. Denne verdien ble trukket fra den tolkede topp Statfjord-horisonten i problemområdet, og dermed ble det konstruert en flate som kan ligge på topp NER-nivå.

Etter å ha generert en flate ved hjelp av topp Statfjord ble det laget et nytt kart (Fig. 4.14) som viser forskjellen mellom den første tolkningen og den genererte flaten. Blå indikerer liten forskjell. Dette viser at den genererte flaten enkelte steder faller sammen med den første tolkningen slik at man kan anta at denne er fornuftig. I disse områdene ble det ikke foretatt noe retolkning ved hjelp av den genererte flaten.



Figur 4.14. Flaten viser forskjellen på den genererte flaten fra topp Statfjord og den første tolkningen. Forskjellen er gitt i millisekund. I de lyseblå områdene kan det være at topp NER faller sammen med multippelen.

Ved å se hvor den første tolkningen var gjort på multippelen og deretter se hvor den genererte topp NER falt sammen med multippelen ble det avgrenset et område fra omtrent linje 2700 og nordover og vest for Tordisforkastningen. I dette området ble den konstruerte flaten grunnlaget for den endelige tolkningen av topp NER.

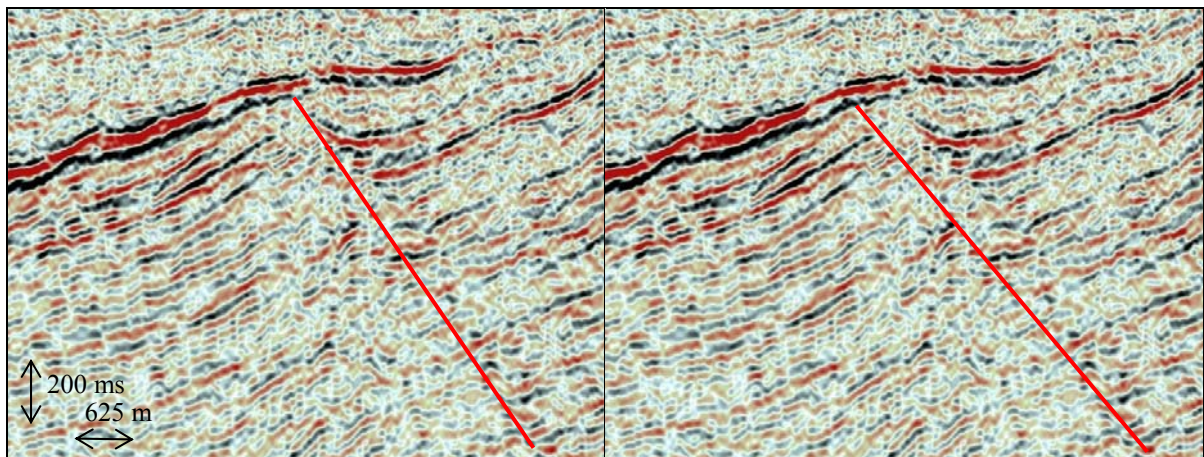
4.5.4 Forkastninger

Den største og mest fremtredende forkastningen i det tolkede området er Tordisforkastningen (Fig. 2.5 og 4.14), men også andre og mindre forkastninger ble kartlagt i innfyllingsområdet. Det ble satt en grense på minimum 30 m sprang (~20 ms toveis gangtid) for å begrense tolkningens omfang, mulige forkastninger under denne grensen ble ikke tatt hensyn til.

Alle forkastningene som er observert er normalforkastninger. Dette impliserer at de er dannet under ekstensive forhold. Alle nivå av de jurassiske sedimentene (Fig. 2.8) er gjennomgått av de observerte forkastningene, mens de overliggende kritt-sedimentene ser ut til å være upåvirket.

Selv om tolkningen i denne oppgaven kun er gjort på en horisont er det også sett på grunnere og dypere nivå i stratigrafien for å danne et konsistent bilde av forkastningene. Andre studenter i SIP (Kap 1.1) har således bidratt til tolkningen på topp NER-nivå.

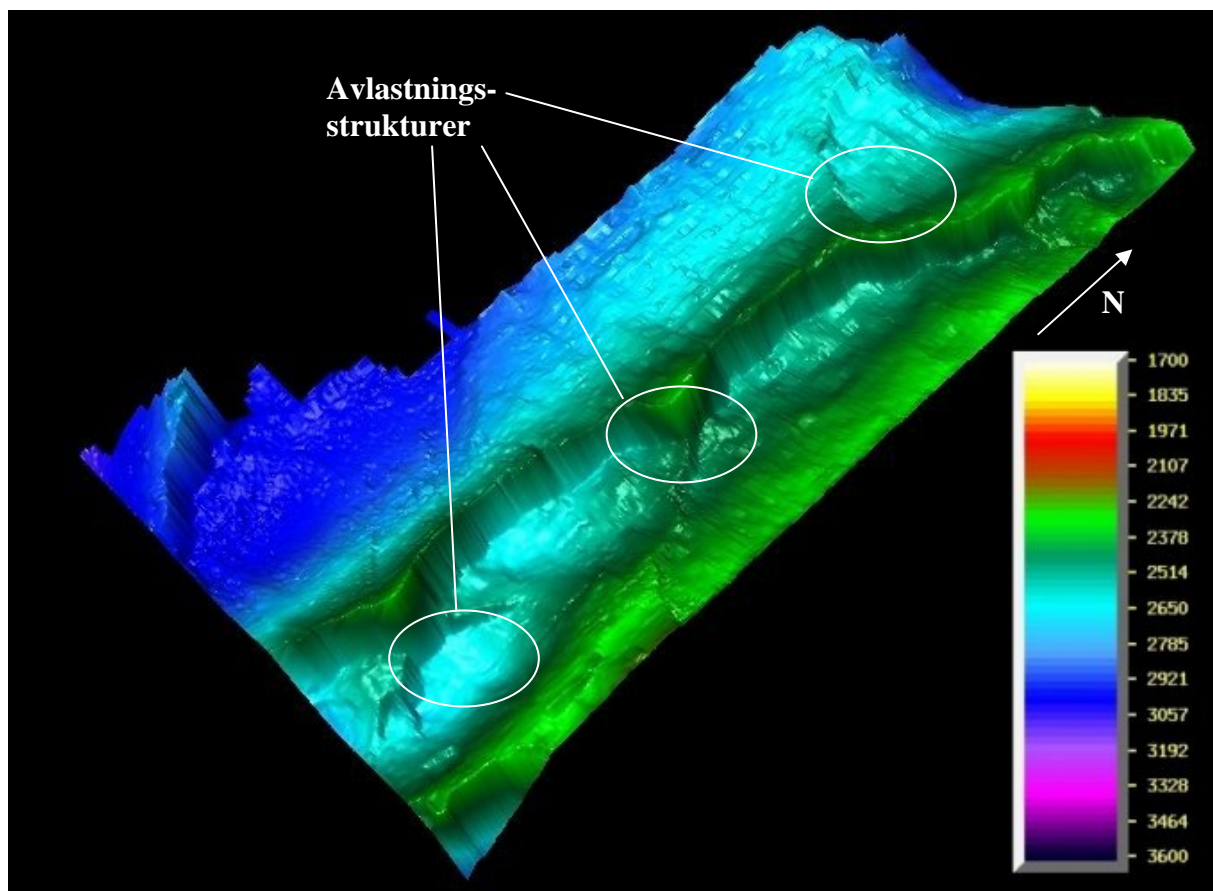
På grunn av varierende avbildning inn mot forkastningene, spesielt i liggblokkene (Fig. 4.12), kan det være vanskelig å trekke en eksakt tolkning der forkastningsplanet ser ut til å kutte lagningen. Dette vil igjen gjøre den laterale kontinuiteten av forkastningsplanet usikker (Fig. 4.15).



Figur 4.15. To mulige tolkninger av Tordisforkastningen på det samme seismiske snittet. Dette kan medføre problemer i den laterale kontinuiteten.

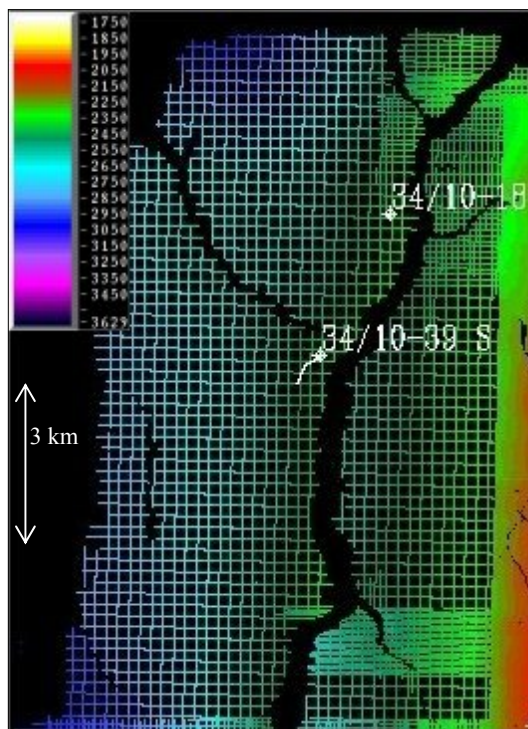
Når det gjelder vertikal kontinuitet har ikke det vært like mye vektlagt siden problemstillingen i oppgaven først og fremst dreier seg om kartlegging av ett stratigrafisk nivå. Det kan derfor finnes uoverensstemmelser på forkastninger i den triassiske lagpakken.

Horisontale avlastningsstrukturer er observert, disse kommer spesielt godt fram i 3D-visualisering (Fig. 4.16). Der en forkastning splitter opp blir spranget fra hovedforkastningen bevart i det totale spranget for begge forkastningsgrenene. Dette kan også observeres i alle størrelsesordener i naturen.



Figur 4.16. 3D-visualisering av infyllingsområdet viser horisontale avlastningsstrukturer (visualiseringen er fra en interpolert flate). Fargene indikerer toveis gangtid.

Et annet karakteristisk trekk som spesielt fremkommer i både kartbilde (Fig. 4.19) og 3D-fremstilling (Fig. 4.16) er forkastningenes buede form. Dette ser ut til å gjelde både små og store forkastninger, mens de minste kan bestå av kun en bue ser for eksempel Tordisforkastningen ut til å være satt sammen av flere buede segment. Det er spesielt i områdene der to segment linkes sammen at den seismiske avbildningen kan være uklar i liggblokken (Fig. 4.12).



For å dokumentere forkastningene på topp NER i kartbildet lages det forkastningspolygon. Der en tolket linje brytes av en forkastning vil dette sett ovenfra danne et åpent område, og når flere linjer er tolket vil dette åpne området danne et polygon som tegnes opp. I disse polygonene vil ikke topp NER være representert (Fig. 4.17).

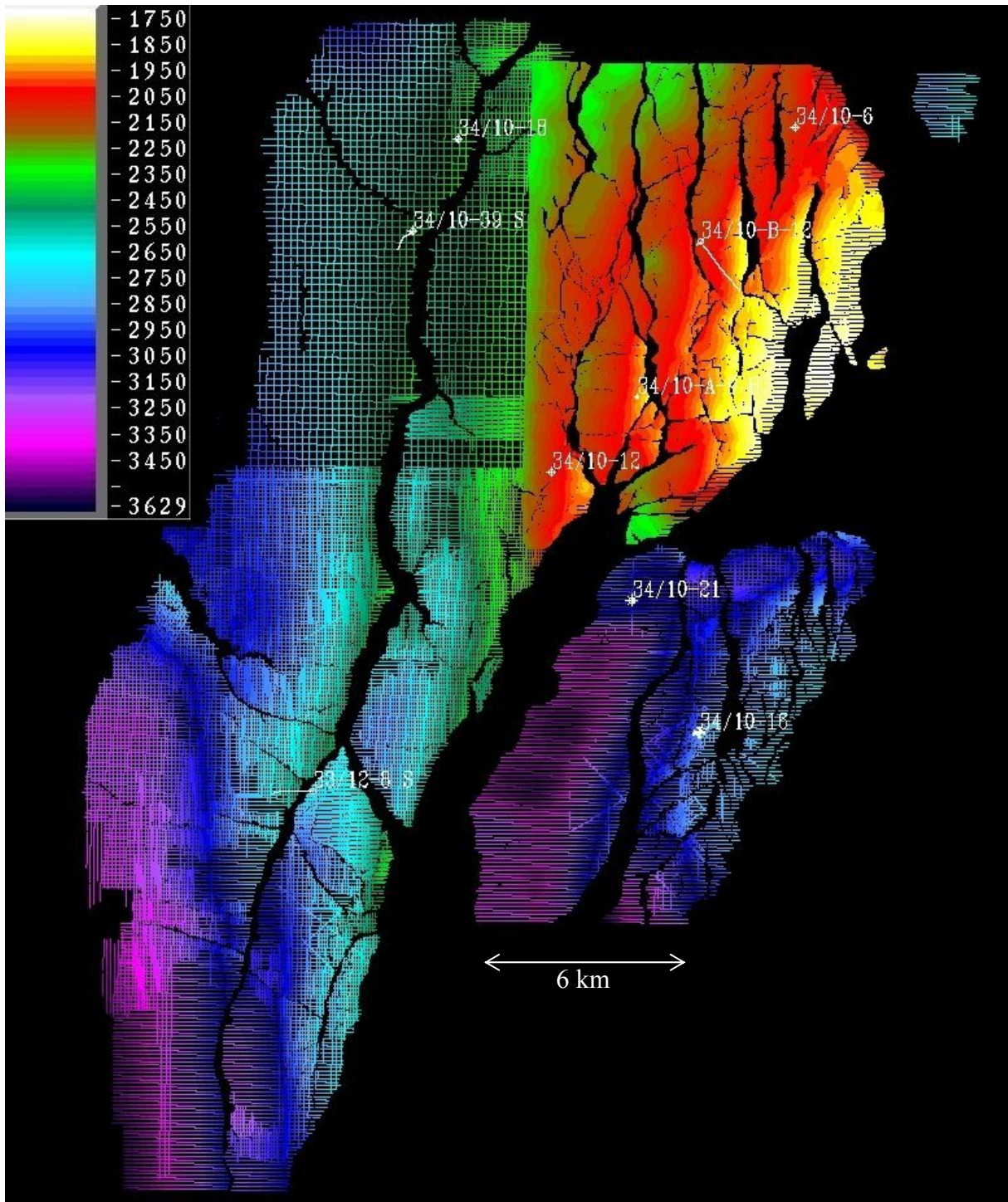
Figur 4.17. De sorte områdene markerer forkastninger i kartplanet. I disse områdene vil ikke grenseflaten topp NER være representert.

4.6 Sammenstilling til sluttprodukt

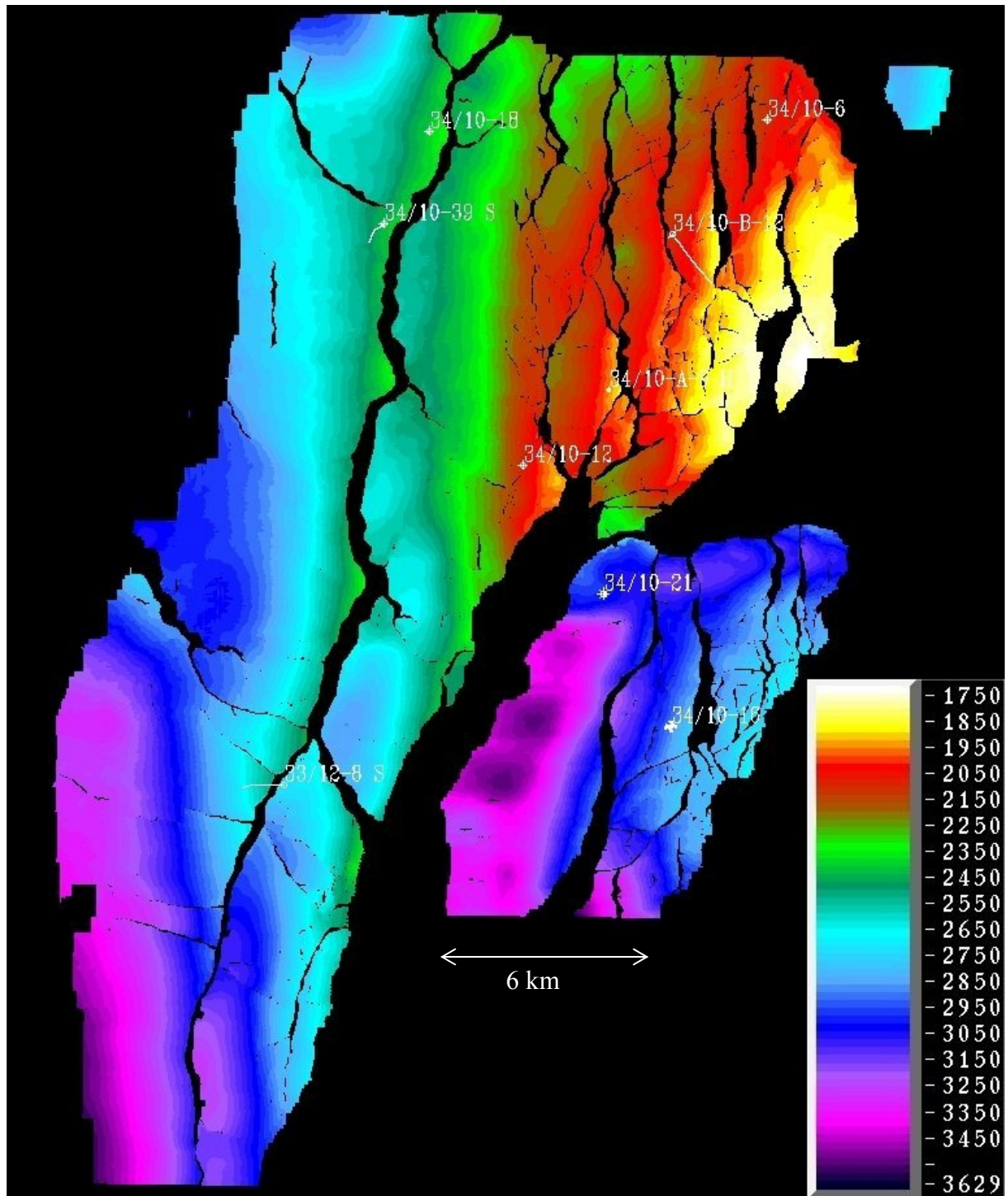
Tolkningen i innfyllingsområdet ble lagt direkte inn på den integrerte flaten beskrevet i kapittel 4.3. og vist i figur 4.4. Dermed ble flaten oppdatert underveis i tolkningsprosessen. Den ferdig tolkede flaten er vist i figur 4.18. Innfyllingsområdet vises med tolkning på hver 16. linje, som er betydelig grovere enn tolkningene i vest og sør på Gullfaks og Rimfaks/Gullveig.

4.6.1 Interpolering

Etter den innfyllende tolkningen ble flaten interpolert for å fremstille topp NER bedre visuelt ved å fylle inn tolkninger mellom linjene. Dette gjøres ved at det blir trukket en rett tolkning mellom linjer og krysslinjer over et angitt intervall. Dermed vil også forkastningene fylles igjen, men ved hjelp av forkastningspolygonene klippes denne delen av interpoleringen vekk (Fig. 4.19).



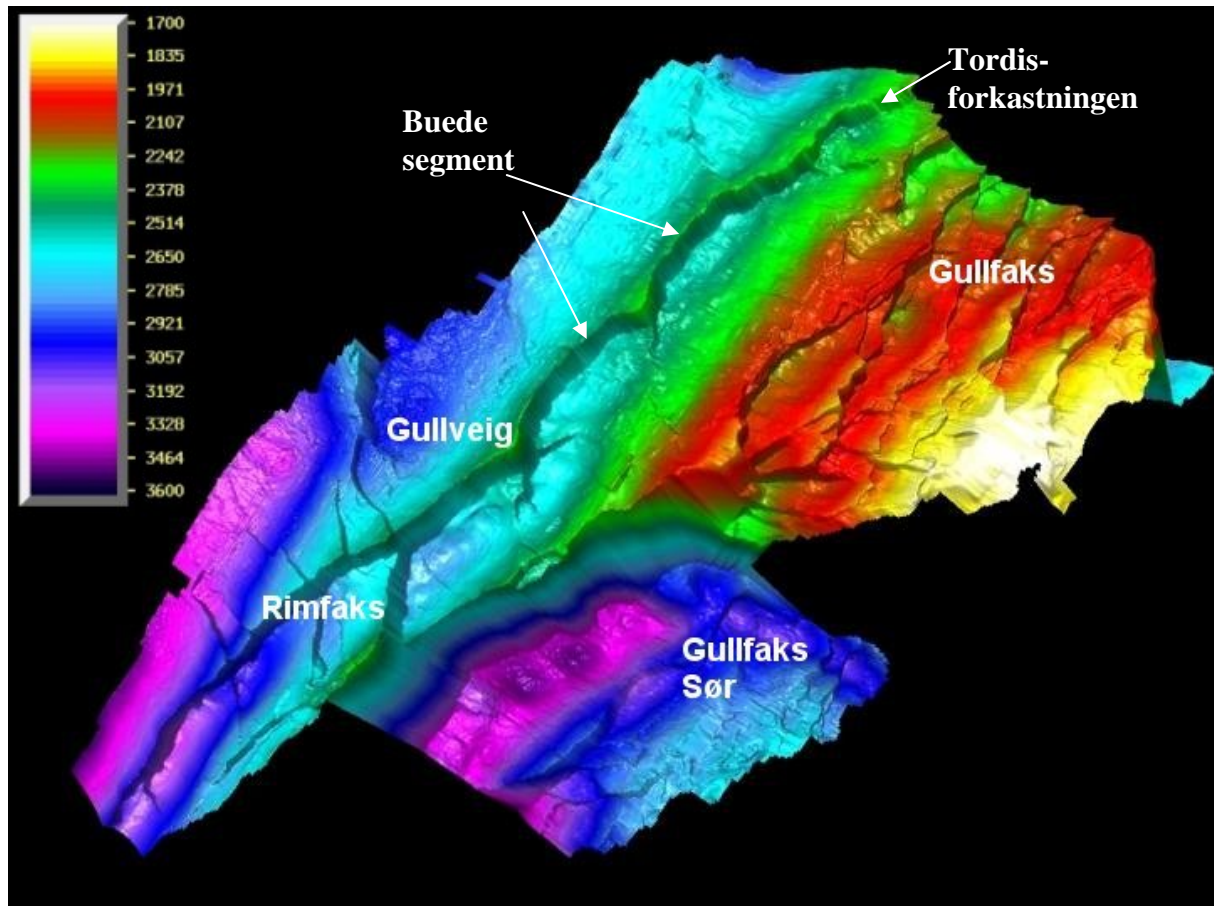
Figur 4.18. Innfyllingsområdet i nordvest er tolket på hver 16. linje. Ved forkastningene er tolkningen enkelte steder tettere for en bedre kartlegging. Fargene indikerer toveis gangtid.



Figur 4.19. Interpolert flate av topp NER på bakgrunn av tidligere tolkninger og innfyllende tolkning i nordvest. Fargene indikerer toveis gangtid.

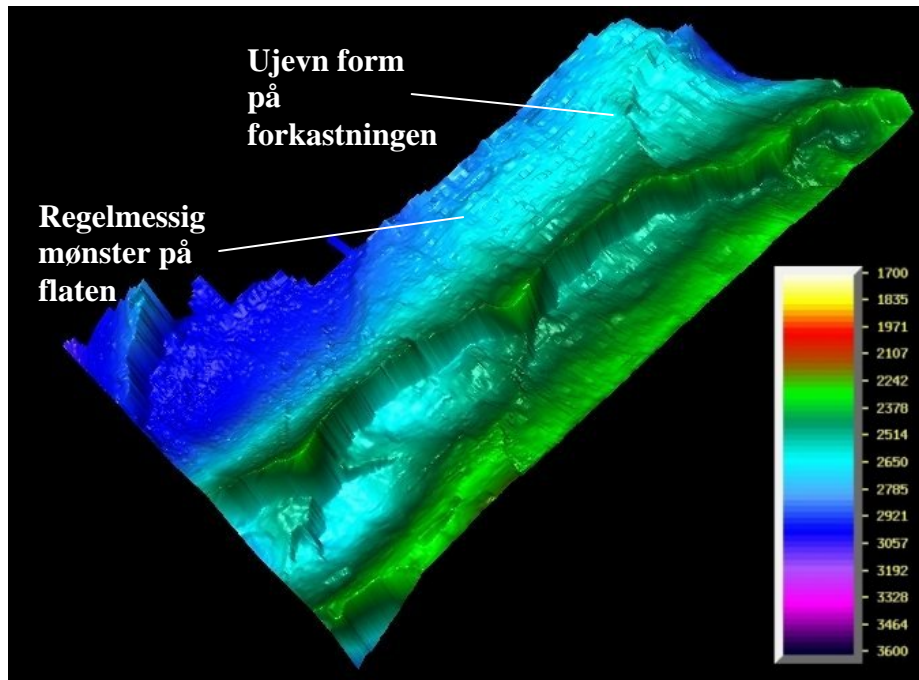
4.6.2 3D visualisering

Som kontroll på tolkningen ble flaten fremstilt i tre dimensjoner underveis i tolkningsprosessen. Dette bidrar til å avdekke geologiske særtrekk i tolkningsområdet samtidig som det gir et bedre inntrykk av flaten og eventuelle urimeligheter i tolkningen (Fig. 4.20).



Figur 4.20. 3D-fremstilling av topp NER etter tolkning og interpolering. Fargene indikerer toveis gangtid.

Urimeligheter som kan komme fram kan være forkastninger som har en unaturlig form eller unaturlige regelmessige mønstre på flater (Fig. 4.21). Tolkningens nøyaktighet spiller inn på disse elementene, og en grov tolkning gir større rom for uregelmessigheter.



Figur 4.21. Tredimensjonal fremstilling av det tolkede området viser enkelte uregelmessigheter. Fargene indikerer toveis gangtid.

4.7 Oppsummering

I dette kapittelet har tolkningsprosessen blitt beskrevet og problemstillinger underveis har blitt kommentert. I hovedtrekk har tre steg i sammenstillingen av topp NER blitt gjennomgått: Integrering av horisonter, kontroll av integrering og innfyllende tolkning nordvest i arbeidsområdet.

Integreringen besto hovedsakelig i å sette sammen de tre uavhengige tolkningene fra Gullfaks, Gullfaks Sør og Rimfaks/ Gullveig.

Kontrollen av integreringen ble gjort ved å se etter at tolkningen var gjort på samme nivå ved hjelp av brønntie på de forskjellige feltene. Overlappingsområdet (Fig. 4.4) ble kontrollert for å se at det ikke var uoverensstemmelser mellom tolkningene.

Innfyllende tolkning ble gjort i nordvestlige deler av Gullfaksområdet (Fig. 4.4). Problemstillingene beskrevet fra dette arbeidet vil bli gjennomgått i diskusjonen i kapittel 6.

Kapittel 5

Seismisk modellering

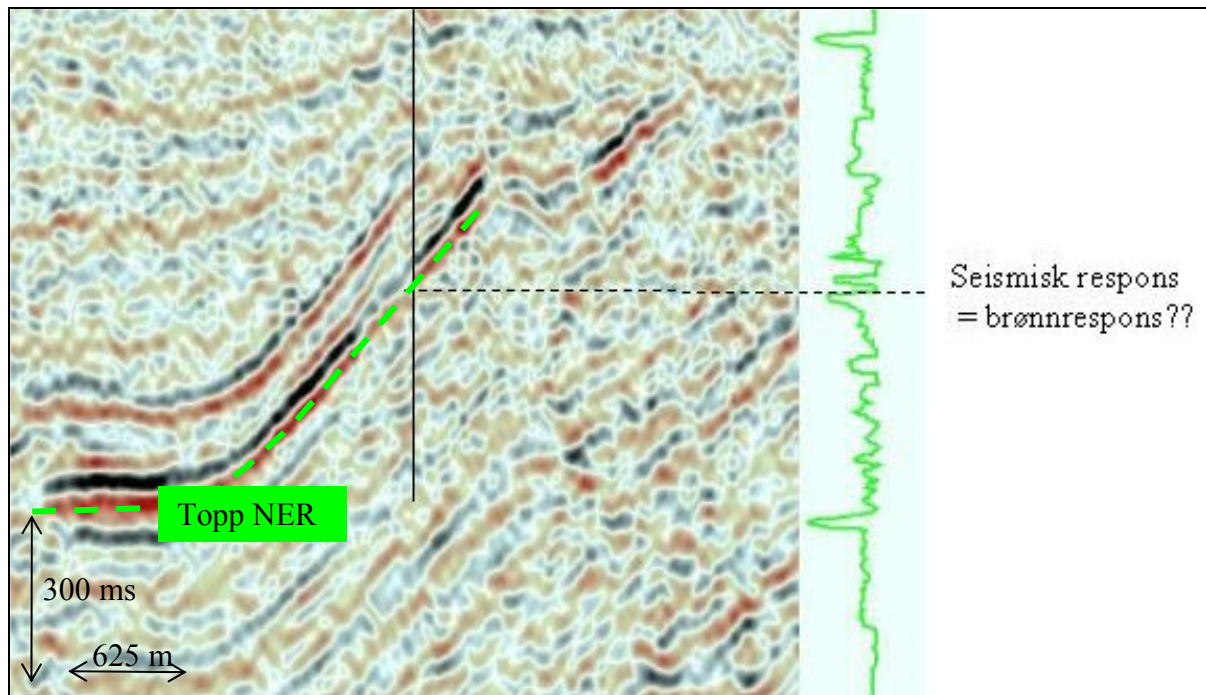
5.1 Innledning

På grunn av laterale variasjoner og stor heterogenitet i NER-intervallet (Kap. 2.3.3 og 2.3.4) er det usikkert hva som genererer det seismiske topp NER-signalet. Dermed settes det spørsmålsteget ved om det seismiske topp NER-signalet tilsvarer topp NER som blir tolket ut fra brønnlogger (Fig. 5.1).

I denne oppgaven er det gjennomført en 1D seismisk modellering i 7 utvalgte brønner (Fig. 3.1 og Appendiks A). Hensikten med modelleringen er å finne ut hvor i stratigrafien signalet settes opp og se hvilken effekt kullagene i NER-pakken har på den seismiske responsen. Flere modeller har bli laget underveis for å oppnå et resultat som kan sammenlignes med den reelle seismikken. Dette kapittelet vil først ta for seg modelleringsprosessen og observasjoner vil bli presentert til slutt.

5.2 Bakgrunn for modelleringen

Den anvendte funksjonen i modelleringsprogramvaren *Nucleus 1D reflectivity* er refleksjonskoeffisienten (Kap 4.2.1) til et lagdelt medium. Modelleringen er gjort med 120 skudd per brønn, og det er antatt isotrope, horisontale lag. Gjennom generering av CMP (Common Mid Point)-samlinger for hver brønn vil AVO-effekter bli tatt hensyn til i modelleringen. For en nærmere beskrivelse av innsamlingsdata for modelleringen vises det til Appendiks B.



Figur 5.1. Det er usikkert om det seismiske topp NER-signalet tilsvarer topp NER-nivået som defineres på brønnlogger.

5.2.1 Seismisk oppløsning

Enhver endring i akustisk impedans i en sedimentær lagrekke vil forårsake seismiske refleksjoner. Om disse refleksjonene vises på et seismisk snitt er avhengig av den vertikale oppløsningen. Den seismiske pulsen er ofte lenger enn avstanden mellom reflektorene, dette kan føre til at reflektorene interfererer med hverandre. For at to separate grenseflater skal kunne identifiseres må avstanden mellom disse være minst halvparten av bølgelengden ($1/2 \lambda$) til kildepulsen. For at et lag i det hele tatt skal kunne identifiseres må lagtykkelsen være $1/30 \lambda$. Videre vil maksimal konstruktiv interferens inntreffe ved en lagtykkelse på $1/4 \lambda$. (Sundvor, 1989). I modelleringsforsøkene i denne oppgaven er kildepulsen et symmetrisk nullfasesignal (rickerwavelet) (Fig. 4.2 b)) med en senterfrekvens på 30 Hz. Vi vet at sammenhengen mellom frekvens (f), seismisk hastighet (V) og bølgelengde (λ) er:

$$\lambda = \frac{V}{f} . \quad (5.1)$$

Teoretisk vil dette si at kullagene på Gullfaksfeltet med en seismisk hastighet på mellom 1700 og 2000 m/s i de grunneste brønnene må være adskilt med 28-33 m for å skilles fra hverandre i seismikken og ha en tykkelse på omtrent 2 m for å kunne identifiseres.

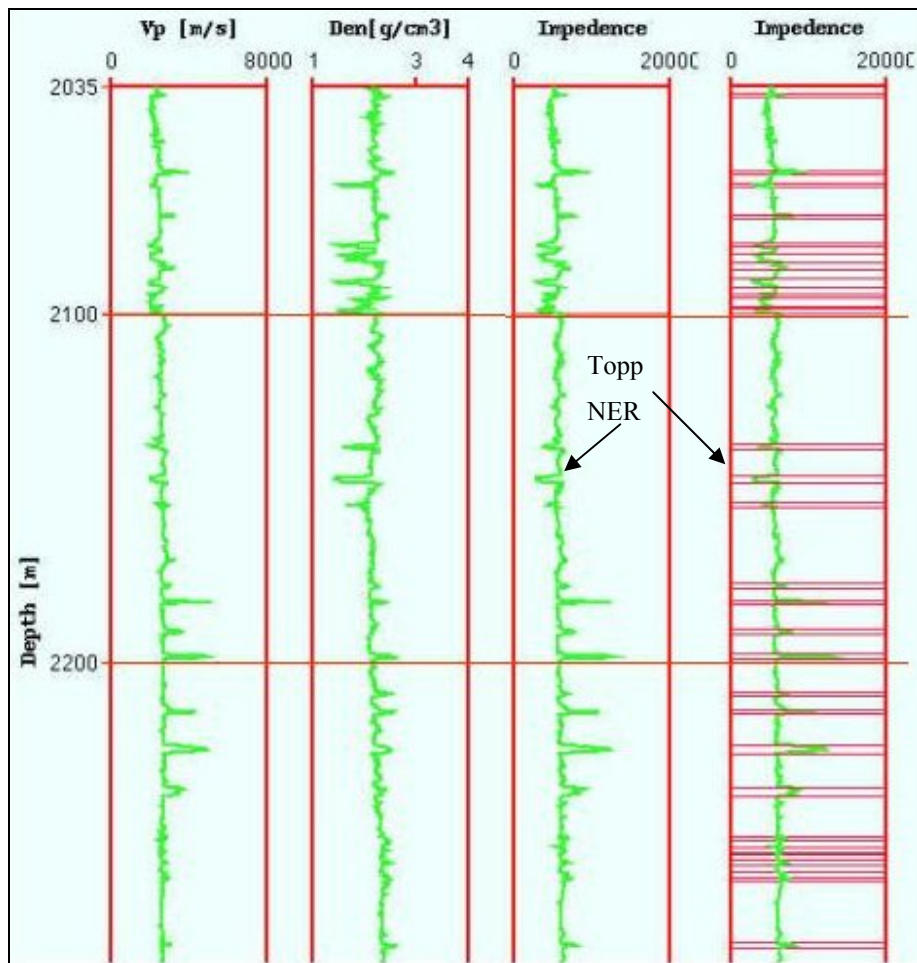
5.3 Modelleringsprosessen

Modelleringen er i likhet med tolkningen en trinnvis prosess. I dette avsnittet vil de forskjellige stegene bli gjennomgått og kommentert. Dataene som er brukt er hentet fra Statoils brønnlogger til hver enkelt brønn. Informasjonen som er brukt er tetthet (ρ) og seismisk hastighet (V) som til sammen utgjør akustisk impedans ($\rho \cdot V$) (Kap. 4.2.1).

5.3.1 Blokking av logger

Fra hastighets- og tetthetsloggene ble det generert en logg for akustisk impedans (AI). Denne loggen utgjør grunnlaget for laginndelingen i de forskjellige brønnene (Fig. 5.2). Inndelingen er gjort ved å legge inn en laggrense der det er en markert endring i akustisk impedans. En grovinndeling er foretatt i de overlagrende bergartene, mens det er foretatt en mer detaljert inndeling rundt topp NER-nivå. Overlagringen er delt inn i 38 lag og er kun gjort for brønn 34/10-12 da de fleste andre brønnene manglet data over reservoaret.

På topp NER-nivå er inndelingen gjort mer detaljert slik at hver brønn har sin egen laginndeling på reservoarnivå. Antall lag i modellene varierer fra 90 til 276 inkludert overlagringsmodellen (Appendiks B), dels på grunn av dypet til topp NER og dels på grunn av forskjellig litologiske forhold.



Figur 5.2. Logger fra brønn 34/10-6. "Impedance" er generert fra hastighets- (V_p) og tetthets- (Den) loggene. Til høyre vises laginndelingen rundt topp NER-nivå. Dypet til topp NER er her 2147 m, oppgitt i TVDSS.

5.3.2 Generering av lagdelt modell

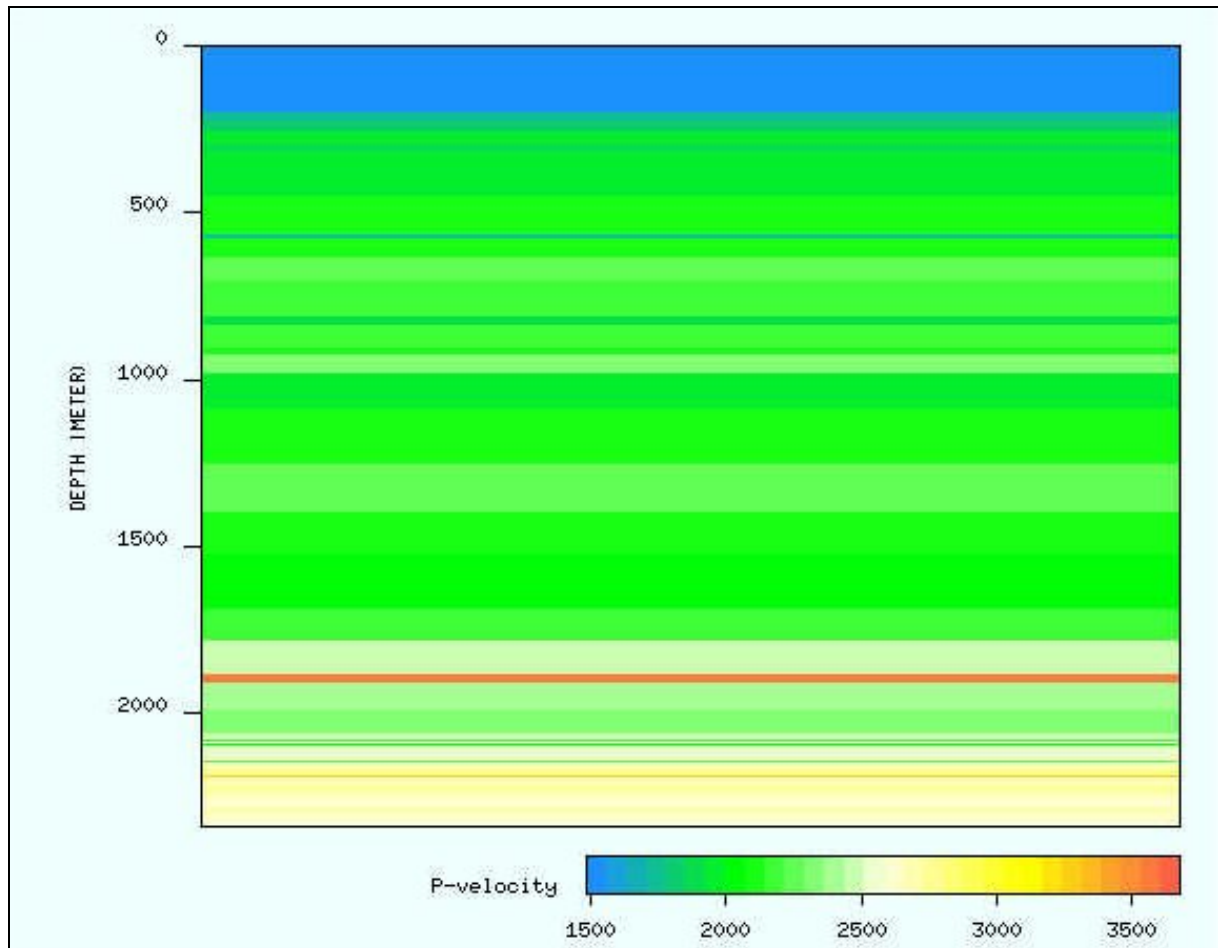
Hver av brønnene som er brukt i modelleringen har sin egen laginndeling. Disse lagdelte modellene er satt sammen av en spesiell laginndeling rundt topp NER-nivå og en generell laginndeling for de overlappende bergartene.

De fleste letebrønnene er logget langs store deler av brønnbanen, mens produksjonsbrønnene kun er logget i reservoaret. Dette er den viktigste sonen og det prioriteres derfor å samle inn data herfra. Av brønnene som er brukt i modelleringen ble den brønnen som hadde data lengst opp mot havbunnen brukt til laginndelingen for overlagingen. Det antas at litologien er noenlunde lik i undersøkelsesområdet, og at det derfor kan være rimelig å bruke samme overlagingmodell for alle brønnene. Overlagingmodellen er hentet fra letebrønn 34/10-12. Denne ble tilpasset i dybde og satt sammen med den spesifikke laginndelingsmodellen for

hver enkelt brønn. Dybden ble tilpasset ved å kutte overlageringsmodellen der den spesifikke laginndelingen for den enkelte brønn begynner.

Laginndelingen for 1D-modellene innebærer at de fysiske egenskapene innenfor øvre og nedre laggrense er de samme. Egenskapene er beregnet ut fra et vektet gjennomsnitt av loggverdiene slik at gangtiden er bevart fra hastighetsloggene og massen er bevart fra tetthetsloggene (Norsar, 2003).

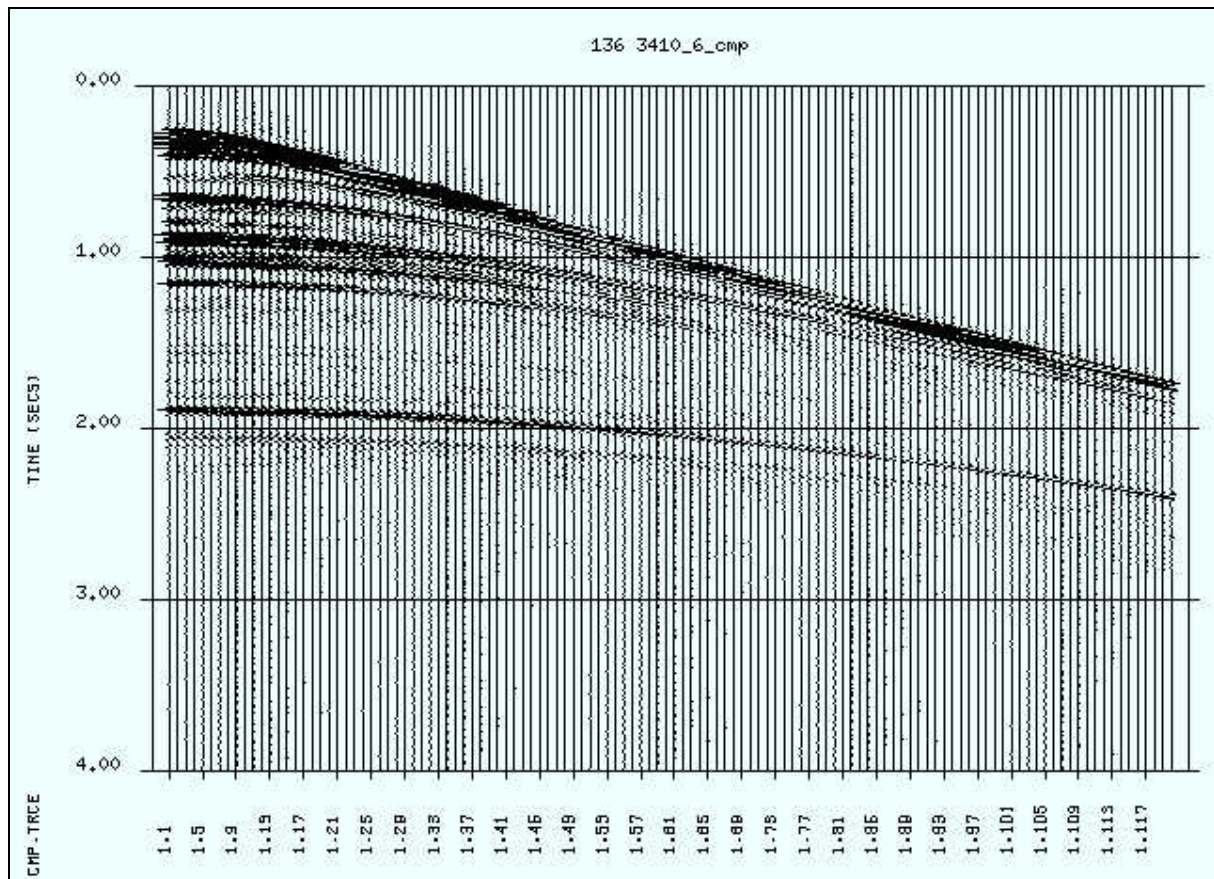
Figur 5.3 viser et eksempel på laginndeling fra brønn 34/10-6 fremstilt som p-bølgehastigheter.



Figur 5.3. Laginndeling i brønn 34/10-6 fremstilt i p-bølgehastigheter.

5.3.3 Generering av syntetiske seismogrammer

Modelleringsprogrammet genererer syntetiske Common Mid Point (CMP)-samlinger (Fig. 5.4). Appendix B inneholder en nærmere beskrivelse av innsamlingsdata. Gangtiden fra kilde til mottaker vil øke med økende offset (avstand kilde-mottaker). Dette fremkommer som refleksjonshyperbler på CMP-samlingen (Fig. 5.4).

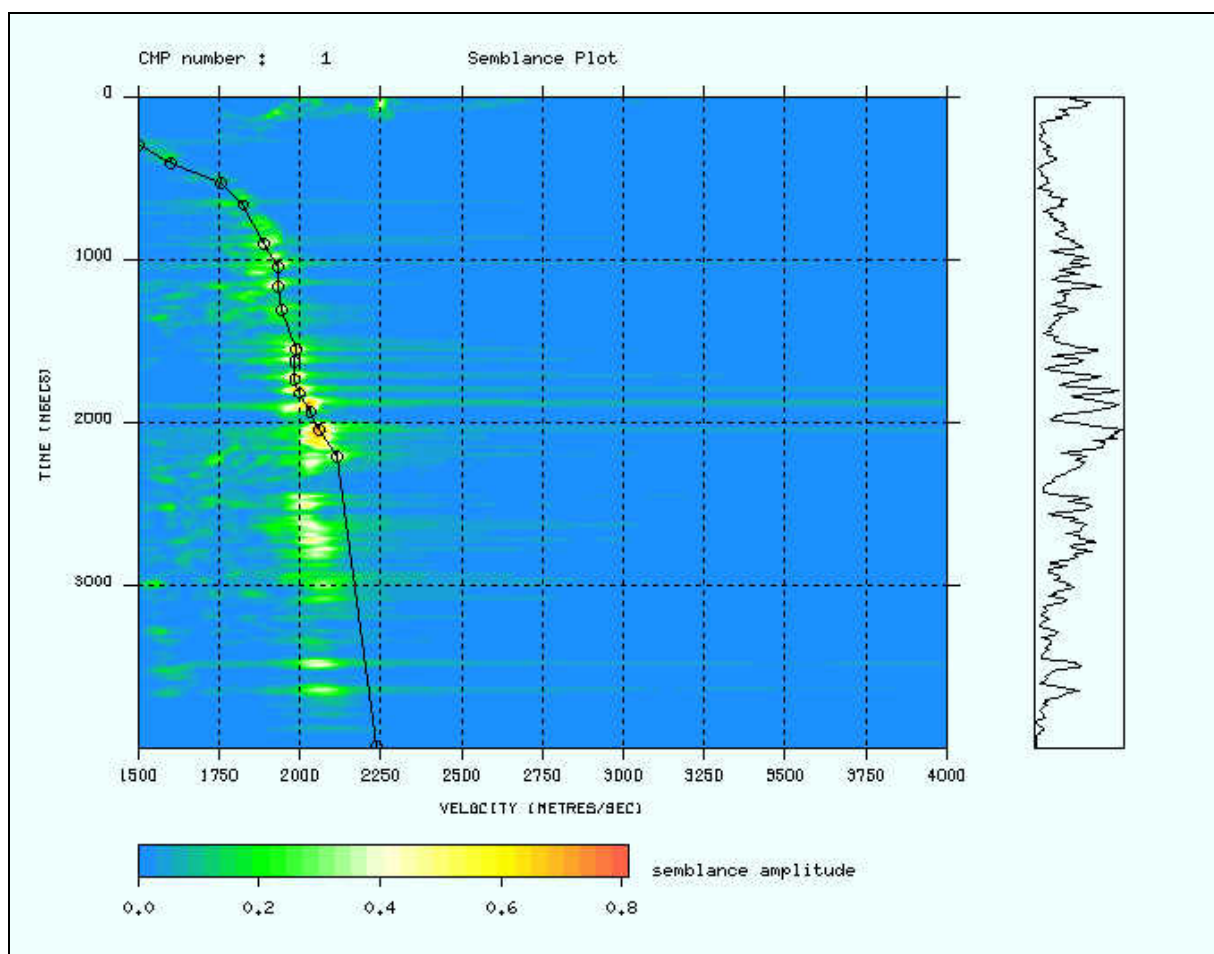


Figur 5.4. CMP-samling fra brønn 34/10-6. Et hyperbelformet mønster viser at gangtiden øker fra mottaker 1.1 til mottaker 1.120.

5.3.4 Hastighetspekter / analyse

For å kunne summere alle CMP-trasene og dermed produsere et signal fra CMP-samlingen, må hver trase korrigeres for gangtidsforskjeller som følge av ulik offset. Denne korreksjonen kalles Normal Move Out (NMO)-korreksjon og innebærer å finne en korreksjon for hver trase som justerer for forskjellen i gangtid. Hastigheten vi finner kalles stackinghastigheten og er en teoretisk hastighet som gir den beste NMO-korreksjonen.

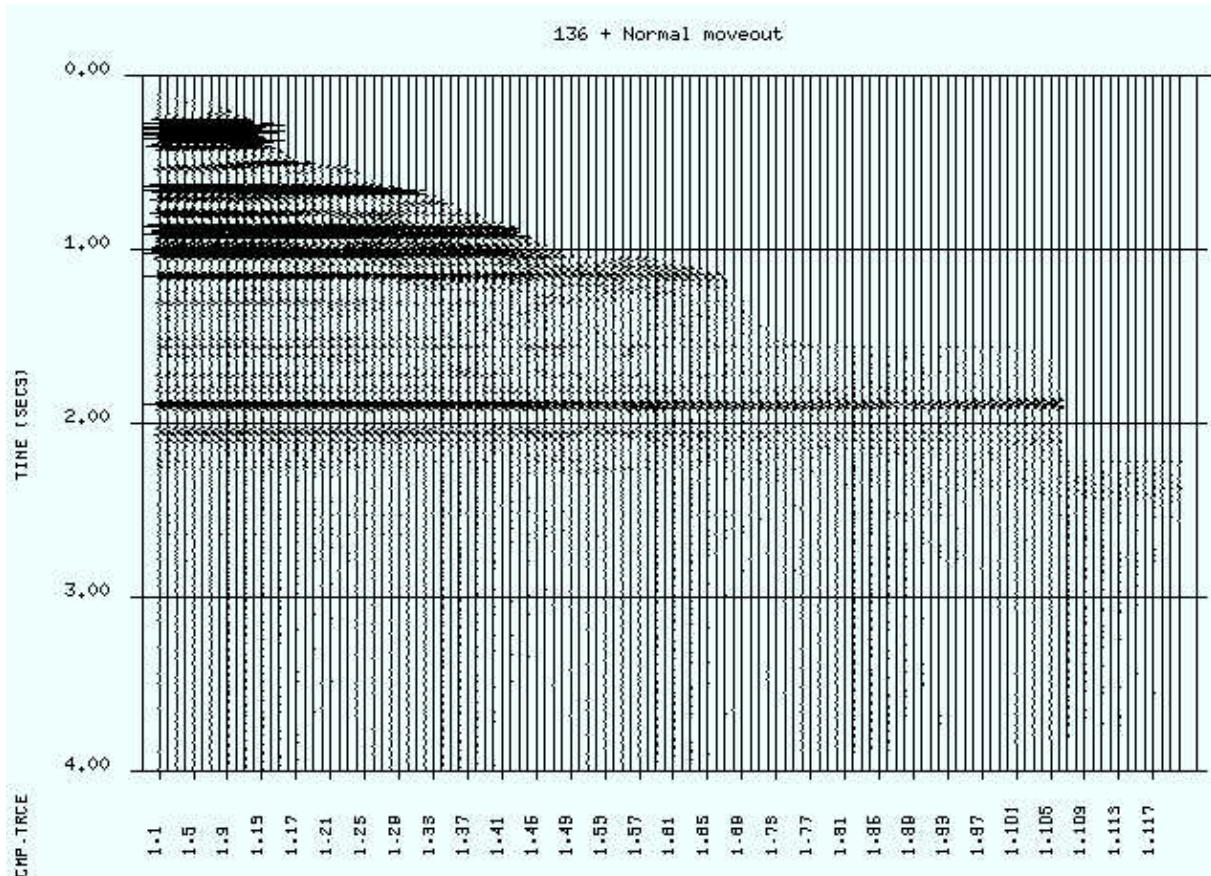
For å finne stackinghastighetene gjøres det en hastighetsanalyse. Det finnes flere måter å gjøre hastighetsanalyse på, de fleste antar en NMO, måler koherensen til den antatte NMO og varierer deretter NMOen for å maksimere koherensen (Sheriff, 1999). Verdien til koherensen (*semblance amplitude* i figur 5.5) danner et hastighetspekter. Ved hjelp av hastighetspekteret velger man ut punkter som har høy koherens og lager en tidsvarierende hastighetsfunksjon som gir stackinghastigheten til CMP-samlingen for den aktuelle brønnen (Fig 5.5).



Figur 5.5. Hastighetspekter for CMP-samlingen fra brønn 34/10-6. Den sorte linjen er den tolkede hastighetsfunksjonen til stackinghastigheten. 'Semblance amplitude' indikerer koherens mellom trasene.

5.3.5 NMO-korreksjon

Ved hjelp av hastighetsanalysen finnes stackinghastigheten, hver trase korrigeres, og refleksjonene blir liggende horisontalt (Fig 5.6). På grunn av NMO-strekk er trasene kuttet med økende offset og dyp.

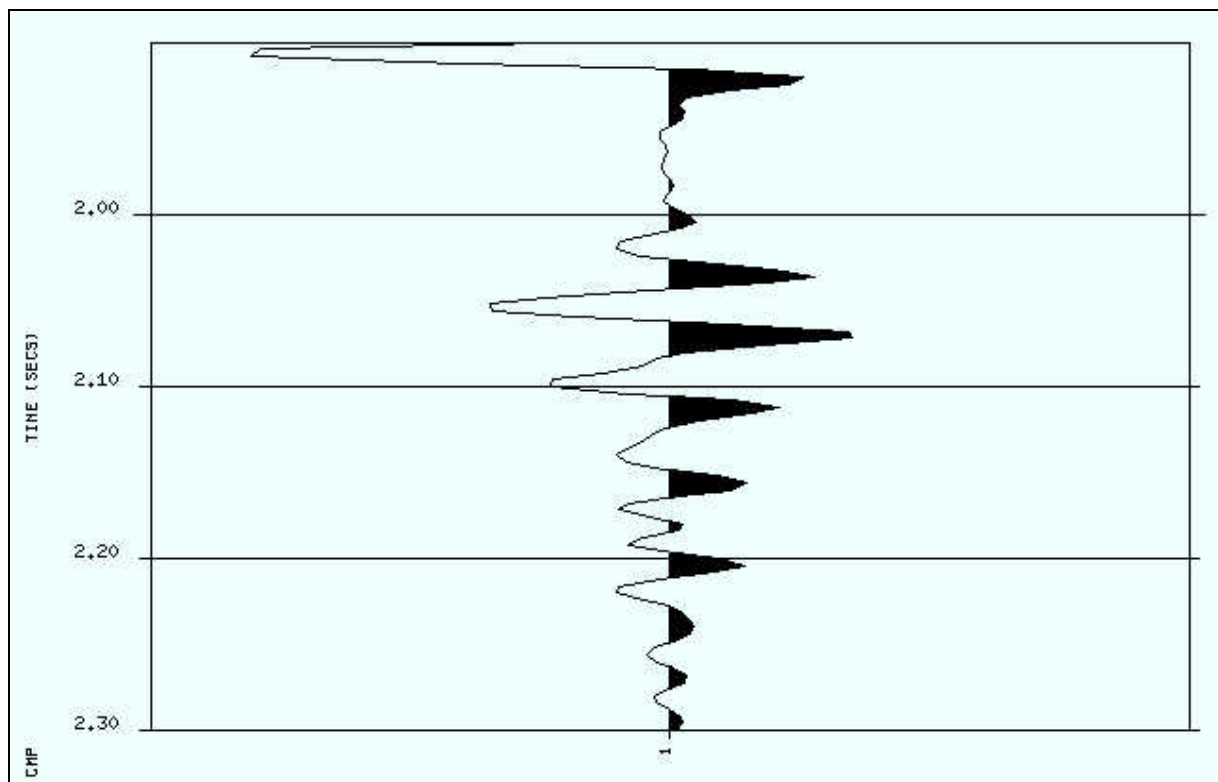


Figur 5.6. NMO-korrigert CMP-samling. Refleksjonene danner horisontale linjer fra mottaker 1.1 til mottaker 1.120. Trasene er kuttet øverst i høyre hjørne på grunn av NMO-strekk.

En oversikt over modeller, CMP-samlinger, hastighetsmodeller med analyse og NMO-korrigerte CMP-samlinger finnes i appendiks C.

5.3.6 Stacking

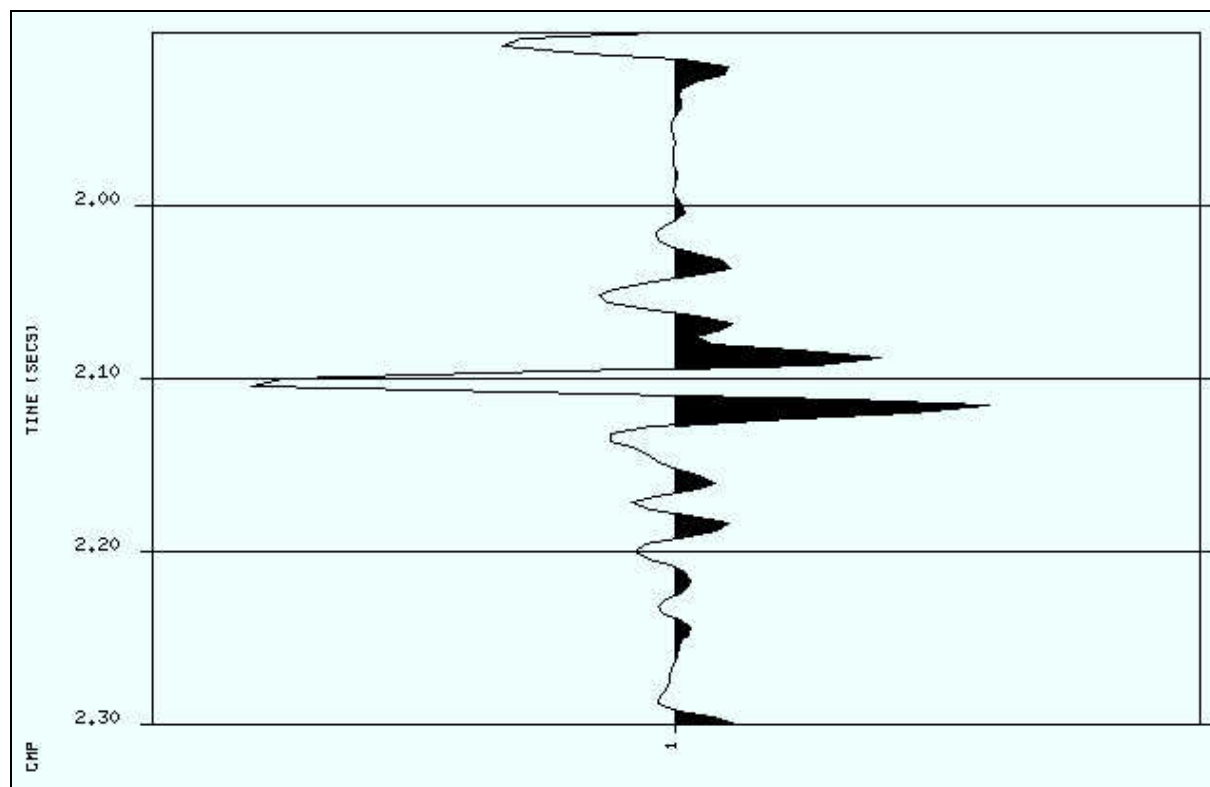
For å bedre signal/støyforholdet summeres (stackes) alle trasene i den NMO-korrigerte CMP-samlingen. Resultatet blir et forsterket signal for primærrefleksjonene i den modellerte brønnen. Figur 5.7 viser en modellert og stacket trase fra topp NER-nivå fra brønn 34/10-6. På grunn av forskjellen i innsamlingsmetode vil ikke nødvendigvis det modellerte topp NER-signalet ligge på samme nivå som i VSP-dataene eller i den innsamlede seismikken fra feltene (Kap. 4.4.1).



Figur 5.7. Stacket trase fra brønn 34/10-6. I følge VSP-data skal topp NER-signalet ligge på 2109 ms, mens den innsamlede seismikken fra Gullfaksfeltet viser 2127 ms.

5.3.7 Identifisering av topp NER

For å identifisere gangtiden til topp NER i modelleringsforsøkene ble det lagt inn en ”kunstig” reflektor med lave verdier for hastighet og tetthet i et intervall på omtrent 10 meter fra topp NER i brønnloggene for alle brønner som er brukt i modelleringen. P-bølgehastighet ble satt til 1500 m/s og tetthet ble satt til 1000 g/m³. Dette ga et tydelig utslag i de syntetiske trasene (Fig. 5.8) for samtlige brønner.



Figur 5.8. Syntetisk trase fra brønn 34/10-6. Det er lagt inn et lag på omtrent 10 m fra topp NER og ned med lav tetthet og hastighet. Utslaget kommer på 2105 ms. (Skaleringen er forskjellig fra figur 5.7.)

5.3.8 Fjerning av kull

Kullagene på NER-nivå ble fjernet fra hver brønn for å sammenligne signalet uten kullrespons med den opprinnelige lagdelte modellen. Dette ble gjort for å se hvilken effekt kullet i NER-intervallet har på den seismiske responsen. Tabell 5.1 viser antall kullag og total kullmektighet i hver enkelt brønn i tillegg til mektigheten til NER-intervallet.

Kullagene ble fjernet ved å editere den lagdelte modellen i intervaller der hastigheten og tettheten går ned som følge av tilstedeværelse av kull. Kullets verdier for V_p , V_s og ρ ble erstattet med verdier som representerte gjennomsnittet for det over- og underliggende laget. Seismikk ble generert over den nye lagdelte modellen uten kull og undersøkt på topp NER-nivået som ble funnet i 5.3.7.

5.4 Observasjoner

Denne delen av kapitlet beskriver de viktigste observasjonene som er gjort underveis i modelleringen. Disse vil bli kommentert i diskusjonskapitlet (Kap. 6).

5.4.1 Modellert topp NER

Brentdeltaets utbredelse fra sør mot nord (Kap. 2.3.3 *Brentgruppen*) har sannsynligvis hatt innvirkning på hvordan det litologiske NER-intervallet er distribuert. Dette vil påvirke den seismiske responsen som vises på seismikken fra Gullfaksområdet og som er modellert i denne oppgaven. Figur 5.9 viser det modellerte seismiske signalet fra den enkelte brønn i et 100 ms intervall med geografisk tilknytning brønnens beliggenhet.

Sammenligner en signalet fra brønn til brønn i figur 5.9 kan det observeres både fellestrekk og ulikheter innenfor samme geografiske område både innenfor signalform og signalstyrke. Topp NER-nivå er angitt med rød pil. Tabell 5.1 viser antall kullag i NER-intervallet, total mektighet på kullet og mektigheten på NER-intervallet i hver av brønnene.

Brønn	Antall kullag	Kullmektighet (m)	Mektighet NER (m)
34/10-6	2	3	65
34/10 B-12	3	3	39
34/10 A-9 H	2	4	45
34/10-12	9	9,5	27
34/10-21	7	15,7	43
34/10-16	13	16	47
33/12-8 S	10	13	41

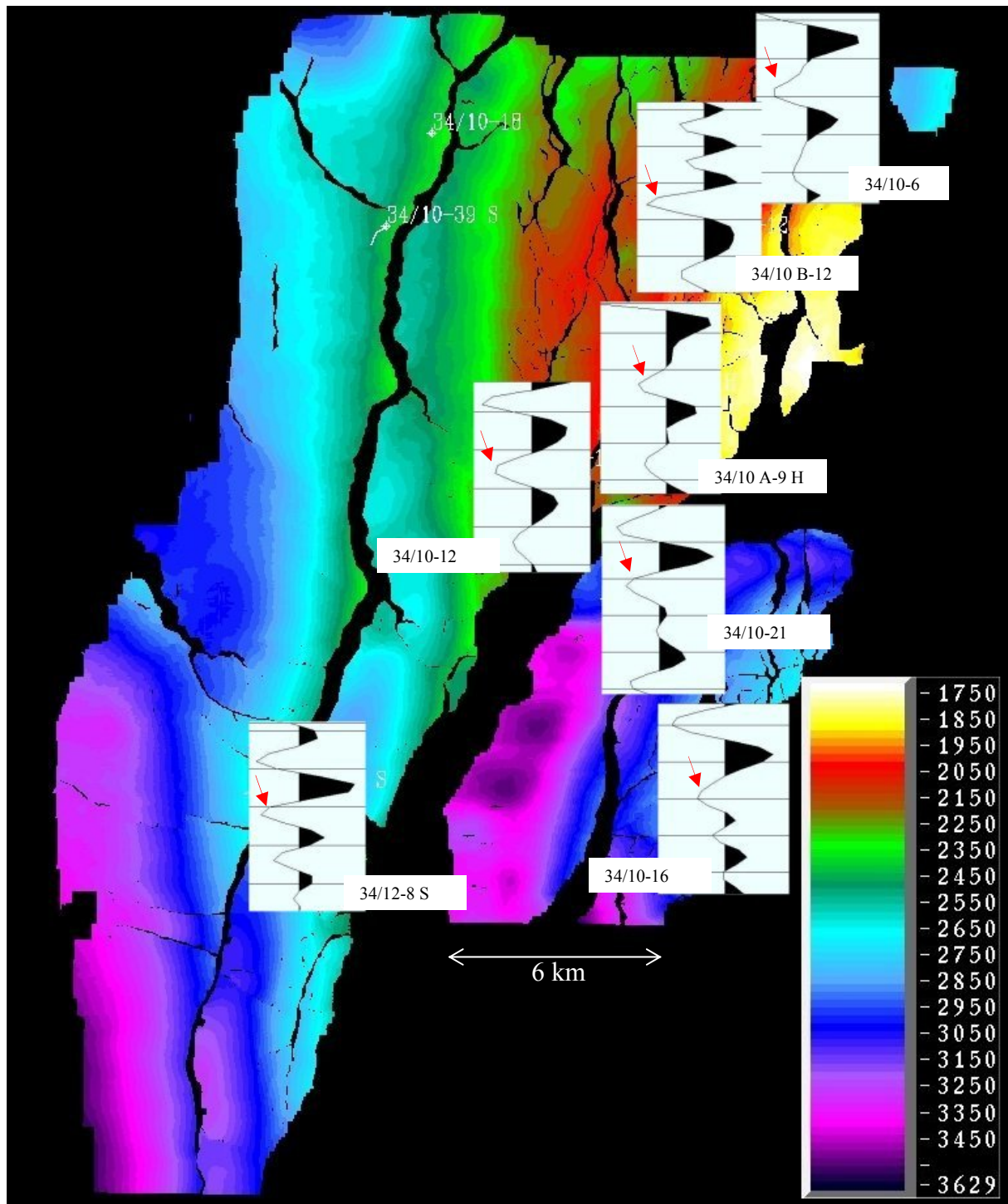
Tabell 5.1. Oversikt over antall kullag, total mektighet på disse og mektigheten på NER-intervallet i den enkelte brønn. Kullagene og intervallmektigheten er identifisert ved hjelp av brønnlogger.

De tre sørligste brønnene, 33/12-8 S, 34/10-16 og –21 inneholder alle forholdsvis mange kullag som til sammen har en mektighet på 13-16 m og hele NER-intervallet har en mektighet på mellom 41 og 47 m. Det modellerte signalet for disse brønnene er også forholdsvis likt både når det gjelder signalform og –styrke, 33/12-8 S har et noe kraftigere utslag på topp NER enn de to andre.

Signalet i brønnene 34/10-6, -12 og A-9 H har like egenskaper både for periode og styrke, mens formen på signalet i 34/10-12 avviker noe fra de to andre. Både 34/10-6 og A-9 H har få kullag (2) med liten total kullmektighet (3 og 4 m), mens mektigheten på NER-intervallet (65 og 45 m) avviker en del fra hverandre. 34/10-12 skiller seg ut både med flere kullag (9) og større total kullmektighet (9,5 m) i tillegg til at NER-signalet spenner over et mye mindre intervall (27 m) enn de andre brønnene. Amplituden som markerer topp NER er noe svakere i 34/10 A-9 H enn de to andre brønnene.

34/10 B-12 avviker fra samtlige av de modellerte brønnene med en spesielt stor amplitude som markerer topp NER. Signalet har også en kortere periode (høyere frekvens) som sammen med styrken gjør at signalet fra denne brønnen skiller seg ut fra de andre i modelleringen. Både antall kullag (3) og total kullmektighet (3 m) er likt som i 34/10-6 og A-9 H i tillegg til at mektigheten på NER-intervallet (39 m) er representativt for brønnene som er med i modelleringen.

Det kan se ut til at signalet i de sørligste brønnene (34/10-16, -21 og 33/12-8 S) har en høyere frekvens enn de i nord med unntak av 34/10 B-12. Det kan ikke observeres noen systematikk i endring av signalstyrke for topp NER langs Brentdeltaets utbredelsesakse fra sør mot nord.



Figur 5.9. Det seismiske signalet som er modellert i den enkelte brønn er plassert over brønnens geografiske beliggenhet på kartet. Tidsintervallet er 100 ms og rød pil markerer topp NER-nivå. Kartet viser toveis gangtid til topp NER i Gullfaksområdet.

5.4.2 Sammenligning med reell seismikk

De syntetiske trasene blir sammenlignet med reell seismikk for å kontrollere påliteligheten til modellene. Dette blir gjort ved å fjerne trasene som går gjennom brønnen fra den reelle seismikken og erstatte disse med syntetiske traser. De syntetiske trasene stemmer i utgangspunktet ikke overens med den reelle seismikken på grunn av tidsskift. Dette ble korrigert før seismikken ble sammenlignet. De syntetiske trasene er skalert med sfærisk divergens for å korrigere for den geometriske spredningen som medfører tap av energi. Tabell 5.2 er en oversikt over dyp til topp NER i meter og millisekund for de forskjellige innsamlingsmetodene som angir det aktuelle tidsskiftet både for VSP-data og modellert seismikk.

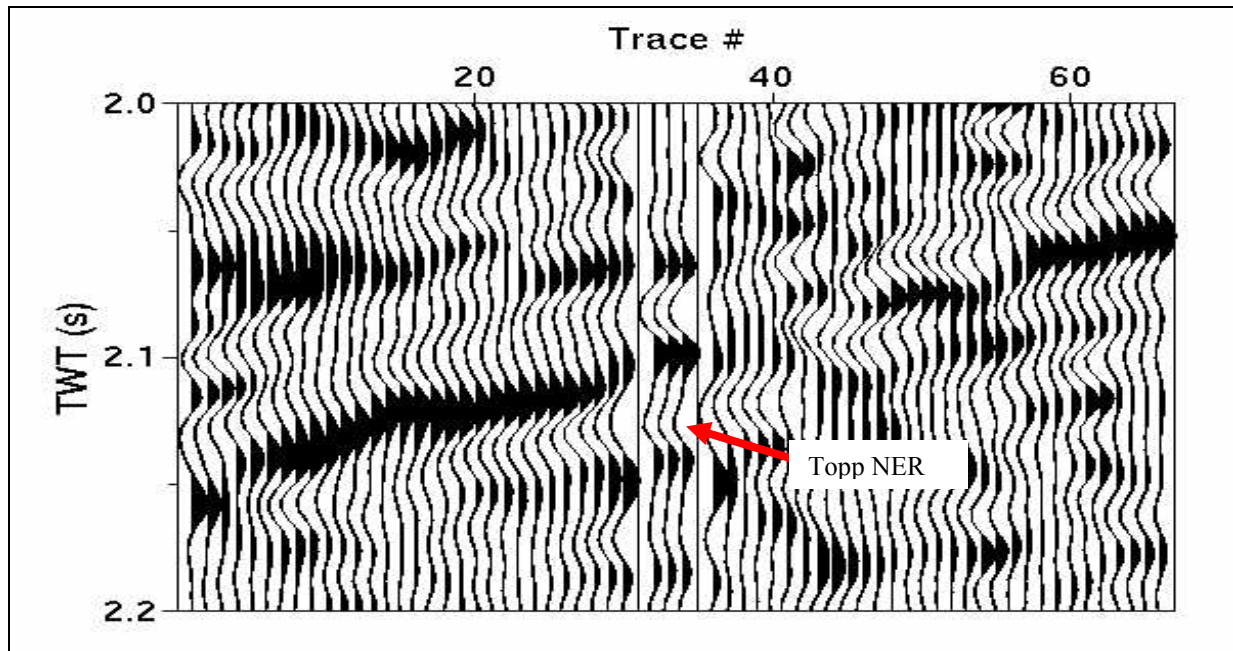
Appendiks A inneholder en oversikt over fluidsoner i NER-intervallet og boringsvinkel i nedre Brent for den enkelte brønn.

Brønn	Dyp TVDSS	TWT seismikk	TWT VSP (tidsskift fra seismikk)	TWT modellert signal (tidsskift fra seismikk)
34/10-6	2147 m	2127 ms	2109 (-18) ms	2100 (-27) ms
34/10 B-12	2130 m	2111 ms	2096 (-15) ms	2076 (-35) ms
34/10 A-9 H	1955 m	1955 ms	1954 (-1) ms	1953 (-2) ms
34/10-12	2130 m	2075 ms	2079 (4) ms	2068 (-7) ms
34/10-21	3425 m	2992 ms	2954 (-38) ms	2917 (-75) ms
34/10-16	3324 m	2924 ms	2900 (-24) ms	2880 (-74) ms
33/12-8 S	2816 m	2550 ms	2535 (-15) ms	2545 (-5) ms

Tabell 5.2. Oversikt over dyp til topp NER for de anvendte innsamlingsmetodene. Tallene i parentes angir tidsskift i forhold til reelle data. Brønnene er nevnt fra nord mot sør, hvor 34/10-6 er nordligst.

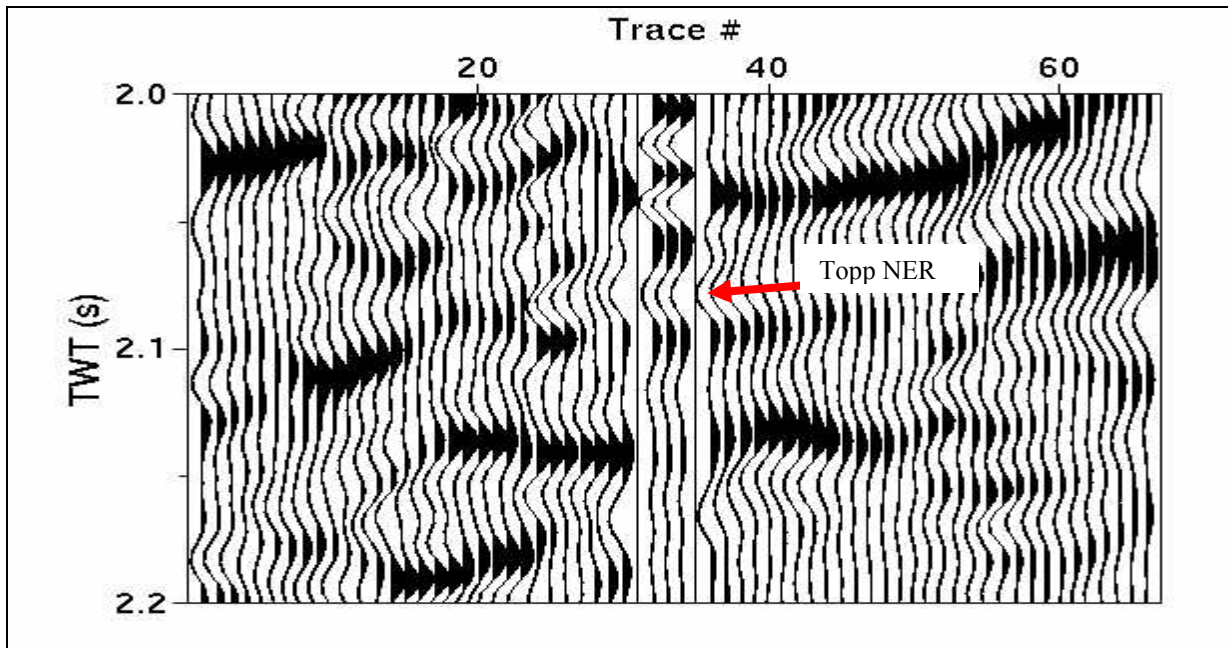
I de aller fleste tilfellene er toveis gangtid for reell seismikk størst, VSP-data har en lavere verdi mens de modellerte trasene har en enda kortere toveis gangtid.

Figur 5.10 viser tre identiske syntetiske traser midt i bildet som erstatter de reelle trasene i brønnbanen til 34/10-6. Topp NER ligger her på 2127 ms og den syntetiske seismikken er tilpasset dette. Formen på trasen avviker noe ned til 2,25 ms, men dypere ser det ut til at utslagene har beholdt pulsformen. Imidlertid er amplitudestyrken noe endret, spesielt fra topp NER og videre ned.



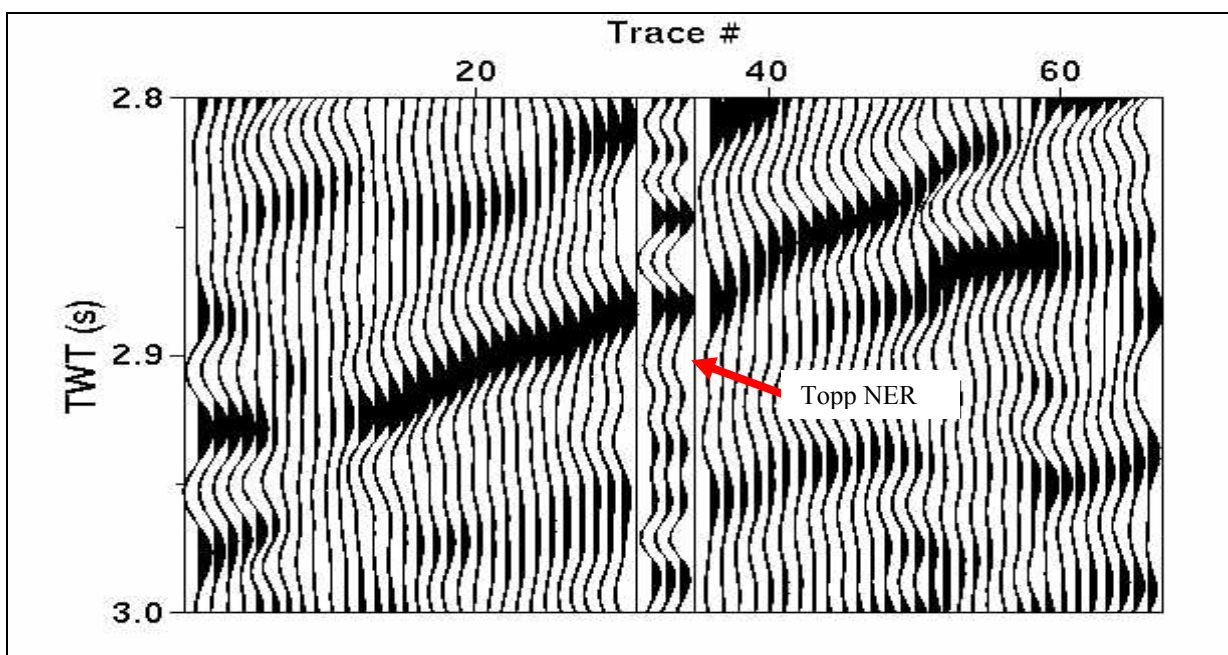
Figur 5.10. Syntetisk og reell seismikk fra brønn 34/10-6. De tre trasene i midten er syntetiske og erstatter de reelle som går langs brønnen.

Figur 5.11 viser en kombinasjon av reell og syntetisk seismikk for brønn 34/10-12. I den reelle seismikken ligger topp NER på 2075 ms og tidsskiftet til de modellerte trasene er korrigert. Det negative utslaget på topp NER-nivå viser store likheter både for reell og syntetisk seismikk, mens pulsformen over topp NER avviker sterkt mellom disse. Dersom en sammenligner med reelle traser lenger til venstre for brønnbanen har den øvre delen av de modellerte trasene større likhetstrekk. Under topp NER har det syntetiske signalet beholdt formen til den reelle seismikken, selv om styrken avtar forholdsvis mye med dypet i tillegg til at perioden endres noe.



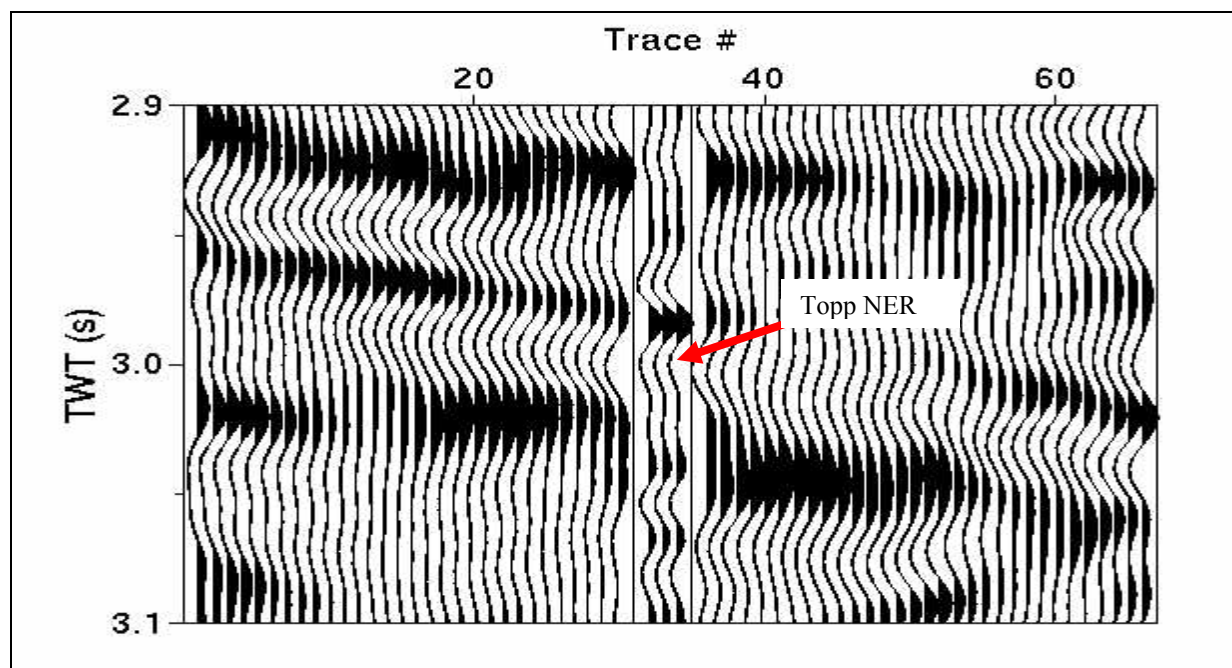
Figur 5.11. Syntetisk seismikk sammenlignet med reell i brønn 34/10-12. De tre midterste trasene er syntetiske.

Reell og syntetisk seismikk fra brønn 34/10-16 er sammenlignet i figur 5.12. Topp NER ligger i denne brønnen på 2924 ms i den reelle seismikken. Også her er pulsformen til de syntetiske trasene avvikende over topp NER mens den er bedre bevart under. Perioden er betraktelig mindre fra 2925 ms slik at samsvar mellom reell og syntetisk seismikk blir dårlig i tillegg til at styrken avtar med økende gangtid.



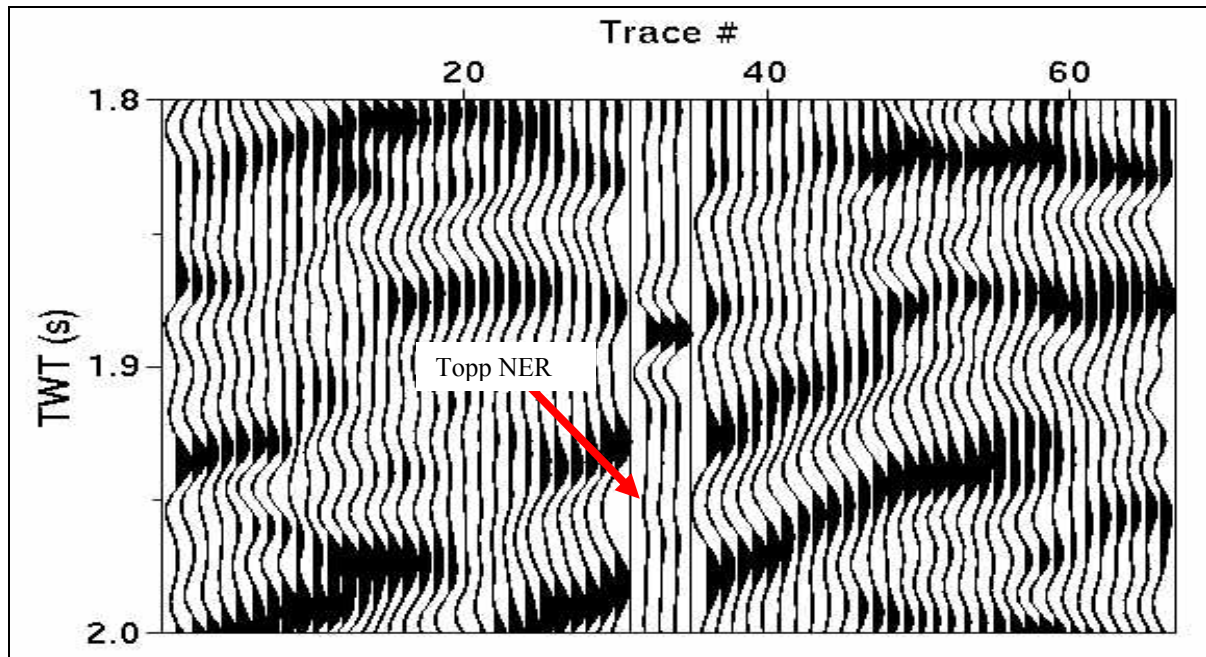
Figur 5.12. Syntetisk og reell seismikk fra brønn 34/10-16. Tre reelle traser i midten er erstattet med tre syntetiske.

Seismikk fra brønn 34/10-21 er fremstilt i figur 5.13. Også her er reell seismikk erstattet med syntetisk langs brønnbanen. Utslaget fra topp NER kommer på 2992 ms. De syntetiske trasene viser enkelte likhetstrekk ved topp NER-nivå, mens det ser ut til at signalet er strukket over og komprimert under. Sammenlignes de modellerte trasene med reell seismikk lenger til høyre for brønnbanen kan en observere flere likhetstrekk over topp NER enn det som fremkommer med deres posisjon i midten. I denne brønnen ser det ikke ut til at signalstyrken svekkes med dyp i samme grad som i de andre.



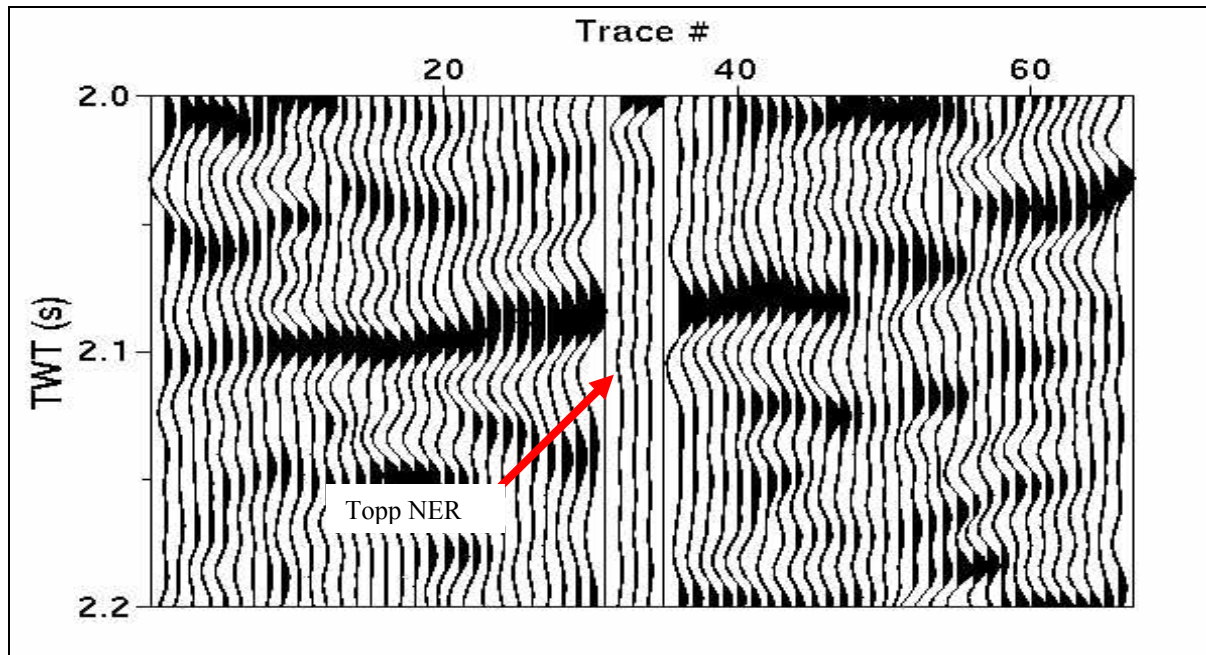
Figur 5.13. Reell og syntetisk seismikk fra brønn 34/10-21. Syntetiske traser kan sees i midten av figuren.

Brønn 34/10 A-9 H er fremstilt i figur 5.14 med reelle og syntetiske traser. Topp NER ligger på 1955 ms. Signalet har en høyere frekvens i området rundt det kraftige utslaget over topp NER ved ca 1880 ms. Programmet som plotter den reelle og syntetiske seismikken skalerer i tilfeller med én kraftig amplitude alle amplituder ned slik at de blir svakere enn normalt. Det kan likevel observeres at pulsformen er bevart både over og under topp NER, og at perioden er noe kortere for de syntetiske trasene. Amplitudene under er betydelig svakere enn i den reelle seismikken.

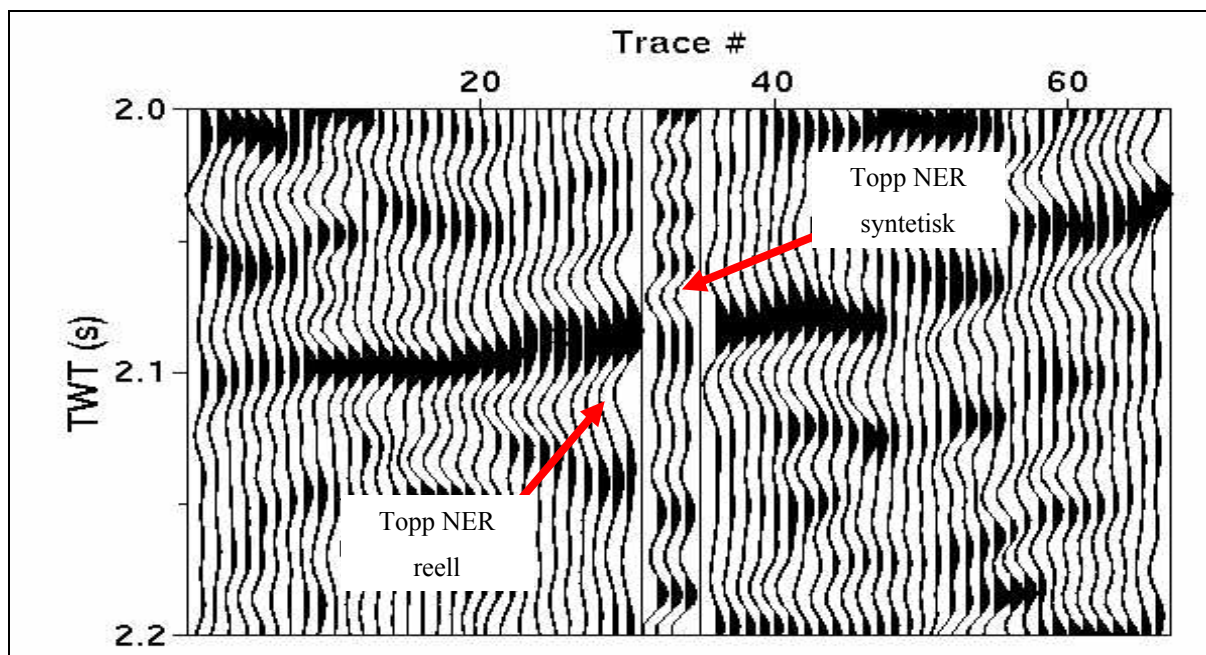


Figur 5.14. Brønn 34/10 A-9 H fremstilt med syntetiske traser langs brønnbanen i midten omgitt av reelle traser.

Den syntetiske seismikken som er generert i brønn 34/10 B-12 er avbildet i figur 5.15. Det negative utslaget fra topp NER ligger på 2111 ms. Brønnen er boret med en avviksvinkel på 28° fra vertikalen og NER-intervallet ligger i oljesonen. På grunn av skaleringen fra plottprogrammet er det vanskelig å se pulsformen på noen av trasene da det er en kraftig peak på 2000 ms. Figur 5.16 viser den samme brønnen plottet uten å korrigere for tidsforskyvningen mellom syntetisk og reell seismikk for å unngå peaken som ligger ca 100 ms over topp NER. Her kan det observeres at pulsformen fra den syntetiske topp NER og nedover i tidsvinduet har likhetstrekk med trasene fra topp NER og nedover i den reelle seismikken, men at signalet er noe komprimert. Fra topp NER og opp ser det ikke ut til at den modellerte pulsformen har nevneverdige likhetstrekk med den reelle seismikken.



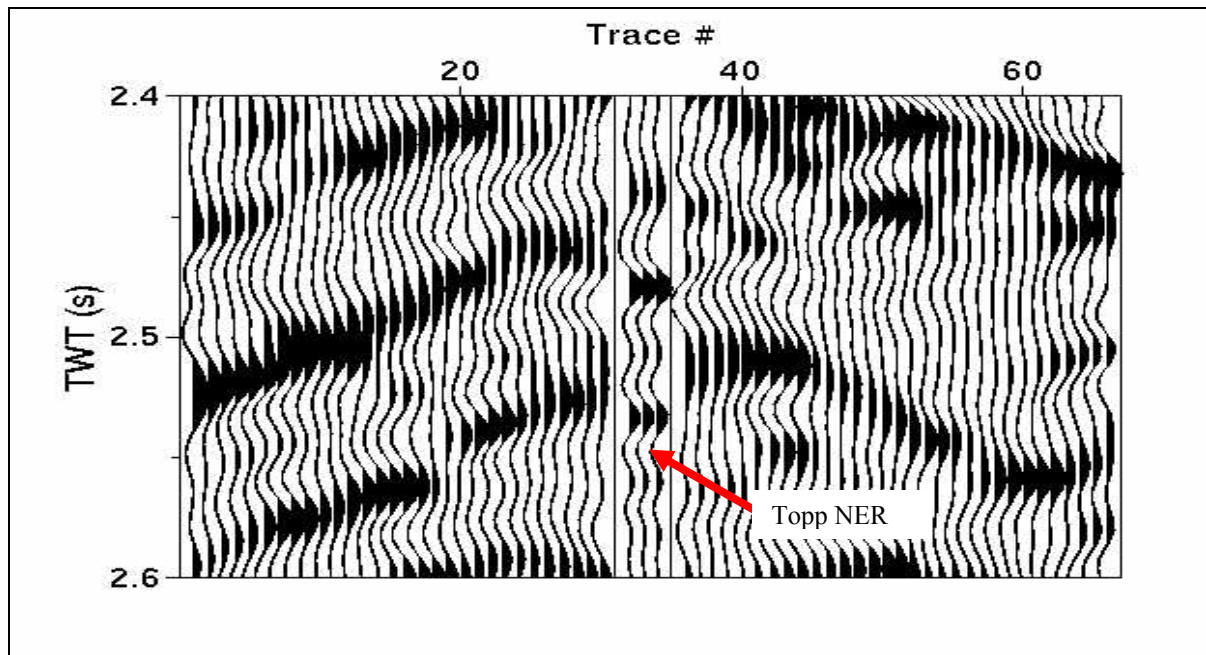
Figur 5.15. Syntetisk og reell seismikk fra brønn 34/10 B-12. Syntetisk seismikk er plassert midt i figuren.



Figur 5.16. De syntetiske trasene fra 34/10 B-12 er plottet sammen reell seismikk uten korrigerings for tidsforskjellen mellom de to innsamlingsmetodene.

Figur 5.17 viser syntetiske traser generert fra brønndata i 33/12 8-S satt sammen med reell seismikk fra området. Toveis gangtid til topp NER er 2550 ms. Når de syntetiske trasene blir justert med 5 ms for å passe med den reelle seismikken på topp NER-nivå er det forholdsvis problematisk å kjenne igjen trekk fra den reelle seismikken i den syntetiske. 33/12-8 S er boret med en avviksvinkel på 44° fra vertikalen. Det modellerte signalet er klart mer

høyfrekvent enn seismikken. Det ser også ut til at signalstyrken minker fra topp NER og nedover.



Figur 5.17. Syntetisk og reell seismikk satt sammen i området rundt brønn 33/12-8 S. De syntetiske trasene i midten erstatter de reelle.

Den syntetiske seismikken som er generert på grunnlag av brønndata fra den enkelte brønn passer stort sett med den reelle seismikken på topp NER-nivå. Modellert seismikk fra brønnene som er boret med en avviksvinkel (34/10 B-12 og 33/12-8 S) svarer dårligst til den reelle seismikken. Noen brønner viser større tendens til minkende energi med økende gangtid enn andre til tross for skalering, men signalet er likevel (34/10-12 og A-9 H) sammenlignbart med reell seismikk. Videre viser de fleste modelleringene tendens til mer høyfrekvent signal enten over eller under topp NER, i noen tilfeller på begge sider. Unntaket fra dette kan være trasene fra brønn 34/10-6 som stort sett ser ut til å ha bevart både periode og styrke i de syntetiske trasene.

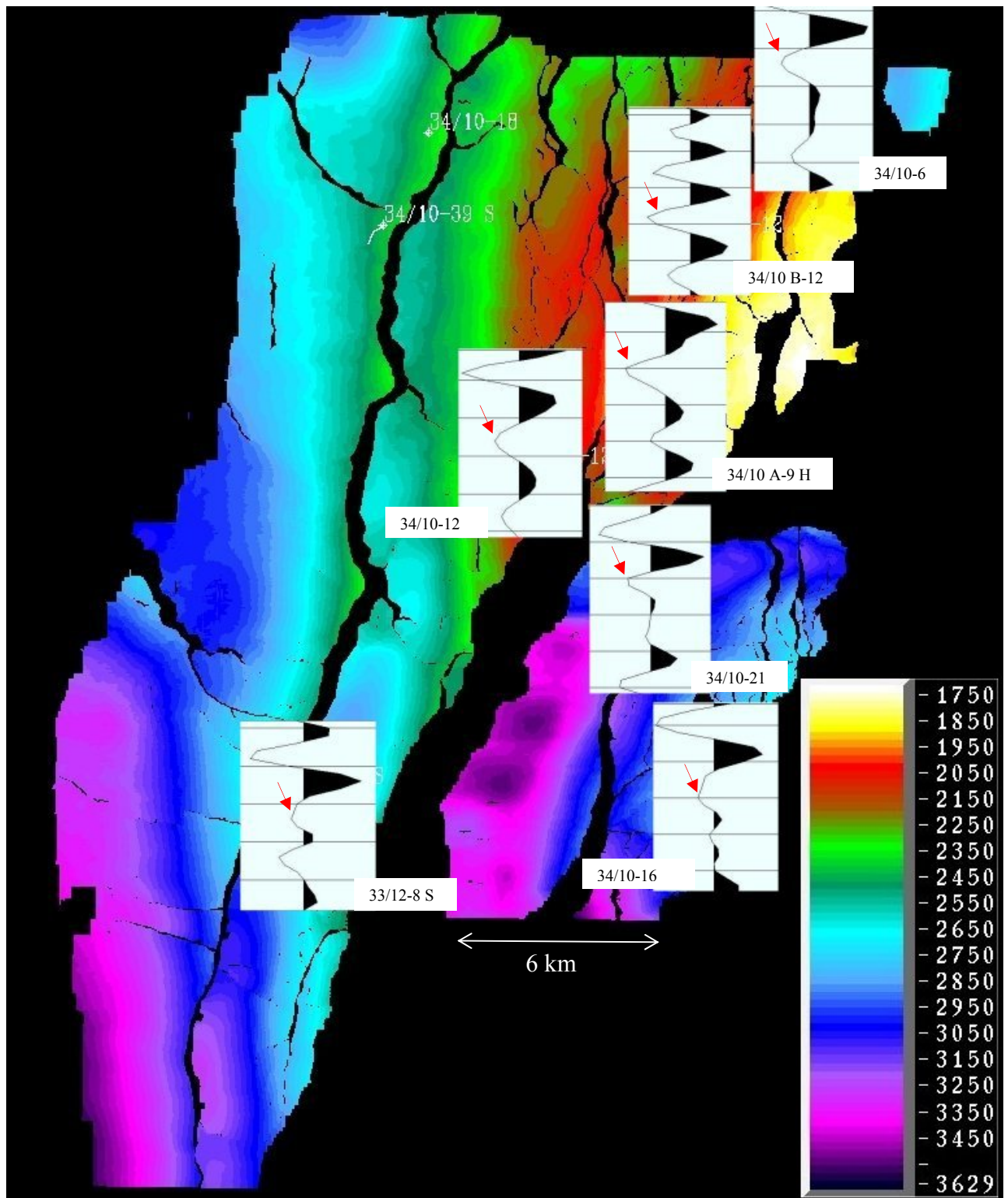
5.4.3 Modellerte signal uten kull

Seismikk generert fra de editerte brønnloggene uten kull er framstilt i figur 5.18 og knytter den seismiske responsen til brønnens geografiske beliggenhet. Det kan ikke observeres fellestrekk innenfor samme geografiske område i samme grad som på de modellerte signalene

fra originale brønnlogger i figur 5.9. En oversikt over endring i tetthet og p-bølgehastighet mellom de originale loggene og de editerte finnes i appendiks C.

Det kan imidlertid sies at signalet ser ut til å være svakere i de tre sørligste brønnene (34/10-16, -21 og 33/12-8 S) i forhold til de fire lenger nord. Sammenligner en denne observasjonen med tallene i tabell 5.1 kommer det frem at det er de samme tre sørligste brønnene som har fått fjernet mest kull både i antall kullag og total kullmektighet, henholdsvis 16, 15,7 og 13 m.

34/10-6 og 12 ser ut til å ha omtrent lik amplitudeverdi på topp NER, til tross for forskjellig kullmengde (henholdsvis 2 lag, 3 m og 9 lag, 9,5 m). 34/10 A-9 H har en kraftigere respons på den aktuelle refleksjonen, mens B-12 har det største amplitudeutslaget.

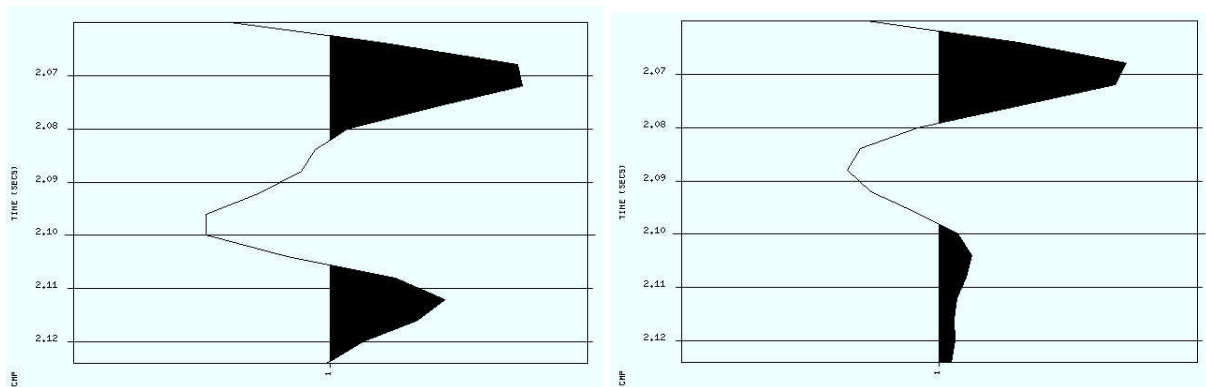


Figur 5.18. Den seismiske responsen som er modellert uten kull i hver enkelt brønn er plassert over brønnens geografiske beliggenhet. Tidsintervallet er på 100 ms og rød pil markerer topp NER-nivå. Kartet viser toveis gangtid til topp NER i Gullfaksområdet.

5.4.4 Sammenligning av signal med og uten kull

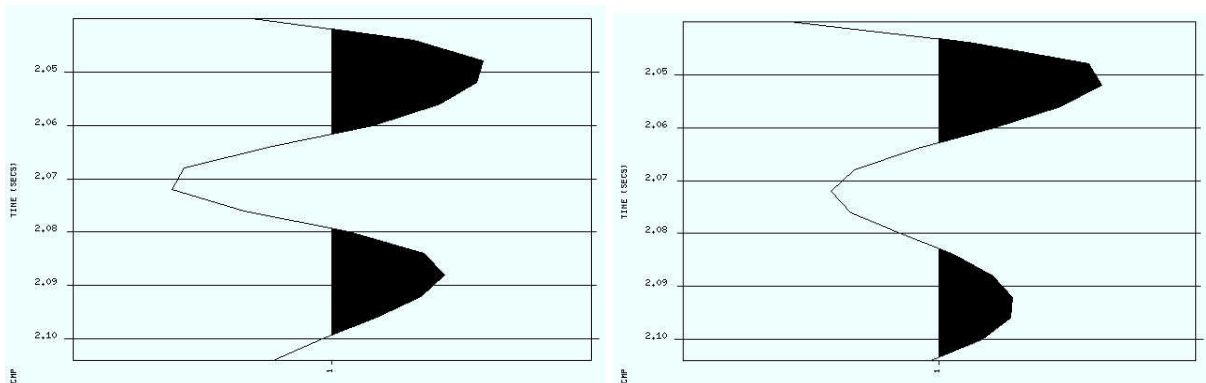
Den spesifikke endringen for modellerte traser med og uten kull sammenlignes over et kort tidsintervall med fokus på topp NER-nivå. Figur 5.19-5.25 viser de modellerte signalene fra de anvendte brønnene med og uten kull i NER-intervallet. Samtlige tidsvindu er på 65 ms.

34/10-6 (Fig. 5.19) viser en nedgang i amplitude på 27 % på modellen uten kull. Trauet som markerer topp NER kommer omtrent 10 ms tidligere på trasen uten kull. Peaken over topp NER ser ut til å ha bevart pulsform og signalstyrke på modellen uten kull, mens peaken under er betydelig svakere og går over en lengre periode.



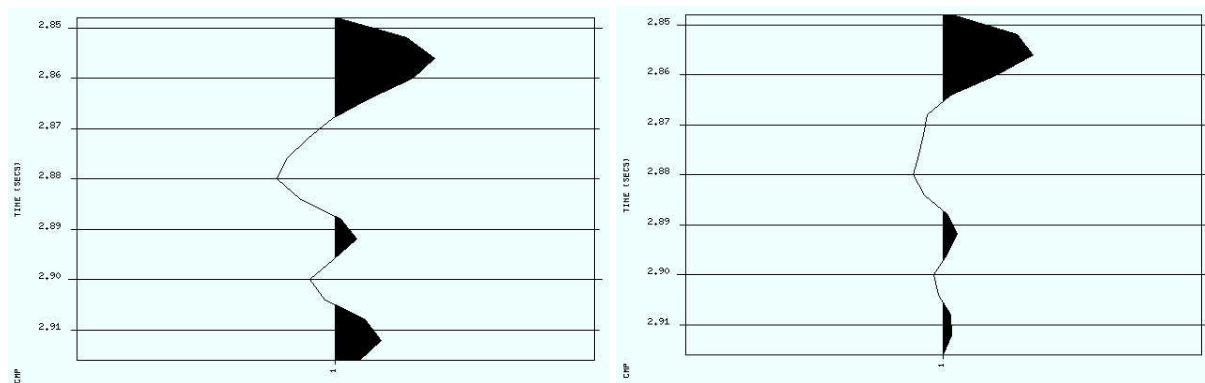
Figur 5.19. Signal fra 34/10-6 henholdsvis med og uten kull.

Amplituden til trauset på topp NER i 34/10-12 (Fig. 5.20) har en nedgang på 32 % uten kull i forhold til den originale laginndelte modellen. Refleksjonen blir registrert noe tidligere (1 ms) på seismikken uten kull. Signalene har lik pulsform i begge tilfellene, og i likhet med 34/10-6 er peaken over topp NER litt kraftigere mens den under er noe svakere.



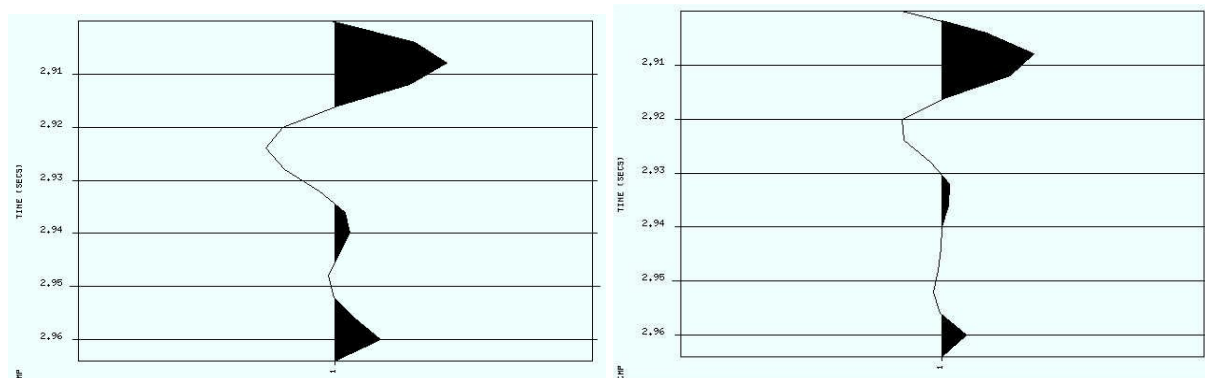
Figur 5.20. Signal fra 34/10-12 henholdsvis med og uten kull.

For brønn 34/10-16 (Fig. 5.21) er topp NER-amplituden redusert med 48 % i forsøket uten kull. Topp NER-trauet ligger i begge tilfellene på 2880 ms. Signalet har bevart sin periodiske form, mens styrken har gått ned på alle nivå i modellen uten kull.



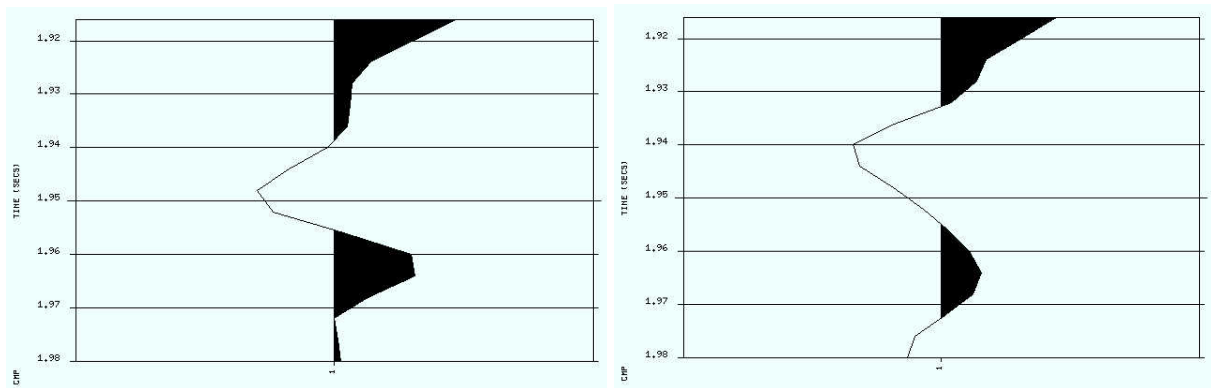
Figur 5.21. Signal fra 34/10-16 henholdsvis med og uten kull.

Brønn 34/10-21 (Fig. 5.22) viser de samme tendensene som 34/10-16 med en nedgang i amplitude på topp NER-nivå på 43 %. Også i denne brønnen er signalets form bevart, mens samtlige amplituder er svakere i modellen uten kull. Innslaget fra topp NER kommer inn 4 ms tidligere i modellen uten kull.



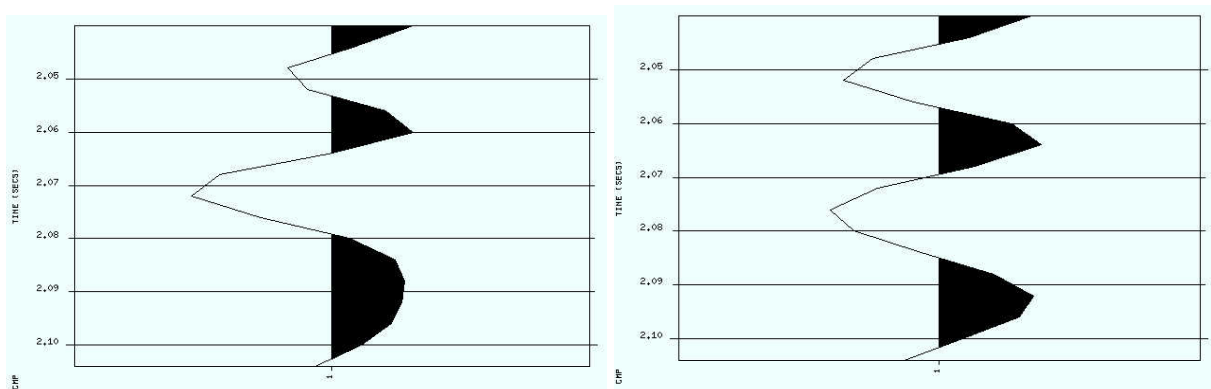
Figur 5.22. Signal fra 34/10-21 henholdsvis med og uten kull.

34/10 A-9 H (Fig. 5.23) viser en oppgang i amplitude i den editerte modellen der kullet er fjernet. Denne økningen er på 15 %, og topp NER-utslaget blir registrert på 1940 ms i forhold til originalens utslag på 1948 ms. Signalets form over topp NER ser ut til å ha forholdsvis like egenskaper i begge tilfellene, mens det under topp NER blir vanskeligere å kjenne igjen pulsformen. Peaken under topp NER blir svakere og det dannes et nytt trau der originalsignalet går direkte over i en ny peak.



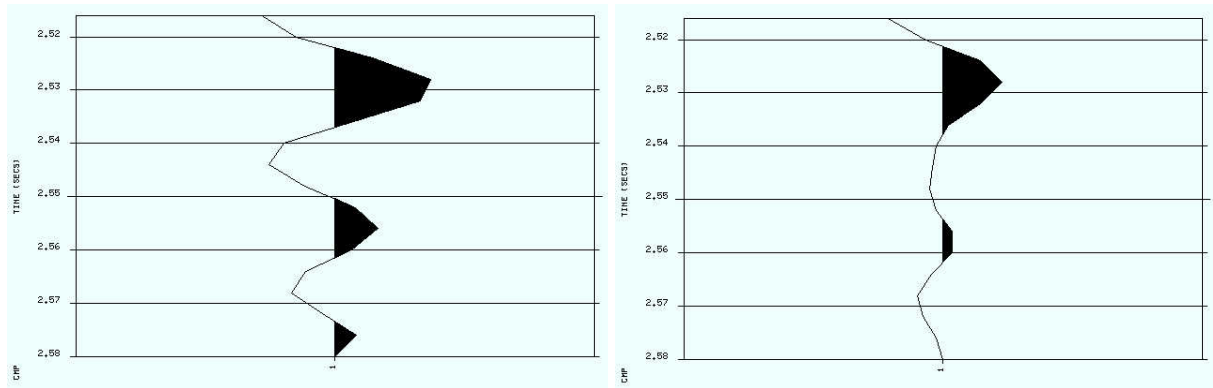
Figur 5.23. Signal fra 34/10 A-9 H henholdsvis med og uten kull.

Amplituden som representerer topp NER i brønn 34/10 B-12 (Fig. 5.24) viser en nedgang på 23 %. I dette tilfellet kommet trauret fra topp NER inn senere på modellen uten kull med en endring fra 2072 ms i originalmodellen til 2077 på modellen uten kull. Det kan sees to peaker over topp NER og en under som alle øker i styrke i modellen uten kull. Det samme gjelder trauret over topp NER. Det ser ut til at signalets form er bevart i den editerte modellen.



Figur 5.24. Signal fra 34/10 B-12 henholdsvis med og uten kull.

Når det gjelder 33/12-8 S (Fig. 5.25) viser denne brønnen den største nedgangen i amplitude på topp NER av alle på 79 %. I likhet med 34/10-16 og 21 er signalets form bevart og samtlige amplituder svakere. Responsen fra topp NER kommer inn noe senere (4 ms) i modellen uten kull.



Figur 5.25. Signal fra 33/12-8 S henholdsvis med og uten kull.

De fleste tilfellene viser en nedgang i amplitude på topp NER-nivå i modellene uten kull, med unntak av 34/10 A-9 H. Videre er det en tendens til at refleksjonen fra topp NER kommer inn noe tidligere eller på samme tid i modellene uten kull, her er unntakene 34/10 B-12 og 33/12-8 S. Signalets styrke ser ut til å svekkes under topp NER bortsett fra i 34/10 B-12, mens det er vanskeligere å se en tydelig trend i endring av signalstyrke over topp NER fra modelleringen med kull til den uten kull.

5.5 Oppsummering

I dette kapitlet er alle steg i modelleringsprosessen gjennomgått. En komplett oversikt over modellene som er brukt finnes i appendiks C.

Vi har i kapittel 5.4.1 sett at det finnes enkelte likheter i signalet som er generert fra den opprinnelige lagdelte modellen innenfor samme geografiske område, og at disse områdene også har likhetstrekk innenfor distribusjonen av kull i NER-intervallet. Dette er tydeligst for brønnene sør i undersøkelsesområdet.

Den modellerte seismikken er sammenlignet med reell seismikk fra Gullfaksområdet for å undersøke påliteligheten til modelleringsresultatene. Observasjonene fra denne undersøkelsen viser at det er dårligst samsvar mellom reell og syntetisk seismikk i 34/10 B-12 og 33/12-8 S. Disse brønnene er i motsetning til de andre ikke boret vertikalt. De vertikale brønnene viste til dels godt samsvar på topp NER-nivå.

De modellerte signalene uten kull hadde ikke like stor likhet innenfor samme geografiske område som signalene med kull. Imidlertid viste det seg at de tre sørligste brønnene hadde det svakeste signalet. Det var disse brønnene som inneholdt mest kull og derfor også hadde fått fjernet mest kull i NER-intervallet.

Sammenligningen av topp NER-signalet fra den originale laginndelte modellen med kullag og den editerte uten kullag viste at de fleste brønnene hadde en nedgang i signalstyrke på topp NER-nivå i modellen uten kull. Fjerning av kullagene ser ikke ut til å ha påvirket gangtiden mye, det er registrert endringer fra 0 til 10 ms.

Kapittel 6

Diskusjon

6.1 Innledning

Dette kapitlet omhandler en oversikt over observasjonene fra tolknings- og modelleringsarbeidet. Det vil ikke bli gått i dybden på tolkningstekniske problemer, men mulige årsaker vil nevnes kort. Modelleringen vil bli diskutert med tanke på feilkilder og faktorer som påvirker modelleringsresultatet. Videre vil resultatene bli kommentert med tanke på observasjonene som er gjort underveis for å forsøke å knytte det seismiske signalet til et bestemt stratigrafisk nivå. Til slutt vil modelleringsresultatenes implikasjoner på den sammenstilte/tolkede topp NER-flaten diskuteres.

6.2 Seismisk tolkning

Tolkningen av seismikk som er foretatt i denne oppgaven er gjort i et område på omtrent 100 km² (innfyllingsområdet, Fig. 4.4). Hovedhensikten med tolkningen var å fremstille topp NER som en helhetlig horisont i Gullfaksområdet. Dette ble gjort ved å sette sammen uavhengige tolkninger av flaten i forskjellige områder i tillegg til å finne topp NER i områder som ikke var tolket. Arbeidet med å gjøre en innfyllende tolkning nordvest i Gullfaksområdet (Fig. 4.4) avdekket noen aspekter som forringer kvaliteten på tolkningen og dermed på den sammenstilte flaten.

6.2.1 Multippelproblematikk

Det ble først laget en tolkning som senere viste seg å være gjort delvis på en multippel. Denne multippelen skyldes energi som har blitt reflektert fra bunn kritt i tillegg til å bli reflektert en gang i vannlaget. Multippelforstyrrelsen øker mot nord, dels fordi topp NER-horisonten nærmer seg bunn kritt mot nord og derfor blander seg med multippelen, men også fordi det ser ut til at multippelen er sterkere i de nordligste områdene (Fig. 4.11). På grunn av denne gradvise overgangen til mer og mer multippelenergi er det vanskelig å fastslå eksakt hvor primærreflektoren går over til å være en multippel, også med tanke på at multippelen ser ut til å ha samme fall som topp NER i deler av innfyllingsområdet (Fig. 4.14). Multippelen og topp NER har lik polaritet.

På grunn av at multippelen vanskeliggjorde tolkningen av horisonten i deler av området ble det isokorert en flate som ble satt inn som topp NER i problemområdene (Kap. 4.5.3). Den isokorerte flaten vil imidlertid ikke representere en god tolkning av topp NER siden det ikke er tatt hensyn til at lagpakken mellom topp Statfjord og topp NER tynner mot nord. Tykkelsen som ble brukt (290 ms) er hentet fra områder uten multippelproblemer sør i innfyllingsområdet og vil sannsynligvis være for stor i tillegg til at det er feilmarginer på de manuelle målingene som gir grunnlaget for gjennomsnittsverdien. En stratigrafisk lagpakke vil aldri ha helt konstant tykkelse som i det isokorerte tilfellet.

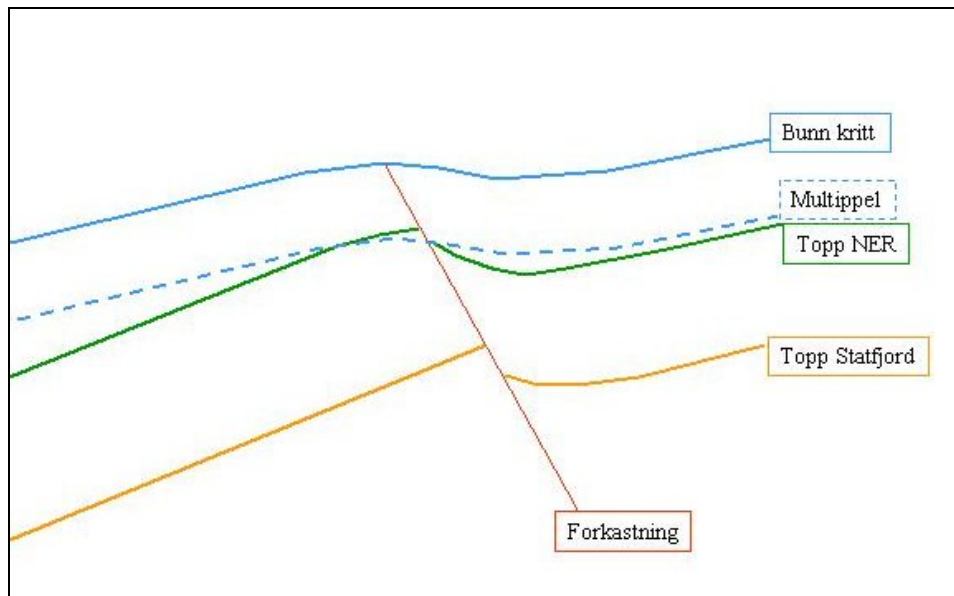
Disse faktorene til sammen betyr at det er knyttet stor usikkerhet til tolkningen i området nord for omtrent linje 2700 (Fig. 3.1) og vest for Tordisforkastningen.

6.2.2 Forkastningstolkning

Det ble satt en nedre grense på minimum 30 m sprang (~20 ms) i forbindelse med forkastningstolkning for å begrense omfanget. Fra studier av brønndata vet vi at det finnes forkastninger med sprang som ligger under seismisk oppløsning. Dette innebærer at det finnes forkastninger som ikke er tolket i innfyllingsområdet.

Det ble observert kraftig slep i hengblokker, spesielt i forbindelse med Tordisforkastningen (Fig. 4.12). Slepet minker med økende dyp, dette er også observert andre steder i Gullfaksområdet (Kap. 2.3.1 *Gullfaks Satellitter*). Slepet kan være påvirket av

multippelenergi som blander seg med primærrefleksjoner slik at primærrefleksjonene blir dratt inn i multippelrefleksjonen (Fig. 6.1).



Figur 6.1. Prinsippskisse av multippelenergi som kan påvirke slepet i tilknytning til en forkastning.

Utydelig avbildning av forkastningene har også bidratt til at tolkningen ikke nødvendigvis følger forkastningsplanet (Fig. 4.15). Muligens er dette fordi det ikke er en enkelt forkastning som tolkes, men en forkastningssone (Fig. 6.2) som ikke har et klart definert forkastningsplan. Uklar avbildning kan også skyldes oppsprekking av bergarten i nærheten av forkastningen, noe som vil resultere i andre fysiske egenskaper i forhold til den opprinnelige bergarten.



Figur 6.2. Bildet viser en ca 10 m bred forkastningssone ved Mill Fork, Utah.

Forkastningsgeometrier kan i tillegg være vanskelige å gjenskape gjennom prosessering av seismiske data.

Gjennomgående for forkastningsmønsteret er at hovedforkastningene er linket sammen av buede segmenter i horisontalplanet (Fig. 4.20).

6.2.3 Sammenstilling til endelig horisont

Sluttproduktet fra integreringen av de forskjellige tolkningene av topp NER og innfyllende tolkning i nordvest er en sammenstilling av flaten i hele Gullfaksområdet. Flaten er interpolert for å få et helhetsinntrykk.

Den innfyllende tolkningen er gjort på hver 16. linje. Når det interpoleres mellom de tolkede linjene vil det ikke bli et naturlig resultat på grunn av den store avstanden mellom tolkningene. Dette kommer fram ved 3D-visualisering hvor det kan observeres et rutete mønster i flaten (Fig. 4.21). Forkastninger blir kantete som følge av den grove tolkningen (Fig. 4.21).

En tettere tolkning i innfyllingsområdet ville hevet kvaliteten på hele horisonten. Tolkning på en annen seismisk kube kunne muligens forminsket både multippelproblem og uklar forkastningsavbildning. Hovedhensikten med å lage en flate av topp NER i hele lisensområdet var imidlertid å få en oversikt over området som helhet uten å gå i detaljer.

6.3 Seismisk modellering

Den seismiske modelleringen som er utført i dette hovedfagsarbeidet er gjort på grunnlag av data fra 7 lete- og produksjonsbrønner. Hovedhensikten med den seismiske modelleringen var å finne ut hvor i stratigrafien det seismiske topp NER-signalet blir satt opp. Det er kjent fra brønndata at det eksisterer sekvenser med tynne kullag i NER intervallet. Tykkelsen på lagene varierer mellom 0,5 –2 m. Fokus ble satt på dette kullet for å se hvilken innvirkning det hadde på den seismiske responsen.

6.3.1 Faktorer som kan påvirke modelleringsresultatet

Innsamling av loggdata

Under innsamlingen av loggdataene som ligger til grunn for modelleringen finnes det flere elementer som kan påvirke resultatet. Innsamlingen av brønndata er gjort på svært forskjellige tidspunkt, den første i 1979-80 og den siste i 2002 (App. A). Teknikk og utstyr for innsamling av brønndata har endret seg fra 1979 og frem til i dag, og en kan regne med forskjellene bidrar til enkelte avvik i innsamlingsresultatet. Usikkerheten på målingene er mindre i dag enn for 20 år siden, dette innebærer at de siste målingene har størst sikkerhet. To av brønnene er avviksboret (App. A) med vinkler som avviker fra vertikalen på 28 og 44°. Dette avviket kan også påvirke innsamlingsresultatet.

Fluidsonen som NER-intervallet og formasjonene over ligger i varierer fra brønn til brønn. I de fleste brønnene ligger olje-vann-kontakten over NER intervallet slik at dataene er samlet inn i vannsonen. Unntakene er 34/10-16 og B-12 som ligger henholdsvis i olje/gass-kontakten og i oljesonen. Forskjellig fluid i formasjonen under innsamlingen vil si at verdiene ikke er hentet inn under like forhold.

Caliperlogg er ikke tilgjengelig for 33/12-8 S. For 34/10-12 og -16 viser denne utrasninger i borehullet med jevne mellomrom gjennom hele NER-intervallet, mens 34/10 B-12 har utrasninger de øverste 8-10 m. I de øvrige brønnene viser caliperloggen verken utrasninger eller innsnevring langs borehullet. I intervallene med utrasninger vil målingene bli upålitelige og muligens gi feil verdi som utgangspunkt i modelleringen.

Fra logger til lagdelt modell

De lagdelte modellene er en meget forenklet utgave av den reelle jordmodellen. De lagdelte modellene er basert på logger fra brønner. Det er flere faktorer som bidrar til å forenklingen:

Modellene består av isotrope lag (samme fysiske egenskaper uavhengig av hvilken retning de blir målt). De aller fleste medier i naturen vil ha en større eller mindre grad av anisotropi, hvor resultatet av målinger er avhengig av retningen de blir målt i.

Lagene i Gullfaksområdet er hellende, mens den lagdelte modellen består av horisontale lag.

Overlagringsmodellen er den samme i alle brønnene som er modellert. Overlagringen vil naturligvis variere fra brønn til brønn og en kan derfor med sikkerhet fastslå at modellene ikke stemmer med virkeligheten over reservoarnivå, med unntak av 34/10-12 hvor overlagringsmodellen er hentet fra. Videre vet man ikke om denne overlagringen er den mest representative for hele Gullfaksområdet. Det er en mulighet for at overlagringen i 34/10-12 har spesielle særtrekk som kun finnes her.

Laginndelingen ble foretatt med utgangspunkt i AI-logger (Fig. 5.2). Grenseflatene er lagt inn der det er en tydelig endring i akustisk impedans. Denne inndelingen vil ikke stemme over ens med den reelle stratigrafien.

Modellen har homogene lag, mens lagene i virkeligheten alltid er mer eller mindre heterogene.

Laginndelingen kan føre til at enkelte lag i modellen interfererer med hverandre og skaper et annet seismisk bilde enn den reelle seismikken, hvor det kanskje er andre grenseflater som interfererer med hverandre. Videre kan lag hvor endringen i akustisk impedans ikke er tydelig nok på AI-loggen forsvinne helt.

Fra lagdelt modell til seismikk – sammenligning med reelle data

Vi vet at de lagdelte modellene som ligger til grunn for å generere syntetisk seismikk i de utvalgte brønnene er for enkel til at man kan forvente en perfekt match med virkeligheten. Faktorer som spesifiseres før modelleringen settes i gang kan avvike fra de reelle forholdene. Ved generering av seismikk i denne oppgaven er det brukt en rickerwavelet som kildepuls med senterfrekvens på 30 Hz. Ut fra sammenligning med reelle data (Kap. 5.4.2) kan det se ut til at dette er noe høyt.

For hver brønn er det gjort en offsetmodellering hvor output er en CDP-samling. Offsetdimensjonen er viktig for å få med amplitudevariasjonene med offset slik det er gjort i de reelle dataene. Stackinghastighetene er beregnet fra hastighetsanalyse (likhetsplott). Figur 5.5 viser plukk av stackinghastigheter i 34/10-6. Grunnen til at plukkene avviker fra de største likhetsverdiene fra omtrent 2200 ms og dypere er at det sannsynligvis er en multippel som gir det største utslaget. Stackinghastighetene er derfor lagt som en rett linje med økende hastighet med dypet fra 2200 ms og nedover. Alle brønnene viser multippelenergi i hastighetsspekteret

(App. C), hastighetsfunksjonen er derfor lagt som en lineær økning i hastighet med dyp fra multippelnivået og ned. Det antas å være en multippel på grunn av at hastigheten plutselig avtar, dette kan tyde på en internrefleksjon i grunnere lag med lavere hastighet.

Under prosessen med å generere den syntetiske seismikken ble det satt forskjellige rammebetingelser. Absorpsjonseffekter ble inkludert. Damping av energien ble tatt hensyn til med en Q -faktor på 200 og 100 for henholdsvis P- og S-bølger. Dempingen (D) er avhengig av både frekvens (f), toveis gangtid (t) og Q -faktor (Q) og kan tilnærmet beregnes ved hjelp av uttrykket:

$$D = e^{\left(\frac{-\pi \cdot f \cdot t}{Q}\right)}. \quad (6.1)$$

Av uttrykket ser en at ved å endre enten frekvens eller Q -faktor vil dempingen endres ved en gitt toveis gangtid. De grunneste brønnene vil få mindre demping på topp NER-nivå enn de dype.

Type multipler kan også bestemmes i rammebetingelsene for modelleringen. I denne oppgaven er det valgt å ikke ta med overflatemultipler (vannlagsmultipler), mens multipler som dannes mellom lagene (intern) er tatt med. Overflatemultiplene er utelatt siden vi forventer at de som har prosessert de reelle dataene har lyktes med å fjerne disse. Multipler som dannes mellom lagene er antatt å være langt svakere og vanskeligere å fjerne under prosessering. Videre kan fjerning av disse utelatte effekter som kan være ønskelig å undersøke, for eksempel effekten av flere tynne lag som er aktuelt i denne oppgaven.

Ved fremstillingen av de modellerte trasene ble de korrigeret med sfærisk divergens før de ble sammenlignet med den reelle seismikken. Det finnes flere typer skalering som ikke ble benyttet i prosesseringen, men som kunne gitt et annerledes resultat. Både eksponentiell forsterkning av amplitudene eller en enkel lineær økning av amplitudestyrke med dyp kan benyttes i modelleringsprogrammet.

Syntetiske traser ble satt sammen med reelle for å vurdere påliteligheten til modelleringsresultatet. En automatisk skalering fra plottprogrammet gjorde at utseendet til

de modellerte trasene ble endret og at utslagene i enkelte tilfeller forsvant helt (Fig. 5.15 og 5.16) slik at sammenligningen ble vanskeliggjort.

Ved sammenligningen av reell og syntetisk seismikk sammen ble tre traser midt i snittet fjernet og erstattet med tre modellerte traser. For de vertikale brønnene ble de modellerte trasene satt inn langs brønnbanen og ga en avbildning av trasen som kom fram gjennom modelleringen. For brønnene som er avviksboret (34/10 B-12 og 33/12-8 S) vil de modellerte trasene gå langs en ikke-vertikal brønnbane, mens i sammenligningen blir de satt inn vertikalt der brønnbanen krysser topp NER i den reelle seismikken. Det gir således ikke et korrekt bilde av de tre midterste trasene som i sammenligningsfigurene 5.15 - 5.17 blir erstattet med syntetisk seismikk.

6.3.2 Sammenligning av signalform og brønnenes geografiske plassering

I kapittel 5.4.1 er likheter og forskjeller mellom de forskjellige brønnenes topp NER-signal kommentert. Det er rimelig å anta at brønner som ligger i samme område og har topp NER på omtrent samme dyp burde få lignende seismisk respons fordi de lagdelte modellene vil ligne på hverandre og de fysiske egenskapene vil være omtrent like. Dette bekreftes i 34/10-16 og -21 (Fig. 5.9) hvor både signalform og amplitudestyrke ligner.

Signalet i 34/10-6, -12 og A-9 H har omtrent samme periode og styrke, men -12 skiller seg fra de andre ved en noe annerledes form på signalet (Fig. 5.9). Dette kan forklares med utrasninger i borehullet da brønndataene ble samlet inn og mengden kull i 34/10-12 som har 9 lag med til sammen 9,5 m med kull til forskjell fra 34/10-6 og A-9 H med bare 3 og 4 m fordelt på 2 lag.

I 34/10 B-12, den siste av de nordligste brønnene avviker modelleringsresultatet fra samtlige av de andre brønnene (Fig. 5.9). Denne brønnen er ikke vertikal og NER-intervallet lå i oljesonen da brønndataene ble samlet inn. Det er også utrasninger ved topp NER i borehullet. Disse faktorene kan medvirke til at den lagdelte modellen for denne brønnen har andre fysiske egenskaper enn de i samme område med topp NER på omtrentlig samme dyp.

33/12-8 S har størst likheter med 34/10-16 og -21, dette er rimelig siden denne brønnen ligger nærmest disse både geografisk og dybdemessig for NER-intervallet. Dog skiller det omtrent 10 km i luftlinje til den nærmeste brønnen og 508 m i dyp til topp NER, det kan derfor ikke forventes å finne en brønn med et modellert signal som åpenbart ligner på det i 33/12-8 S. Denne brønnen er i tillegg avviksboret med en vinkel på hele 44° på reservoarnivå noe som setter andre betingelser for inn-dataene til den lagdelte modellen.

I 34/10-16 lå NER-intervallet i olje/gass-kontakten da brønndataene ble samlet inn, i tillegg er det en del ultrasninger i borehullet. Det ser ikke ut til å ha påvirket modelleringsresultatet nevneverdig, da signallikheten med 34/10-21 i samme geografiske område hvor topp NER ligger på samme dyp er slående (Fig. 5.9).

Generelt viser modelleringen forventede likhetstrekk innenfor samme geografiske område. Brønner hvor topp NER ligger på omtrent samme dyp og har lik kullmengde gir også lignende seismiske signaler.

6.3.3 Kullets innvirkning på signalet

I denne oppgaven blir det forsøkt å finne årsaken til det seismiske topp NER-signalet ved å se på kullets innvirkning på den seismiske responsen. Det har tidligere vært diskutert om signalet skyldes en enkel litologisk kontrast eller interferens. Mengden av kull varierer (Tab. 5.1) med færrest lag og lavest mektighet nord i arbeidsområdet. I 34/10-6, A-9 H og B-12 hvor kullmektigheten ikke er mer enn 4 m på det meste er det lite som tilsier at disse 2 eller 3 lagene i seg selv skal skape et godt seismisk signal. I de fire sørligste brønnene; 34/10-12, -16, -21 og 33/12-8 S er kullmektigheten opp til 16 m fordelt på 13 lag på det meste. Det er mer sannsynlig at kullet det i disse brønnene genererer et godt seismisk signal gjennom nedgang i akustisk impedans eller interferens.

Observasjoner av seismikk i modellene uten kull (Kap. 5.4.3 og 5.4.4) viser generelt at signalet er svakest i de sørligste brønnene 34/10-16, -21 og 33/12-8 S. Dette kan skyldes at det er i disse brønnene den største kullmengden er fjernet (opp til 16 m, se tabell 5.1), og dermed at kontrasten i akustisk impedans blir mindre enn i brønner hvor det er tatt bort lite kull. 34/10-12 har et noe kraftigere utslag, men her er det også noe mindre kull som er tatt

bort (9.5 m). De tre nordligste brønnene viser de kraftigste utslagene, og her er det fjernet minst kull fra loggene (3-4 m).

Sammenligner en signalstyrken med og uten kull er trenden at i modellene uten kull går amplitudestyrken ned. Dette tyder på at endringen i akustisk impedans ved topp NER er mindre når kullet er borte. Unntaket er 34/10 A-9 H. Appendix C viser en oversikt over p-bølgehastighet og tetthet i originalmodellen og editert modell uten kull. Endringen i både hastighet og tetthet er så liten i originalmodellen at den ikke kommer fram i diagrammet. Videre viser den editerte loggen en *nedgang* i p-bølgehastighet etter fjerningen av kullet, noe som kan forklare at signalet øker i styrke på grunn av økt endring i akustisk impedans. Denne brønnen er derfor ikke en god indikator på kulletts innvirkning på signalet.

Variasjoner i toveis gangtid mellom modellene med og uten kull varierer mellom 10 og 0 ms. 34/10 B-12 utmerker seg med at responsen fra topp NER i modellen uten kull kommer inn 5 ms *senere* enn i originalen. Kull kjennetegnes av lav hastighet og tetthet, en skulle derfor forvente at i en modell uten kull kom innslaget inn noe før på grunn av økt hastighet. Tidseffekten kan derfor skyldes endring i AVO-respons. For de andre modellene kommer innslaget tidligere enn i originalen, men forskjellene er såpass små med et gjennomsnitt på 4,5 ms at man ikke kan si at kullet har stor påvirkning på gangtiden. Det er også verdt å merke seg at den største endringen i gangtid (10 ms) skjer i 34/10-6, som er den brønnen med færrest kullag (2) og minst mektighet (3 m), og endringen er 0 ms i 34/10-16 som har flest kullag (13) og størst mektighet (16 m). Det er derfor vanskelig å knytte en spesiell sammenheng til fjerning av kull og endring i gangtid.

6.4 Modellerings implikasjoner på tolkningen

Modelleringen som er gjort i denne oppgaven tyder på at det seismiske topp NER-signalet som danner flaten beskrevet i kapittel 4 representerer den samme litologiske grenseflaten over hele Gullfaksområdet. Dette kan begrunnes med at signalet ikke ser ut til å være et resultat av interferens, men kommer fra en fysisk overgang med nedgang i akustisk impedans. Gjennom modelleringen er denne grenseflaten funnet til stede i alle brønnene som er tatt med i denne oppgaven. Brønnene er spredt over hele arbeidsområdet og skulle derfor gi et representativt bilde. Dermed kan det ikke sees at den geografiske beliggenheten til brønnene i forhold til

utbredelsen av Brentdeltaet, og dermed distribusjonen av kull, innvirker på hvor i stratigrafien det seismiske signalet blir satt opp.

På bakgrunn av dette kan det se ut til at den sammenstilte flaten av topp NER som er vist i kapittel 4 gir et bilde av hvordan grenseflaten er distribuert i Gullfaksområdet.

6.5 Oppsummering

Sammenstillingen av de uavhengige tolkningene av topp NER har ikke avdekket uoverensstemmelser mellom disse. Den innfyllende tolkningen som er gjort nordvest i arbeidsområdet har enkelte mangler på detaljnivå, men gir et representativt bilde av topp NER.

Modelleringsresultatene viser generelt en god tilpasning til reell seismikk. En har sett at kullet har en tydelig innvirkning på amplitudestyrken til topp NER med en svekkelse på modellene uten kull (unntak: 34/10 A-9 H). Den største svekkelsen skjer i brønnene med mye kull. Gangtiden til refleksjonen endres derimot ikke nevneverdig. Selv om amplitudestyrken er svekket (Kap. 5.4.4) kan man observere en refleksjon på topp NER-nivå, noe som indikerer at det eksisterer en grenseflate med endring i akustisk impedans på dette nivået også uten tilstedeværelse av kull. Hadde det seismiske topp NER-signalet vært et resultat av interferens mellom kullagene skulle man forventet en større endring i toveis gangtid fra originalmodellen til den uten kull. Dermed ser det ut til at det seismiske topp NER-signalet settes opp i overgangen til det stratigrafiske topp NER-intervallet.

Modelleringen som er gjennomført ser ikke ut til å ha implikasjoner på dagens tolkning.

Kapittel 7

Konklusjon og videre arbeid

Gjennom arbeidet med sammenstillingen og tolkningen av topp NER beskrevet i kapittel 4 ble det utarbeidet en horisont for hele Gullfaksområdet. Denne horisonten gir et bilde av en fysisk grenseflate.

Gjennom modelleringsarbeidet beskrevet i kapittel 5 ser det ut til at kullagene som ligger i NER-intervallet påvirker styrken til det seismiske topp NER-signalet. Gangtiden til signalet synes derimot ikke å bli påvirket av kullet. Dette tyder på at det seismiske topp NER-signalet ikke er et resultat av interferens, men representerer en litologisk grenseflate.

For å bedre fremstillingen av topp NER i hele Gullfaksområdet bør tolkningen som er gjort i innfyllingsområdet i nordvest gjøres tettere. Dette vil gi en bedre beskrivelse av både forkastninger og variasjoner i flaten og dermed et forbedret bilde av geologien i området.

Deler av den innfyllende tolkningen ble forringet av multippelproblematikk. Ved å undersøke det samme området på et annet datasett kan muligens denne problematikken reduseres, og horisonten kan tolkes i stedet for å isokorerer fra en annen reflektor.

Den seismiske modelleringen som ble gjennomført ble gjort med en senterfrekvens på 30 Hz. Dette er muligens noe høyt i forhold til senterfrekvensen til de innsamlede seismiske dataene. En ny modellering med lavere senterfrekvens vil kunne bidra til et modelleringsresultat som er enda mer sammenlignbart med de reelle dataene.

De syntetiske dataene ble sammenlignet med de reelle ved hjelp av et plotteprogram. Programmet skapte tidvis problemer på grunn av en automatisk skalering (ref beskrivelse s. 75 og Fig. 5.15 og 5.16). Plotting av syntetiske og reelle data i et program med flere skaleringsmuligheter vil bedre fremstillingen av de syntetiske trasene og dermed gi et bedre grunnlag for sammenligningen.

For å vurdere påliteligheten til modelleringsresultatet ytterligere kan AVO-effekter fra den syntetiske seismikken sammenlignes med AVO-effekter fra den reelle.

Bibliografi

- BADLEY, M.E., PRICE, J.D., RAMBECH DAHL, C. & AGDESTAIN, T. (1988). The structural evolution of the northern Viking Graben and its bearing upon extensional modes of basin formation. *Journal of the Geological Society*, **145**, 455-472.
- DAHL, N. & SOLLI, T. (1993). The structural evolution of the Snorre Field and surrounding areas. In PARKER, J.R., *Petroleum Geology of Northwest Europe: Proceedings of the 4th Conference*. The Geological Society, London, 1159-1166.
- EKREN, B.O. (2003). Personlig kommunikasjon
- FOSSEN, H. & HESTHAMMER, J. (1998). Structural geology of the Gullfaks Field, northern North Sea. In COWARD, M.P., DALTABAN, T.S. & JOHNSON, H., *Structural Geology in Reservoir Characterization*. Geological Society, London, Special Publications, **127**, 231-261.
- FOSSEN, H., ODINSEN, T., FÆRSETH, R.B. & GABRIELSEN, R.H. (2000). Detachments and low-angle faults in the northern North Sea rift system. In NØTTVEDT, A., *Dynamics of the Norwegian margin*. Geological Society, London, Special Publications, **167**, 105-131.
- FOSSEN, H. & RYKKELID, E. (1992). Postcollisional extension of the Caledonide orogen in Scandinavia: Structural expressions and tectonic significance. *Geology*, **20**, 737-740.
- FÆRSETH, R.B. (1996). Interaction of Permo-Triassic and Jurassic extensional fault-blocks during the development of the northern North Sea. *Journal of the Geological Society*, **153**, 931-944.

- FÆRSETH, R.B., KNUDSEN, B.-E., LILJEDAHL, T., MIDBØE, P.S. & SØDERSTRØM, B. (1997). Oblique rifting and sequential faulting in the Jurassic development of the northern North Sea. *Journal of Structural Geology*, **19**, (10), 1285-1302.
- GABRIELSEN, R.H., KYRKJEBØ, R., FALEIDE, J.I., FJELDSKAAR, W. & KJENNERUD, T. (2001). The Cretaceous post-rift basin configuration of the northern North Sea. *Petroleum Geoscience*, **7**, 137-154.
- GABRIELSEN, R.H., ODINSEN, T. & GRUNNALEITE, I. (1999). Structuring of the Northern Viking Graben and the Møre Basin; the influence of basement structural grain, and the particular role of the Møre-Trøndelag Fault Complex. *Marine and Petroleum Geology*, **16**, 443-465.
- GLENNIE, K.W. (1998). *Petroleum Geology of the North Sea: Basic Concepts and recent advances* (4. Edition). Blackwell Science.
- HELLAND-HANSEN, W., ASHTON, M., LØMO, L. & STEEL, R.J. (1992). Advance and retreat of the Brent delta: recent contributions to the depositional model. In MORTON, A.C.,
- HESTHAMMER, J. & FOSSEN, H. (1999). Evolution and geometries of gravitational collapse structures with examples from the Statfjord Field, northern North Sea. *Marine and Petroleum Geology*, **16**, 259-281.
- HESTHAMMER, J. & FOSSEN, H. (2001). Structural core analysis from the Gullfaks Field, northern North Sea. *Marine and Petroleum Geology*, **18**, 411-439.
- JOHNSON, H., RICHARDS, P.C., LONG, D. & GRAHAM, C.C. (1993). *United Kingdom offshore regional report: the geology of the northern North Sea*. Natural Environment Research Council.
- JORDT, H., FALEIDE, J.I., BJØRLYKKE, K. & IBRAHIM, M.T. (1995). Cenozoic sequence stratigraphy of the central and northern North Sea basin: tectonic development, sediment distribution and provenance areas. *Marine and Petroleum Geology*, **12**, (8), 845-879.

NORSAR (2003). Nucleus 1D reflectivity, 6.1.0

ODINSEN, T., REEMST, P., VAN DER BEEK, P., FALEIDE, J.I. & GABRIELSEN, R.H. (2000).
Permo-Triassic and Jurassic extension in the northern North Sea: results from
tectonostratigraphic forward modelling. In NØTTVEDT, A., *Dynamics of the Norwegian
Margin*. Geological Society, London, Special Publications, **167**, 83-103.

ROBERTS, A.M., YIELDING, G., KUZNIR, N.J., WALKER, I.M. & DORN-LOPEZ, D. (1995).
Quantitative Analysis of Triassic extension in the northern Viking Graben. *Journal of
the Geological Society*, **152**, 15-26.

SHERIFF, R.E. (1999). *Encyclopedic Dictionary of Exploration Geophysics* (3. edition).
Society of Exploration Geophysicists.

STATOIL (2002a). Reservoarstyringsplan for Gullfaks Satellitter.

STATOIL (2002b). Reservoarstyringsplan for Gullfaksfeltet.

STATOIL (2003). Statoils hjemmesider, www.statoil.com.

STATOIL (1994). Seismisk tolkningsrapport for Gullfaksfeltet og Gullfaks Vest.

SUNDEVOR, E. (1989). *Tolkning av marinseismiske data*. Jordskjelvstasjonen, Universitetet i
Bergen.

ZIEGLER, P.A. (1990). *Geological Atlas of Western and Central Europe* (2. edition).
Geological Society Publishing House.

Appendiks A - Datamateriale

Seismiske data

Innsamlingsnavn: ST99M06
Beskrivelse: 3D Prestack dybdemigrert ST9607 og ST9801
Kube: la9908

Følgende brønner er benyttet i signalmodelleringen:

Brønn	Innsamling av brønndata år	Fluidsone for NER-intervallet	Boringsvinkel i nedre Brent (avvik fra vertikal)	Vanndyp
34/10-6	1979-1980	Vann	0,5 °	223 m
34/10 B-12	1989	Olje	28 °	143 m
34/10 A-9 H	1987	Vann	1 °	136 m
34/10-12	1981	Vann	1 °	138 m
34/10-21	1984	Vann	0 °	134 m
34/10-16	1982-1983	Olje/ gass	0 °	138 m
33/12-8 S	2002	Vann	44 °	134 m

Appendiks B - Modelleringsdata

Innsamlingsdata

Generelt:

Samplingsintervall: 4 ms

Registreringstid: 4 s

Kildeparametere:

Antall kilder: 1

Kildedyp: 5 m

Pulstype: Ricker-wavelet

Senterfrekvens: 30 Hz

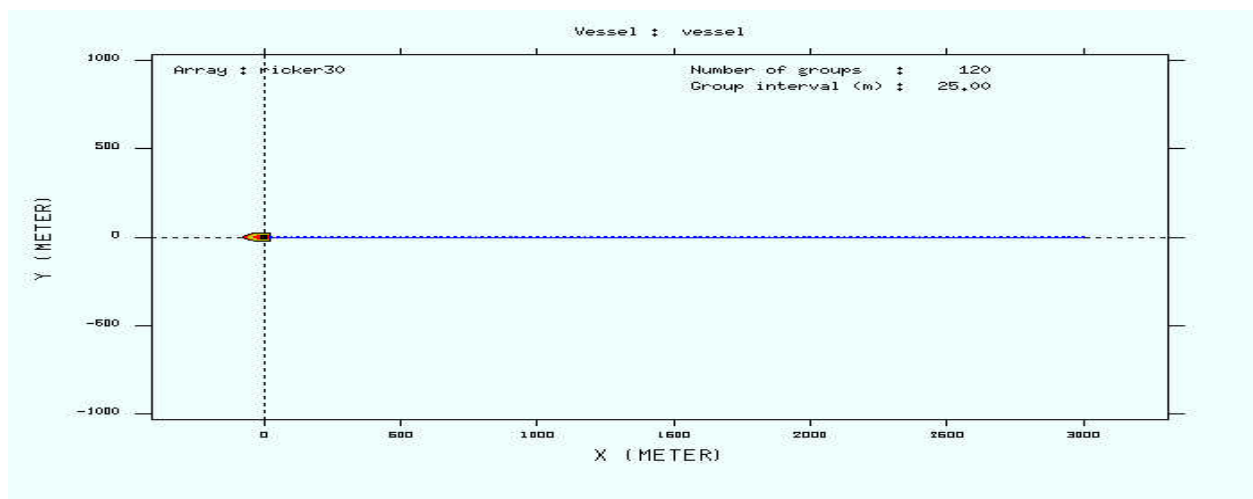
Streamerparametere:

Antall kanaler: 120

Avstand mellom kanalene: 25 m

Gruppeintervall: 25 m

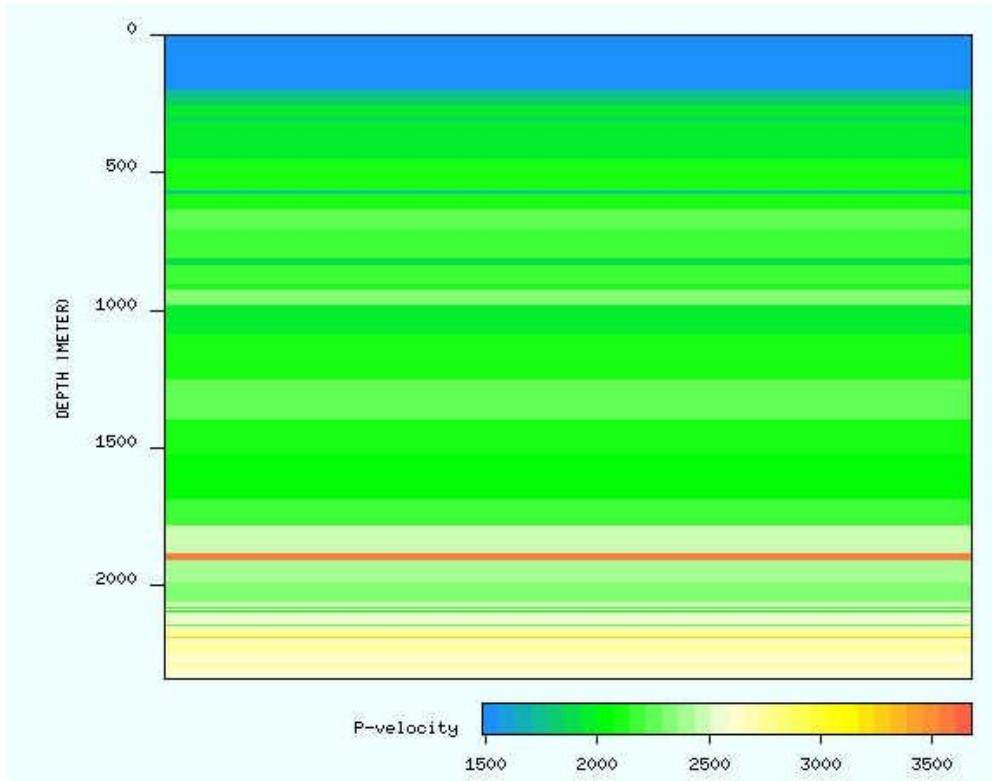
Streamerdybde: 8 m



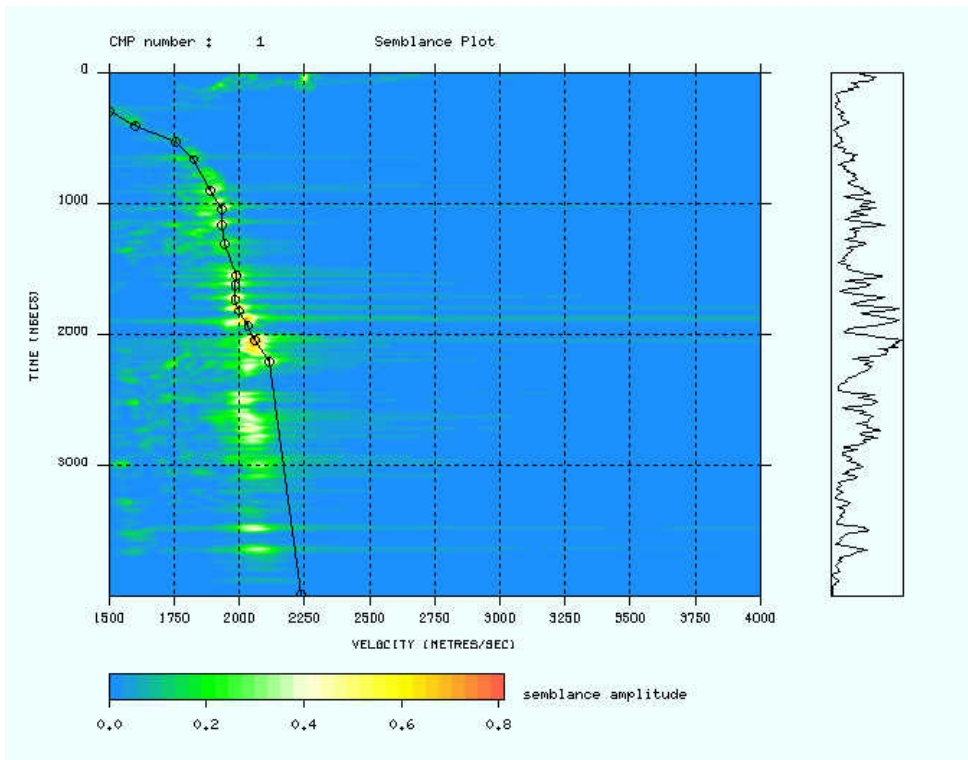
Brønn	Antall lag i modellen
34/10-6	90
34/10 B-12	119
34/10 A-9 H	116
34/10-12	148
34/10-21	171
34/10-16	191
33/12-8 S	276

Appendiks C – Modellerte brønner

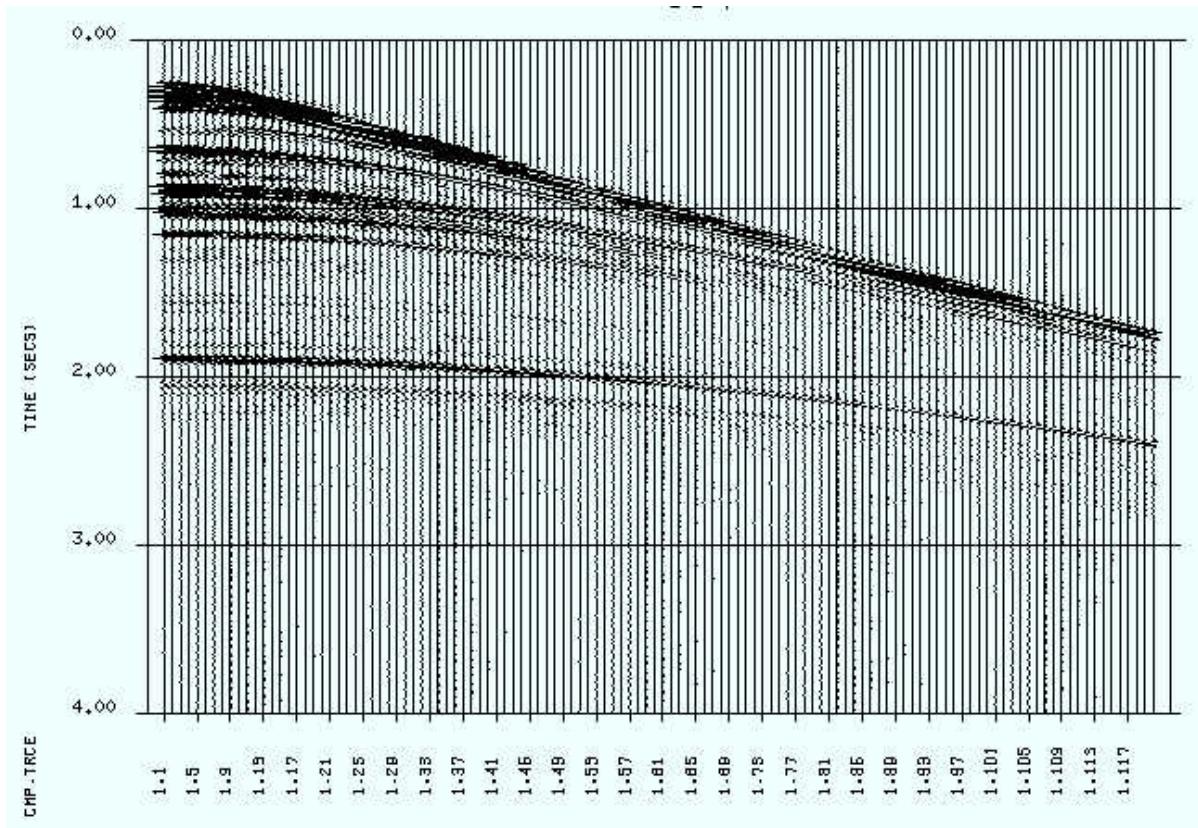
34/10-6



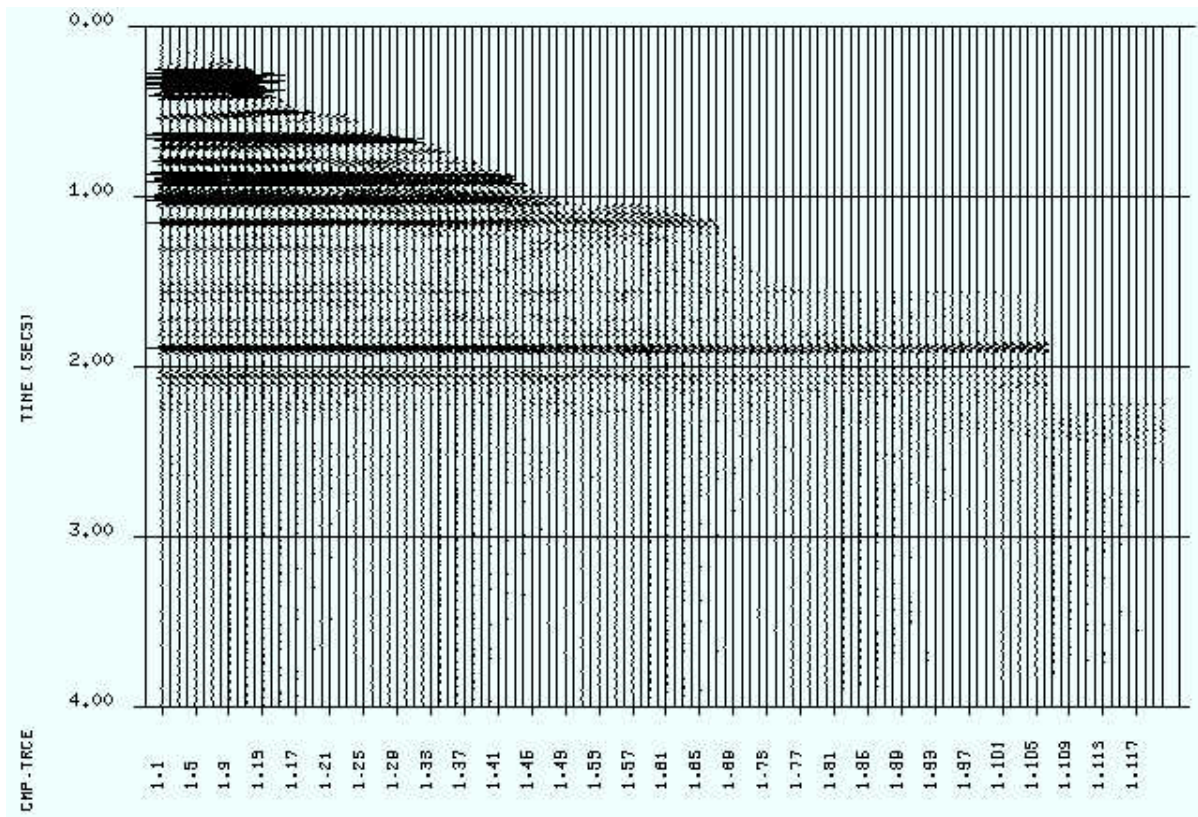
Laginndelt modell fremstilt ved P-bølge hastigheter



Hastighetsspekter med plukk av stackinghastigheter



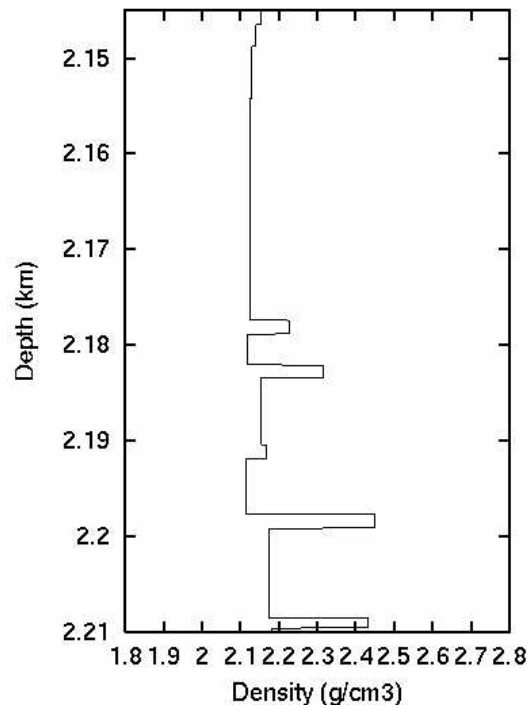
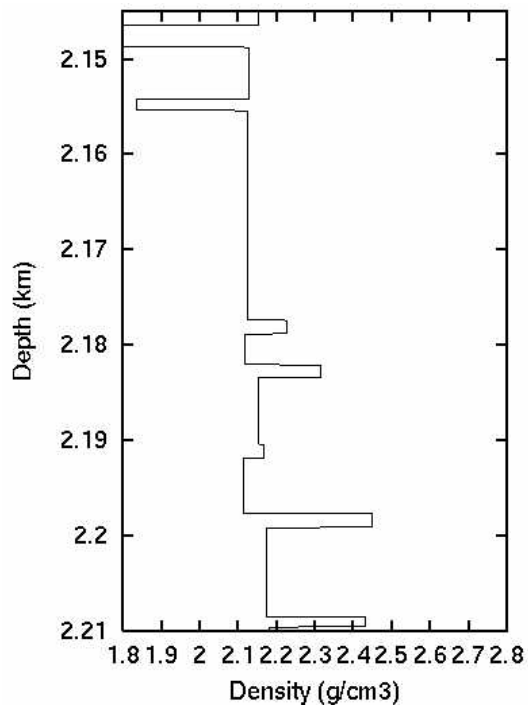
CMP-skuddsamling



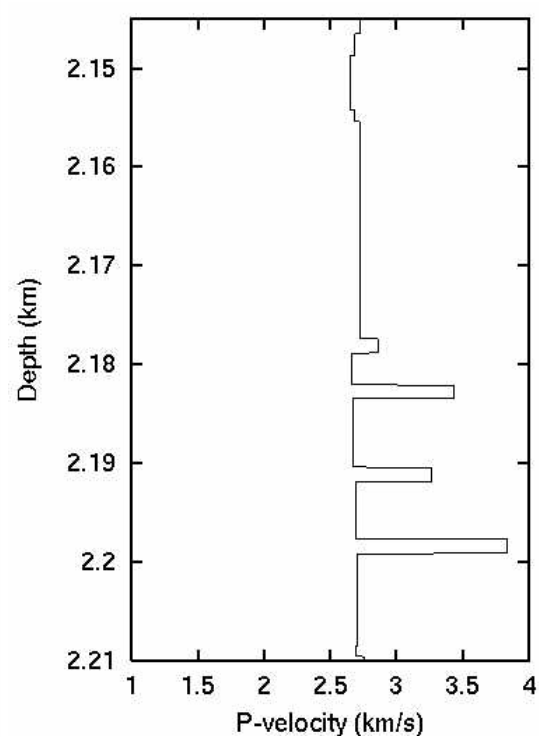
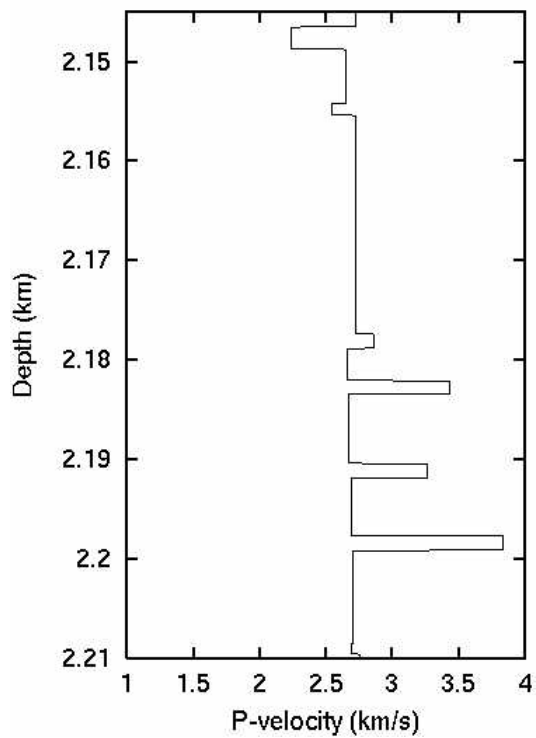
NMO-korrigert skuddsamling

Endring fra original til editert logg

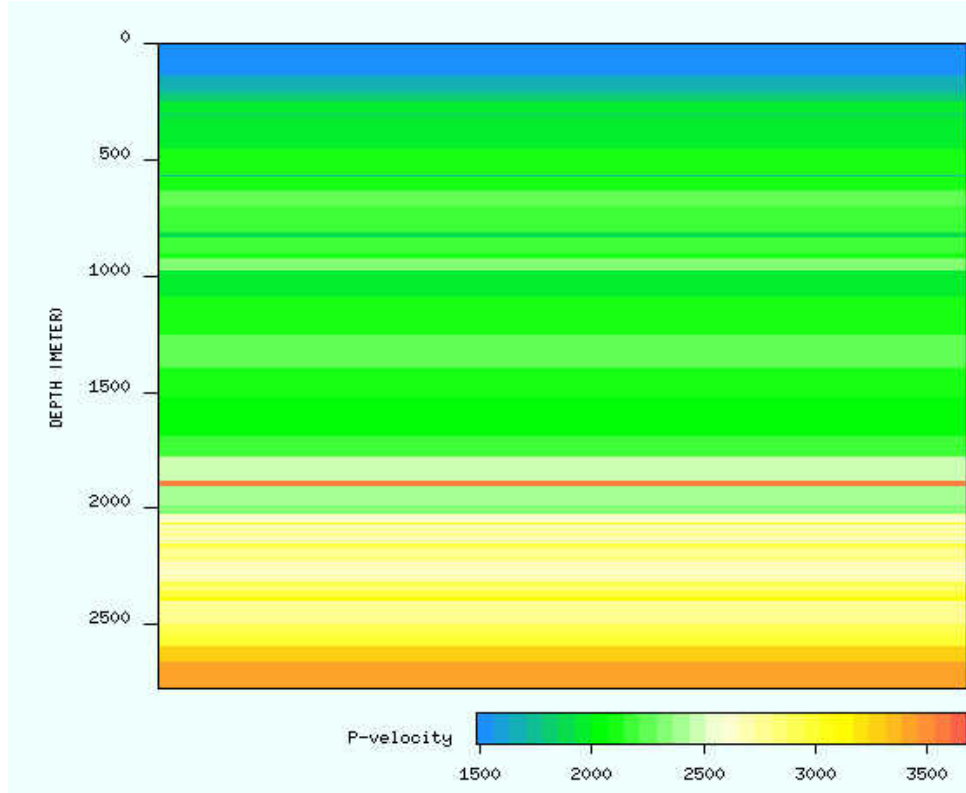
Tetthet (ρ) med og uten kull:



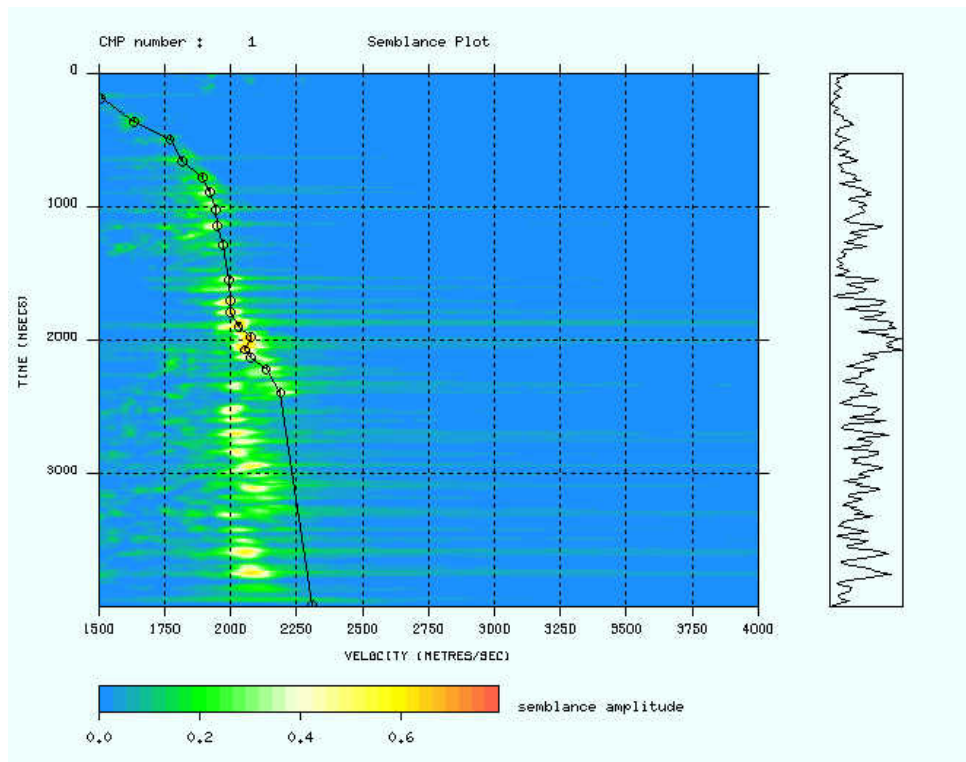
P-bølge hastighet (V_p) med og uten kull:



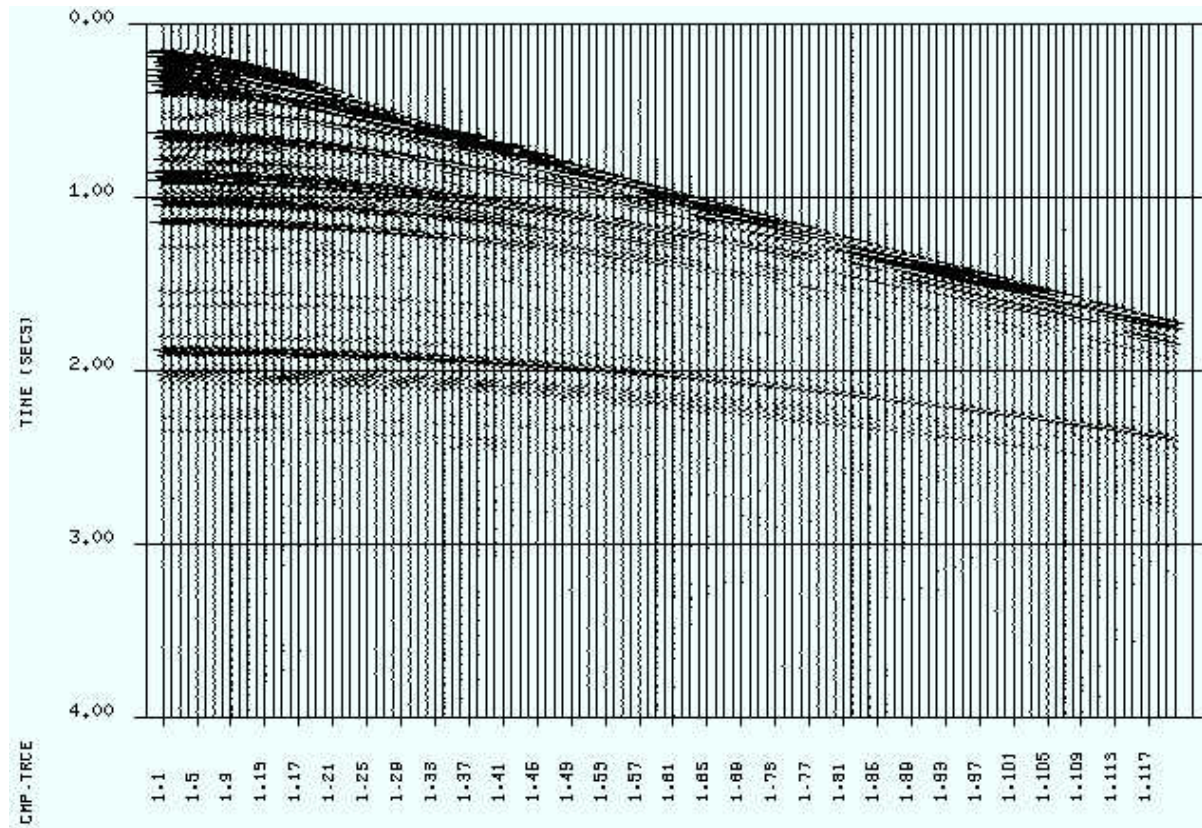
34/10-12



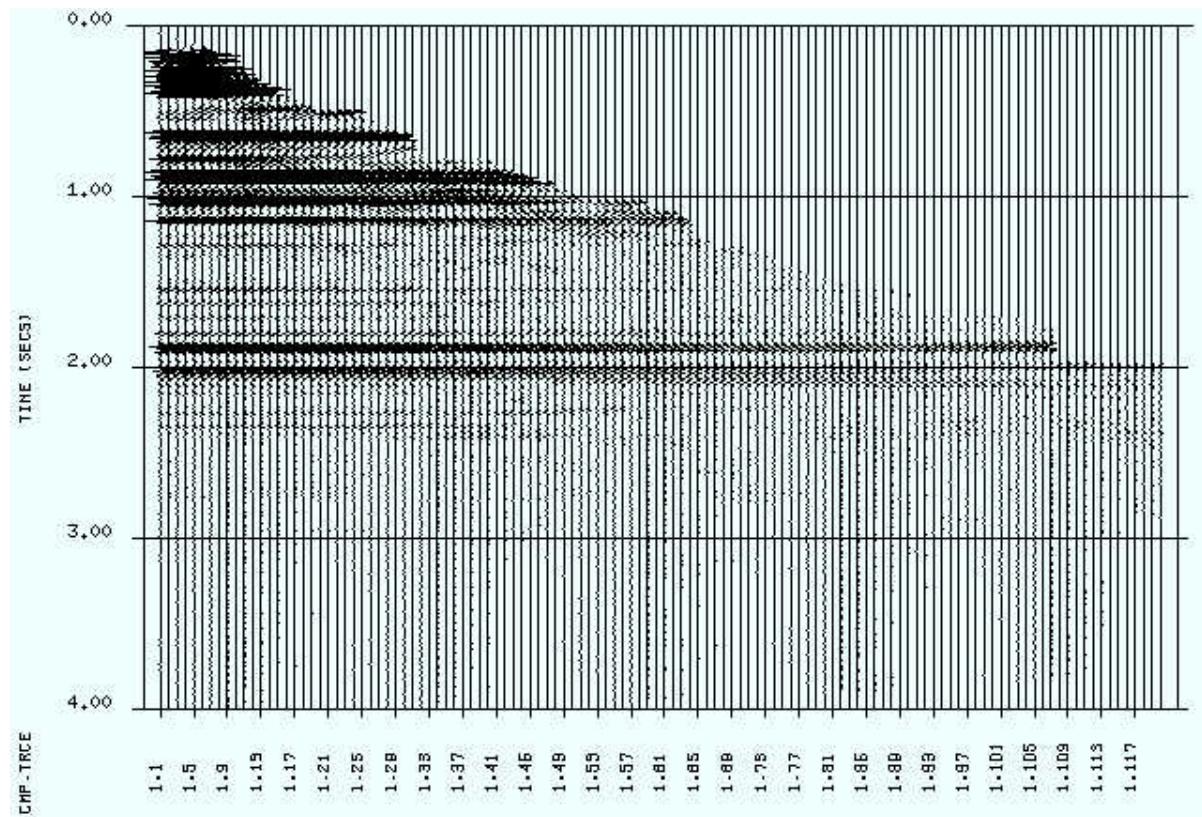
Laginndelt modell fremstilt ved P-bølgehastigheter



Hastighetsspekter med plukk av stackinghastigheter



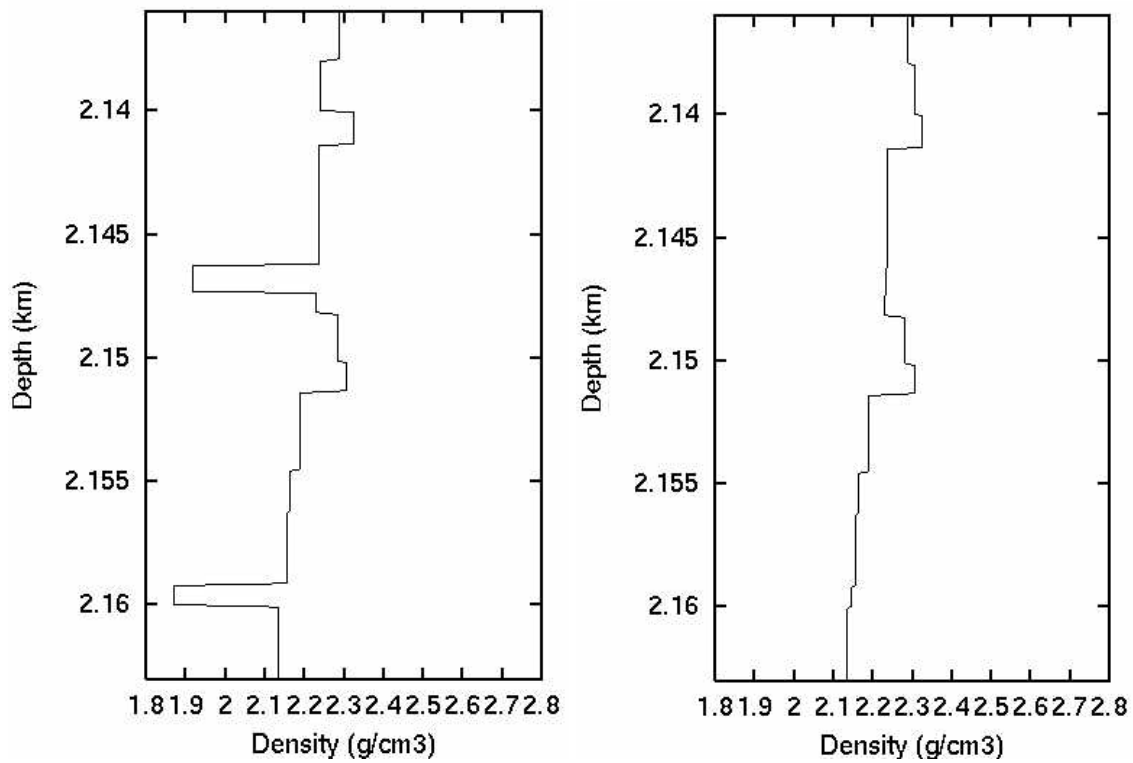
CMP-skuddsamling



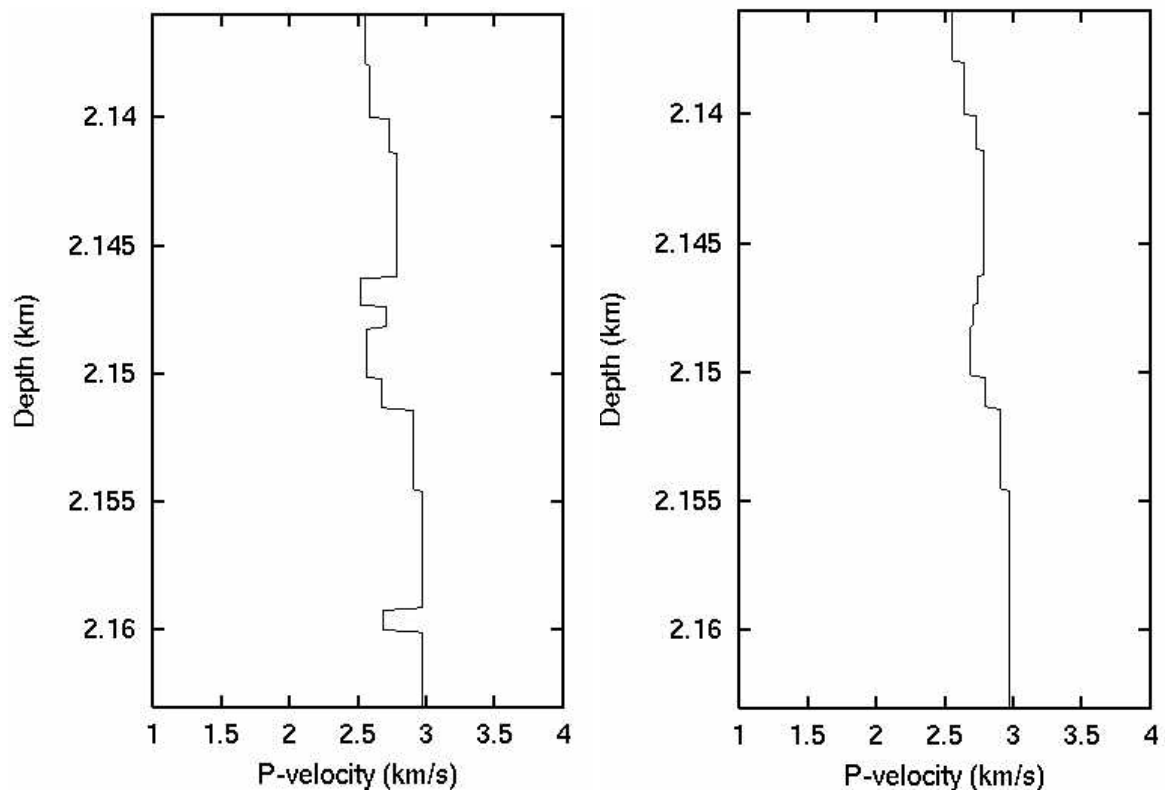
NMO-korrigert skuddsamling

Endring fra original til editert logg

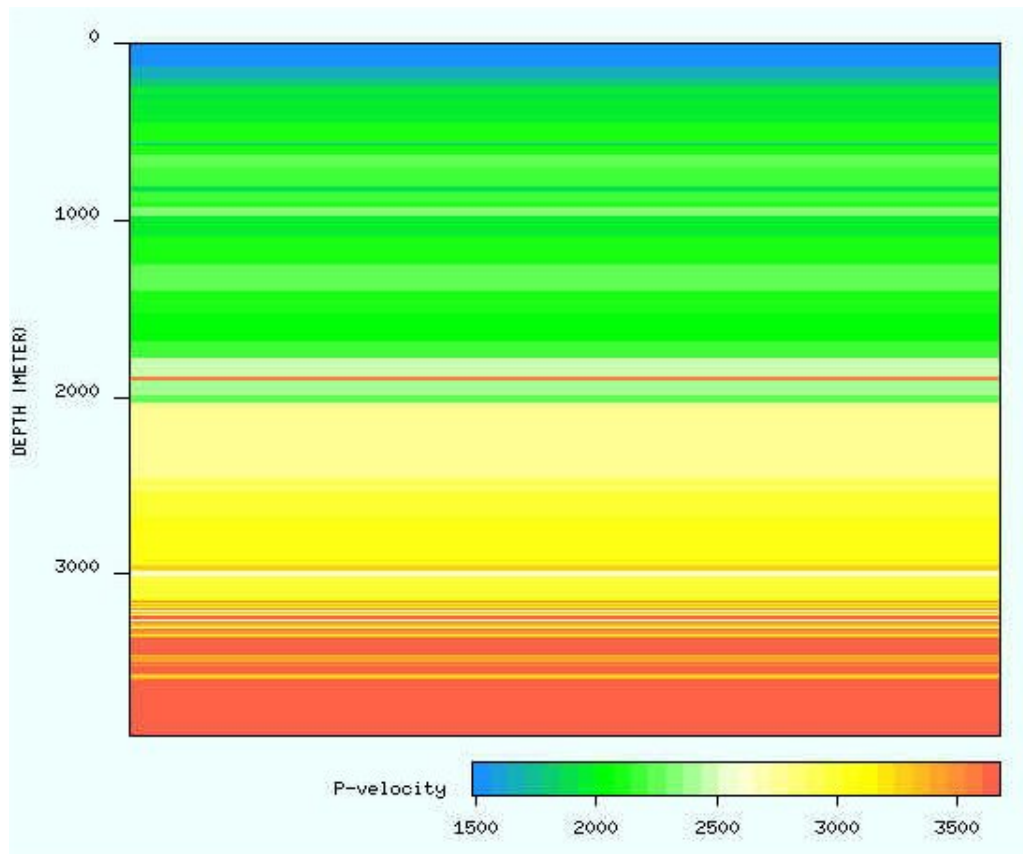
Tetthet (ρ) med og uten kull:



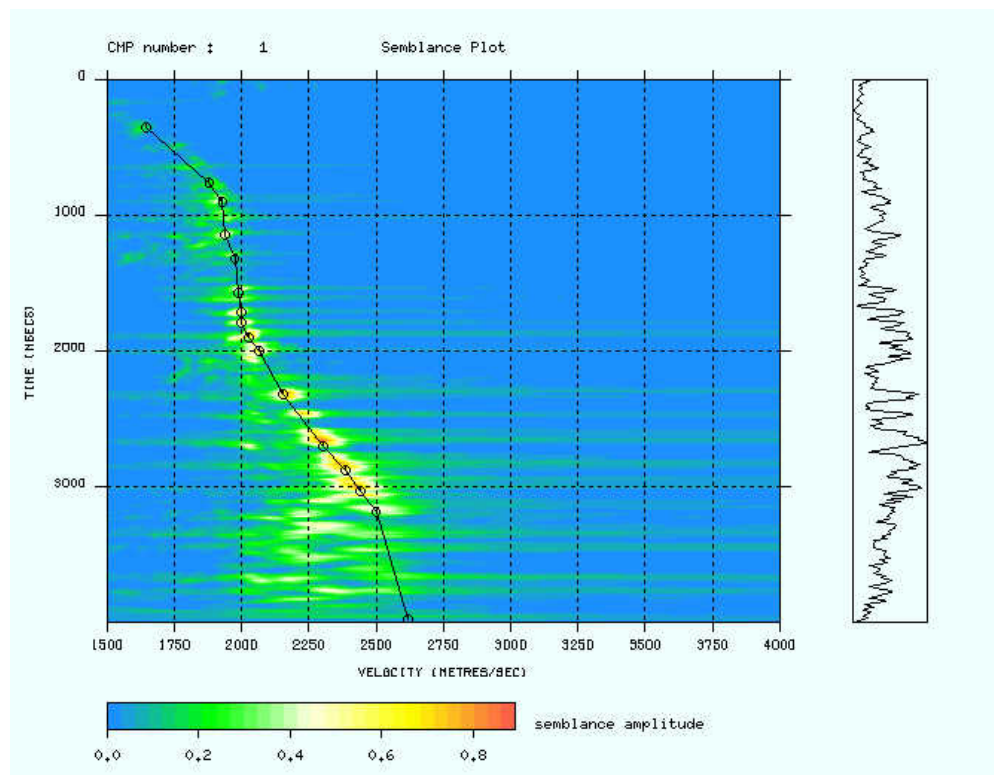
P-bølg hastighet (V_p) med og uten kull:



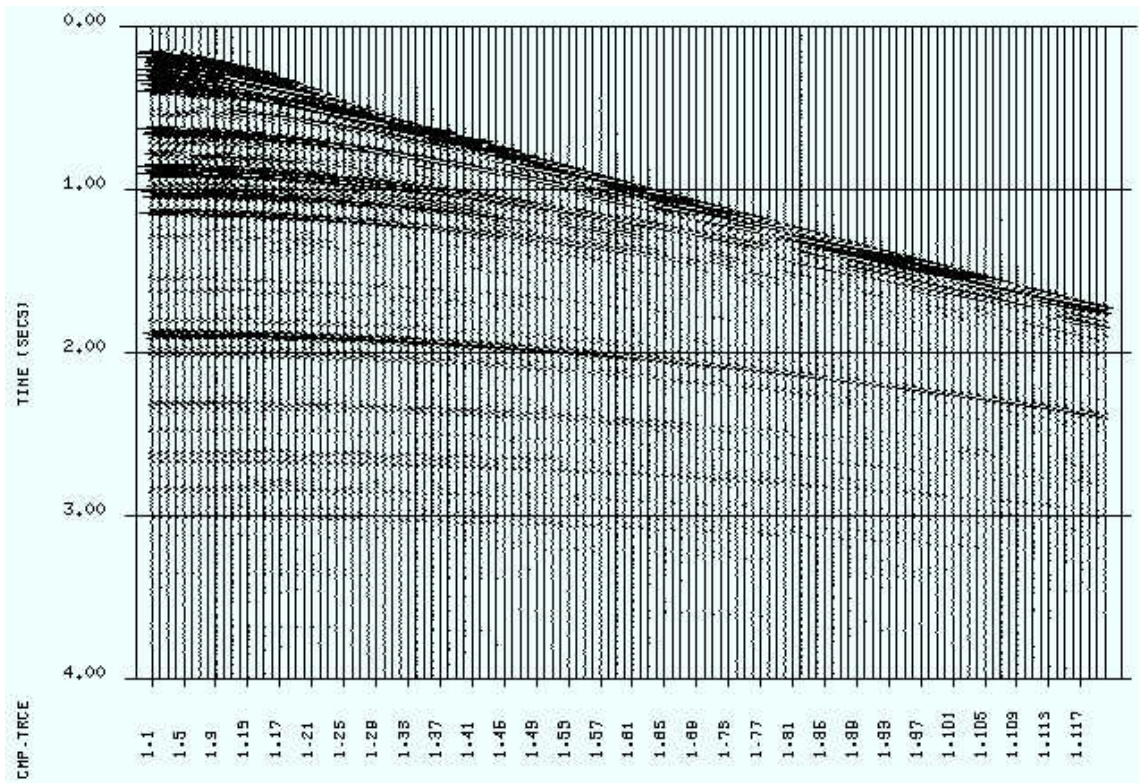
34/10-16



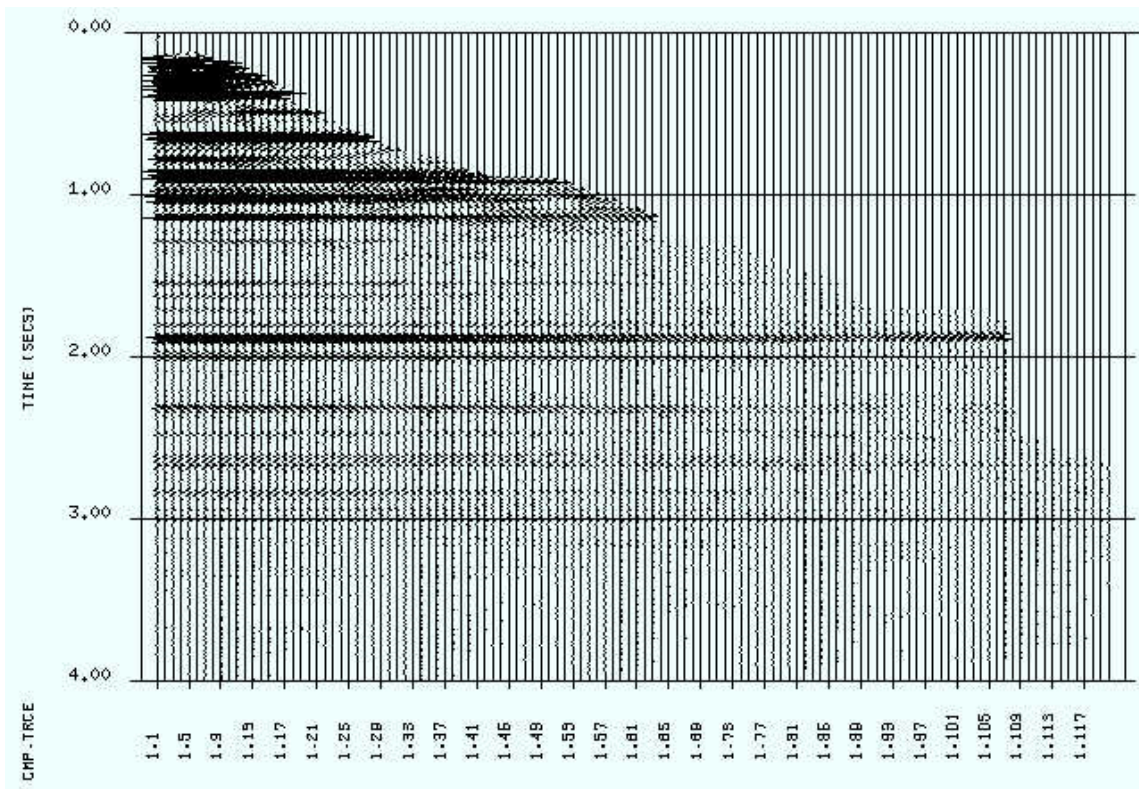
Laginndelt modell fremstilt ved P-bølgehastigheter



Hastighetspekter med plukk av stackinghastigheter



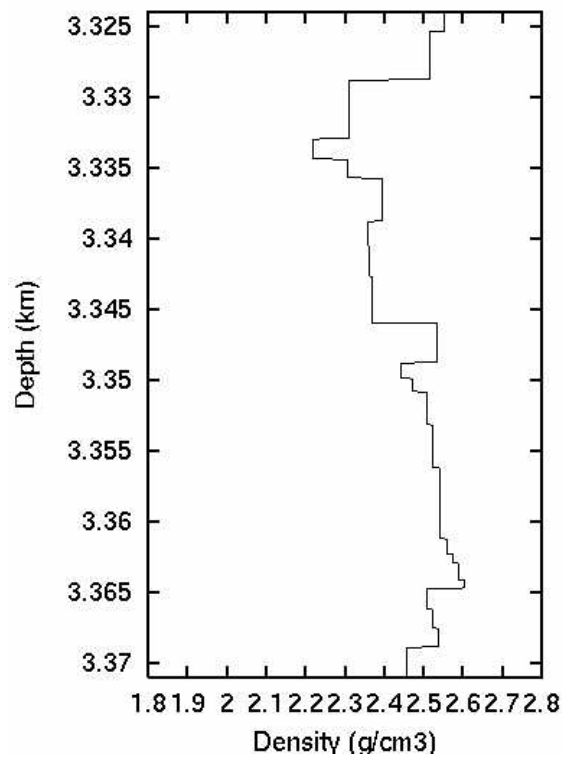
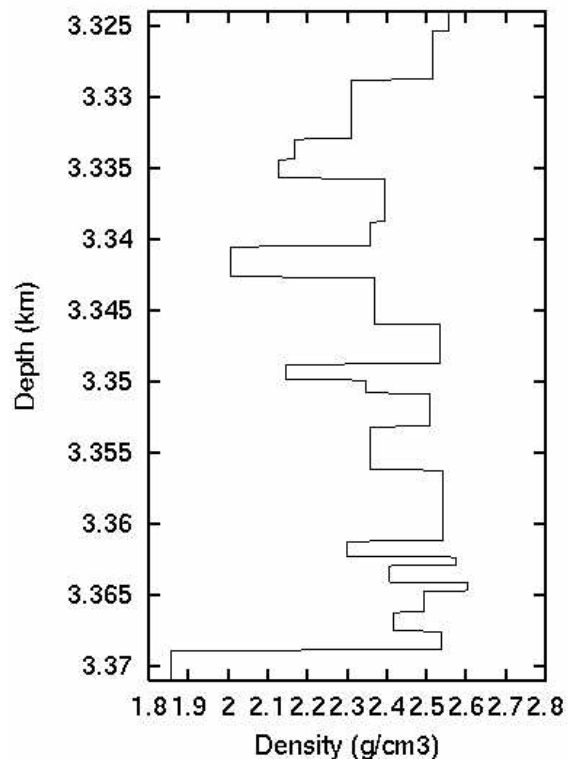
CMP-skuddsamling



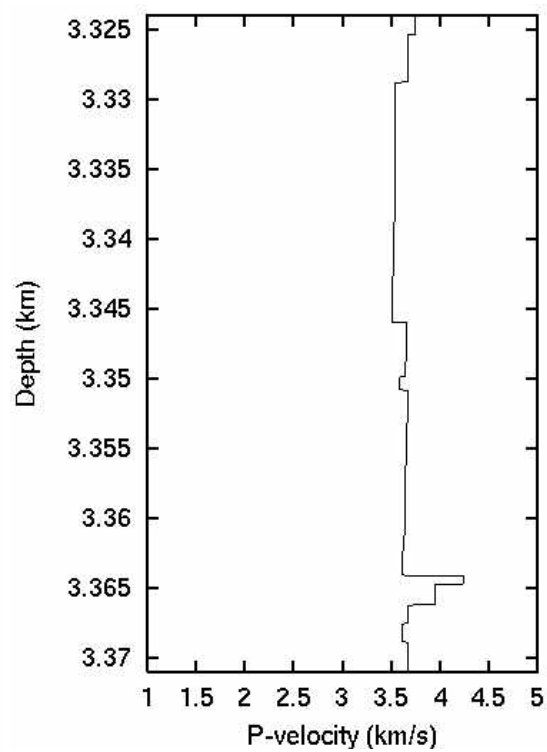
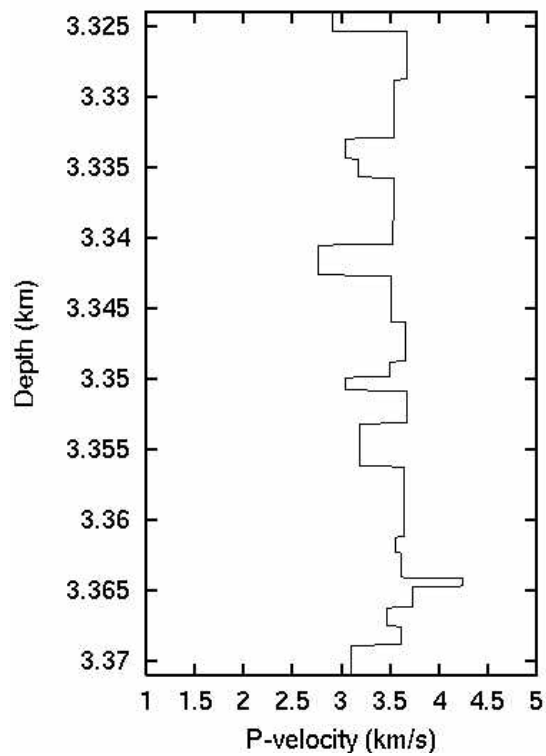
NMO-korrigert skuddsamling

Endring fra original til editert logg

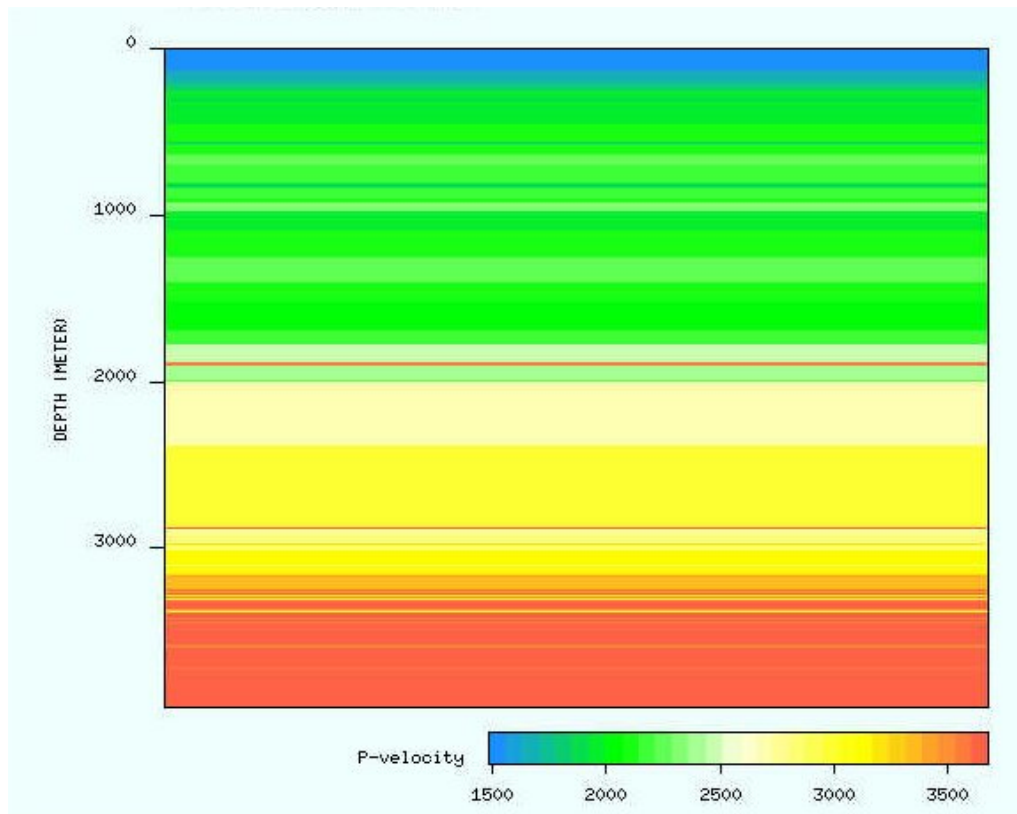
Tetthet (ρ) med og uten kull:



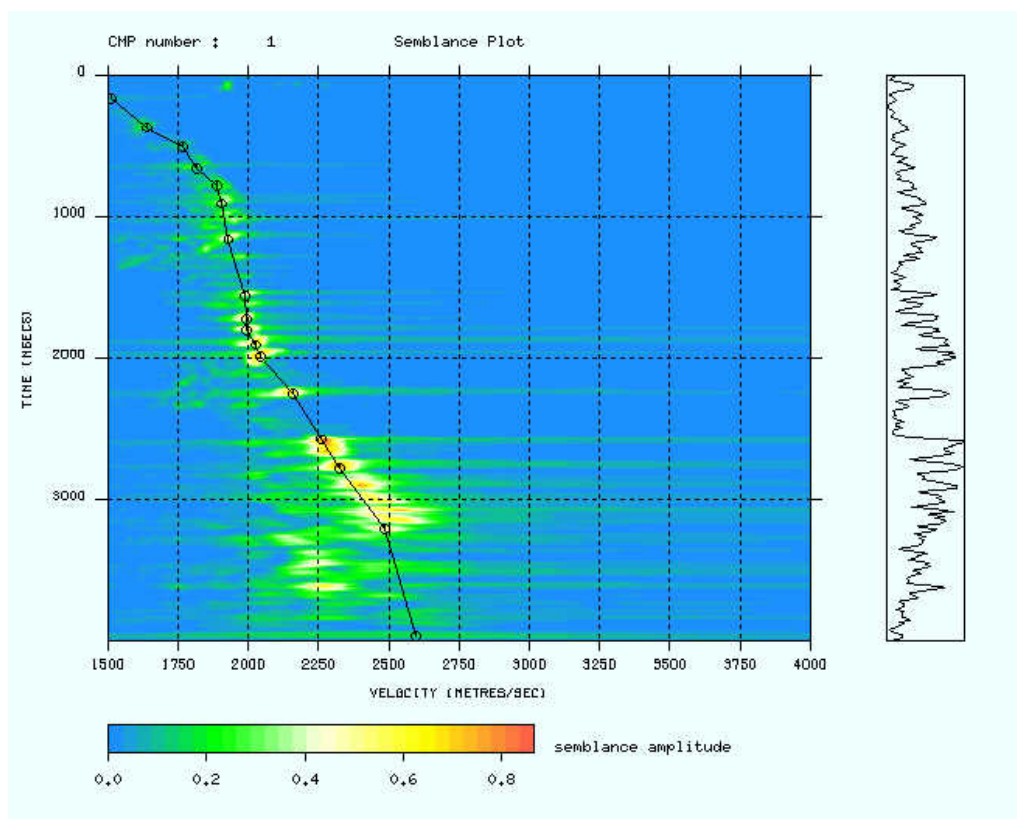
P-bølg hastighet (V_p) med og uten kull:



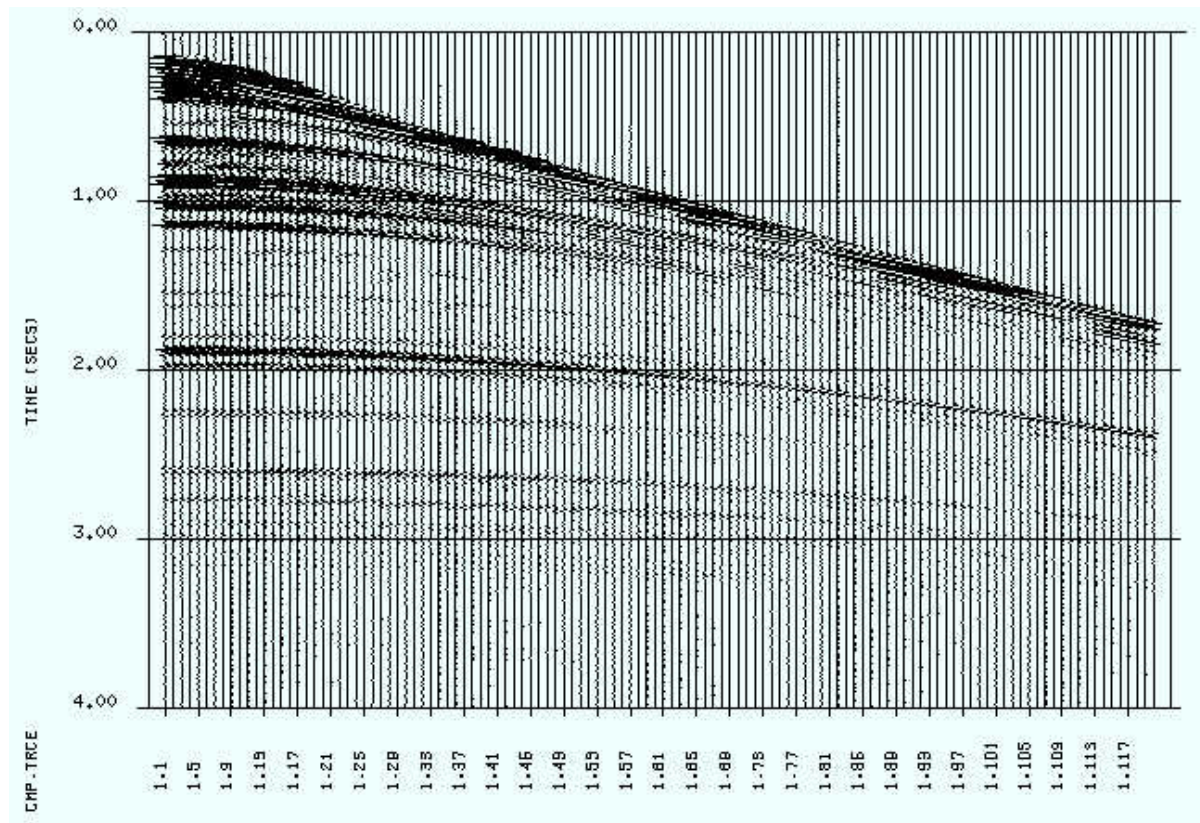
34/10-21



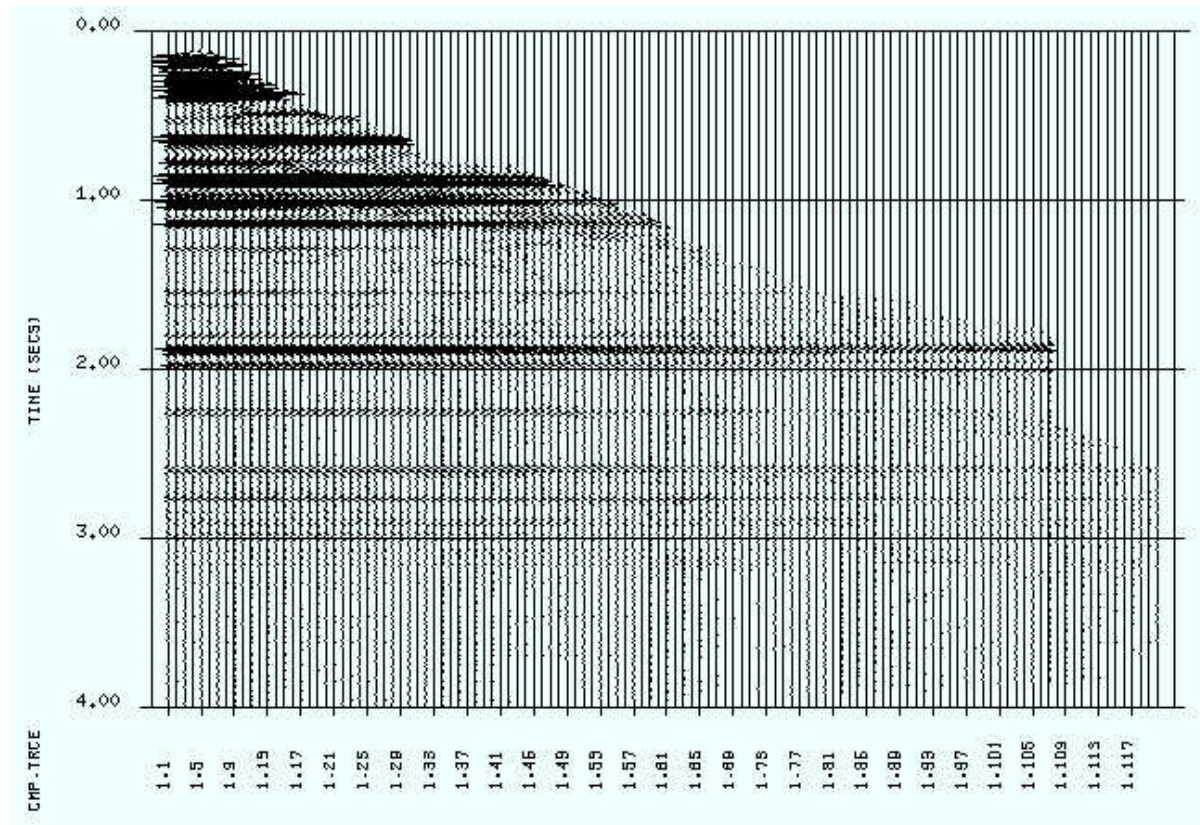
Laginndelt modell fremstilt ved P-bølghestigheter



Hastighetspekter med plukk av stackinghastigheter



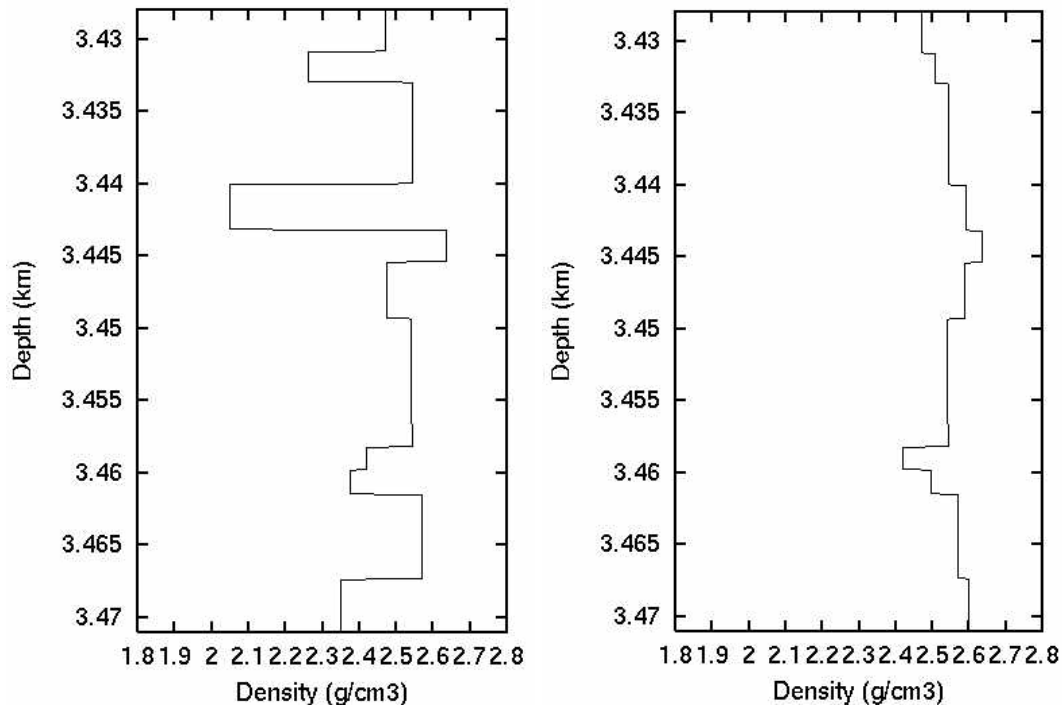
CMP-skuddsamling



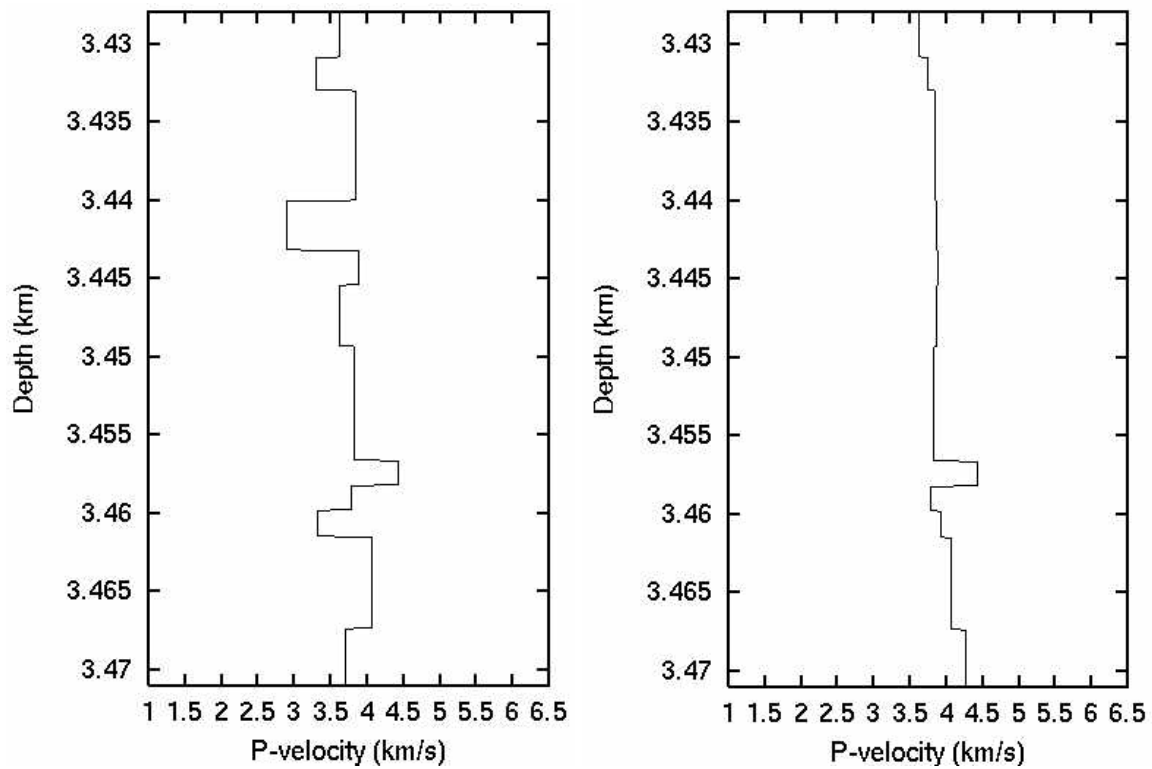
NMO-korrigert skuddsamling

Endring fra original til editert logg

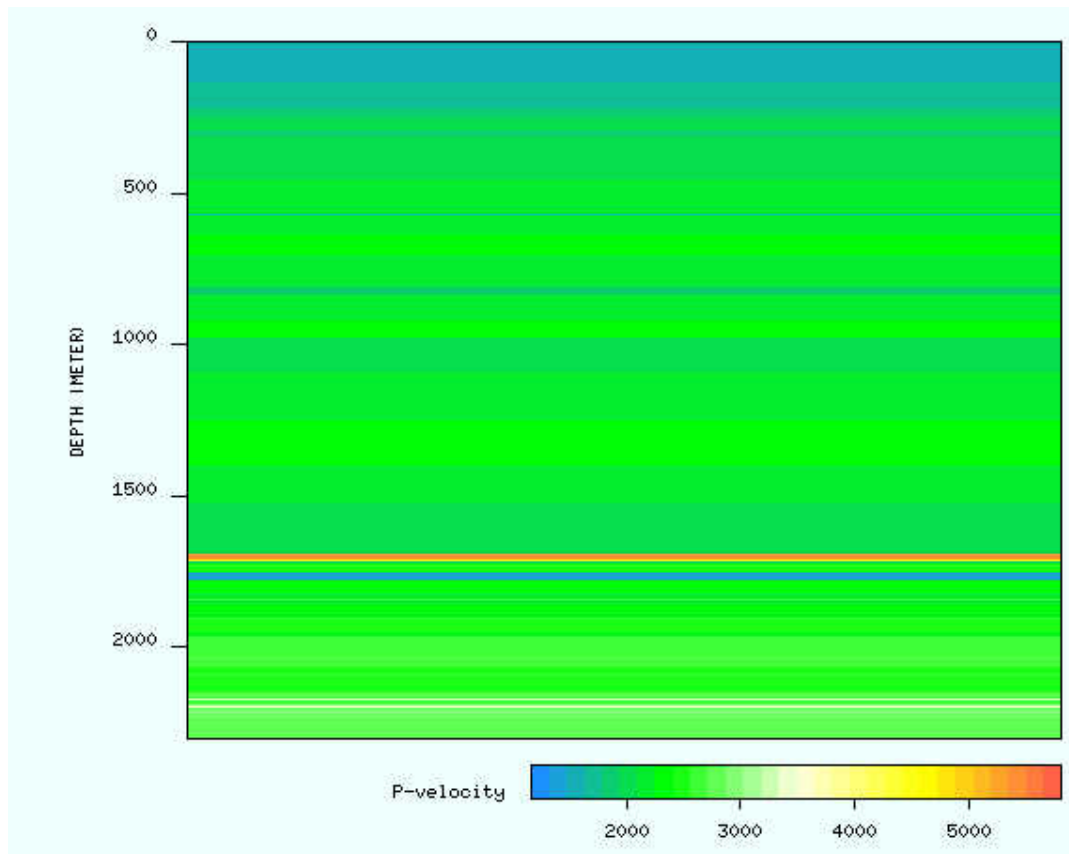
Tetthet (ρ) med og uten kull:



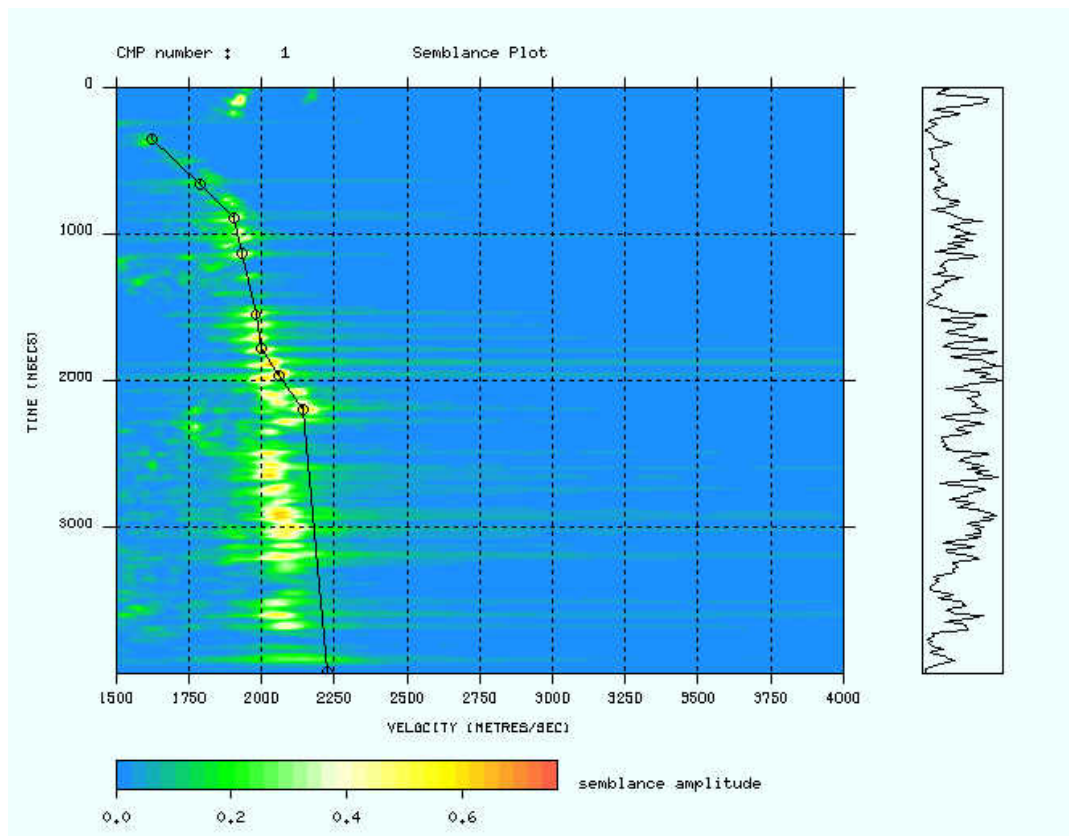
P-bølg hastighet (V_p) med og uten kull:



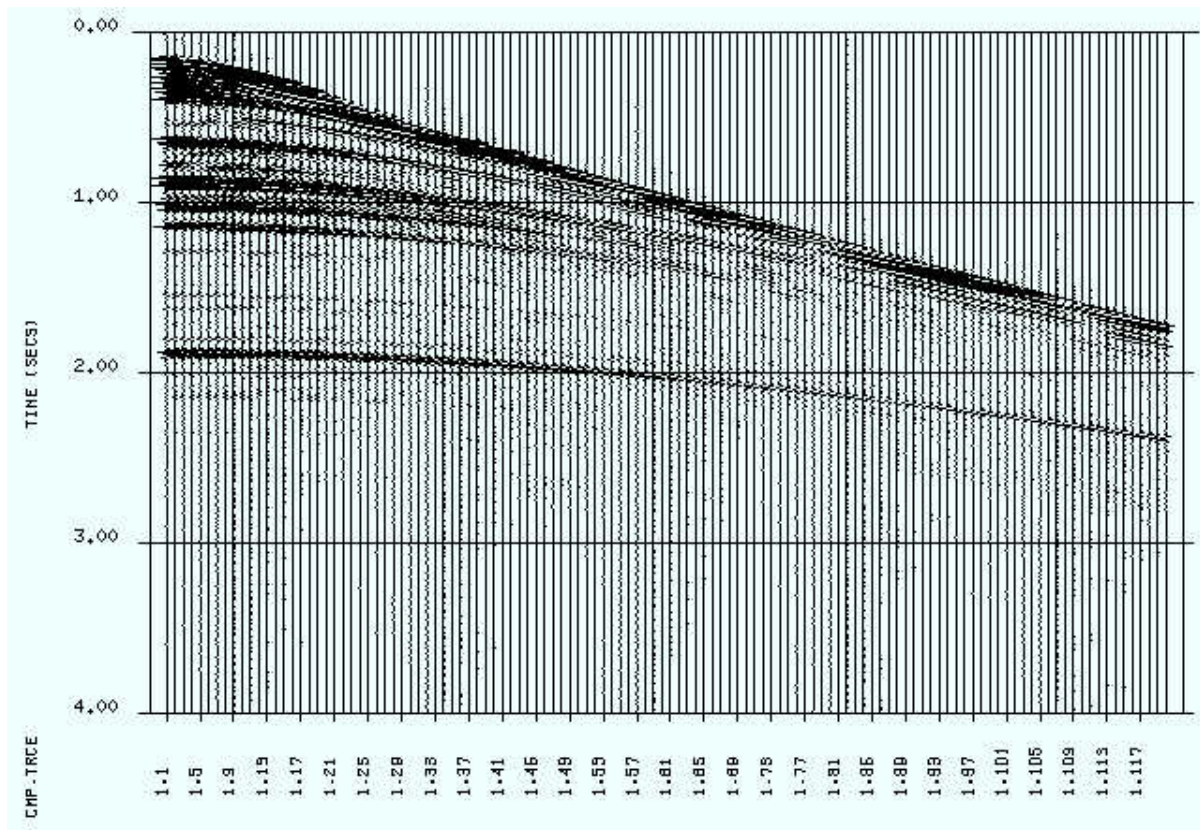
34/10 A-9 H



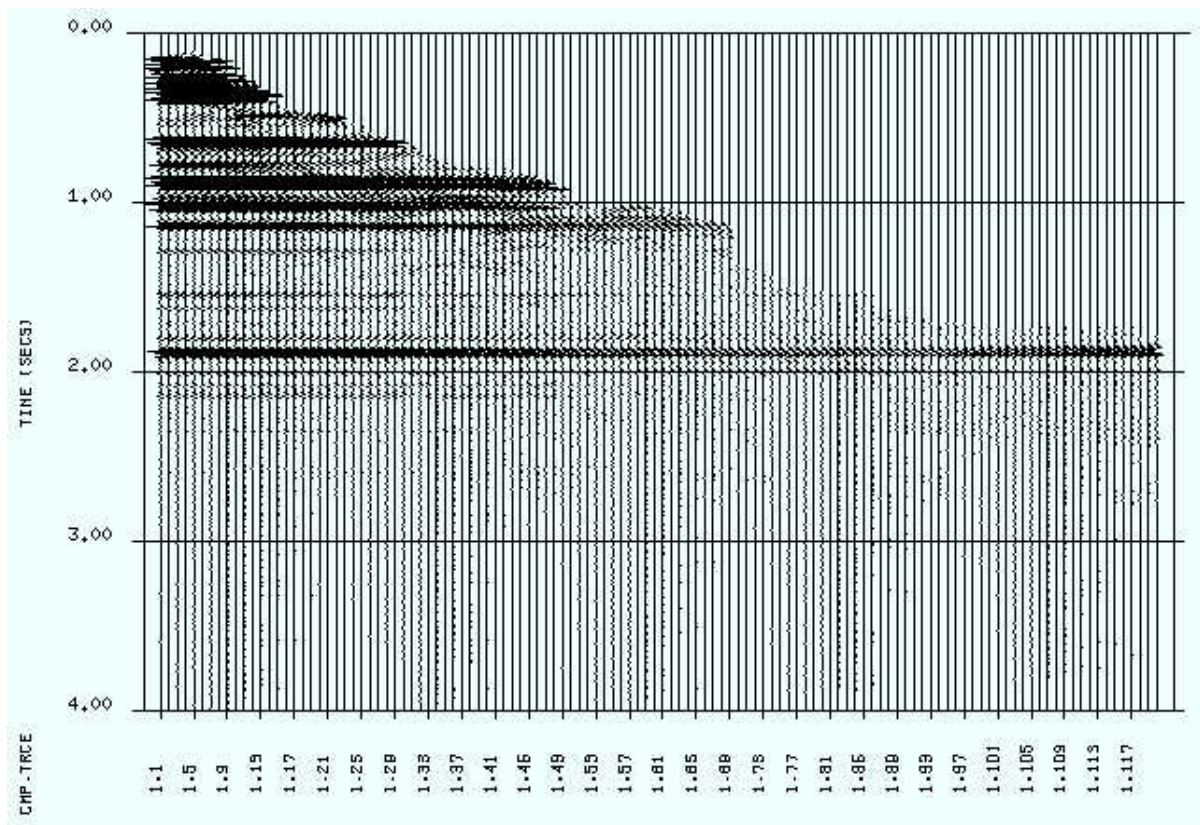
Laginndelt modell fremstilt ved P-bølge hastigheter



Hastighetspekter med plukk av stackinghastigheter



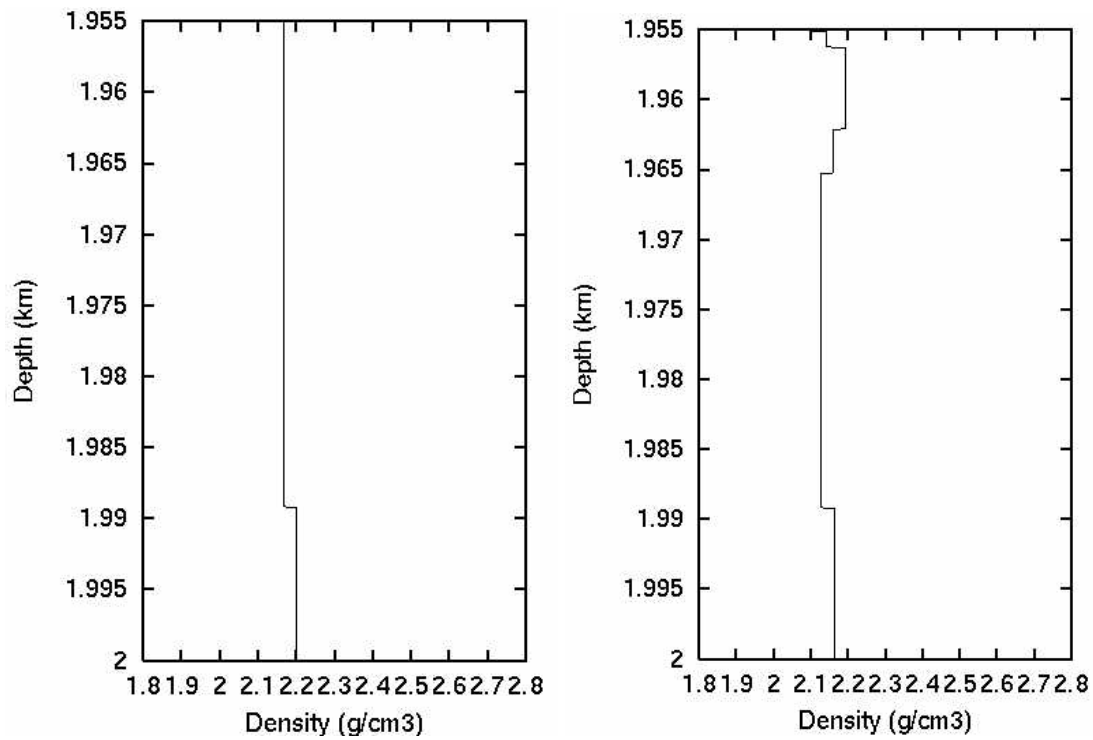
CMP-skuddsamling



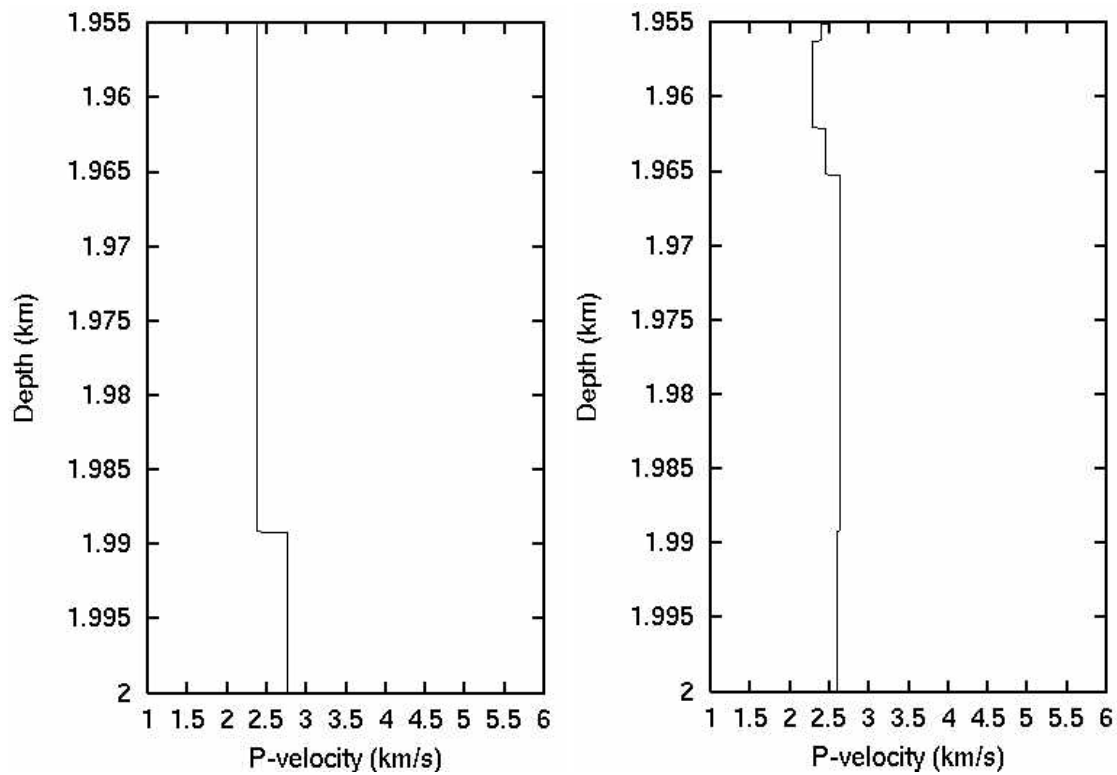
NMO-korrigert skuddsamling

Endring fra original til editert logg

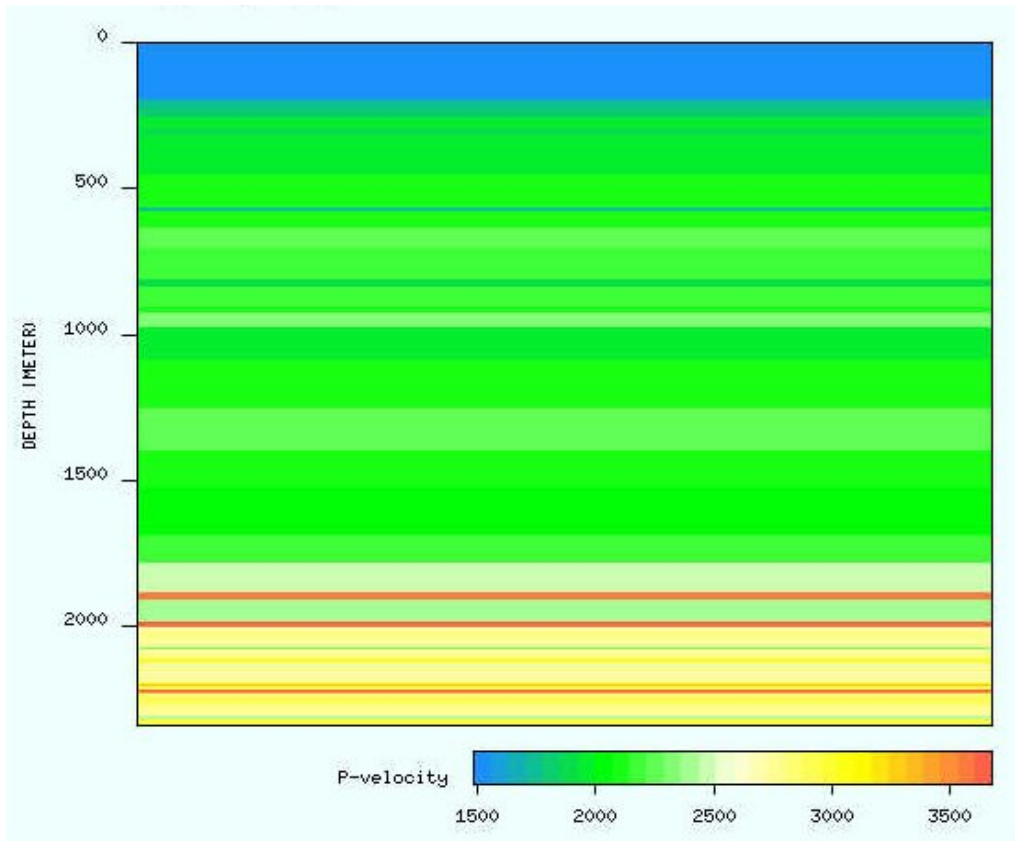
Tetthet (ρ) med og uten kull:



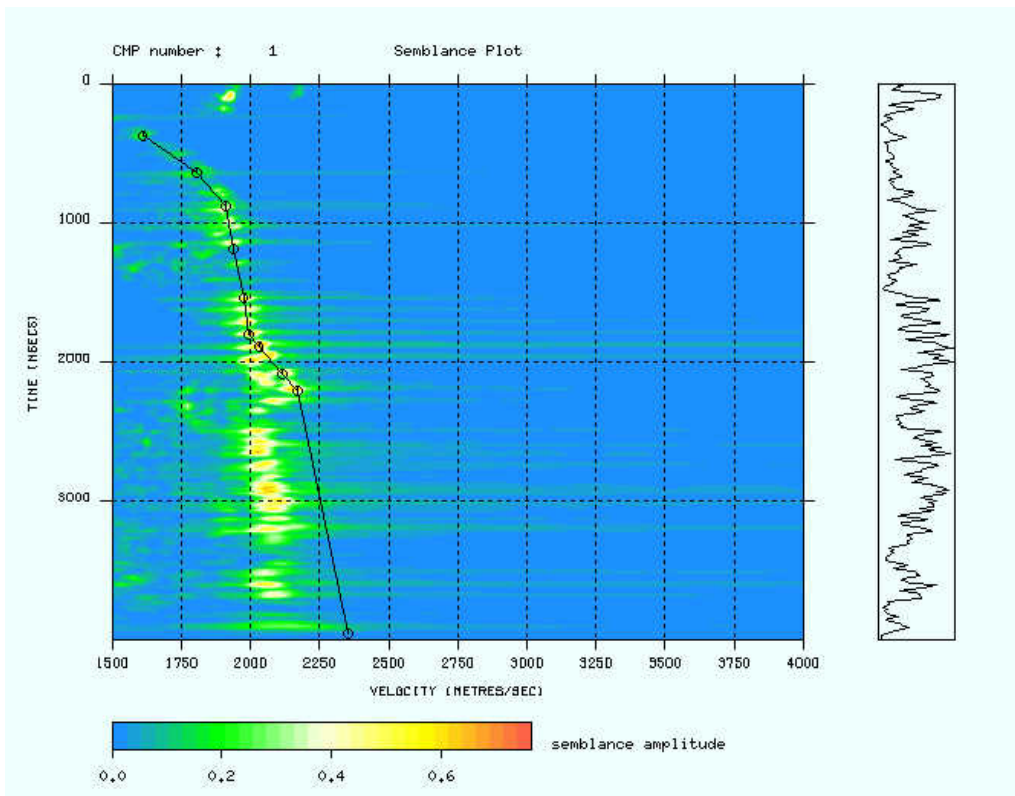
P-bølg hastighet (V_p) med og uten kull:



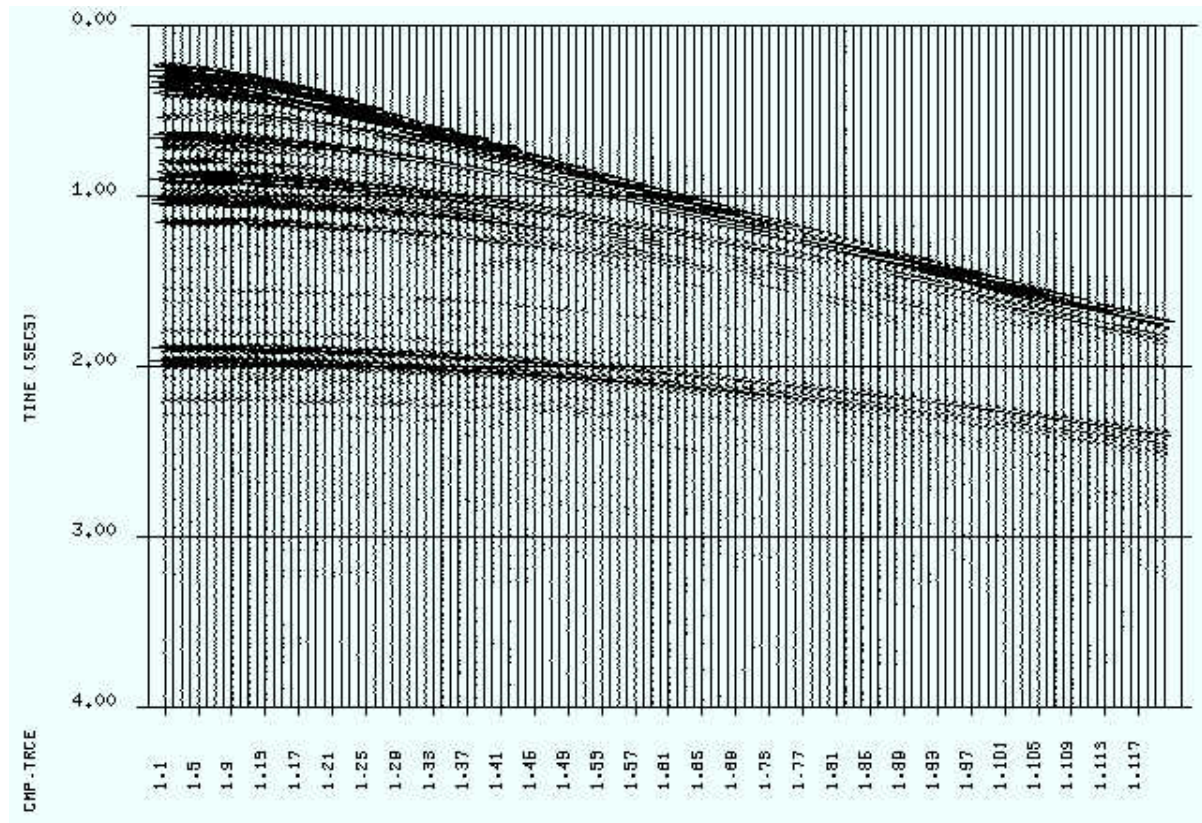
34/10 B-12



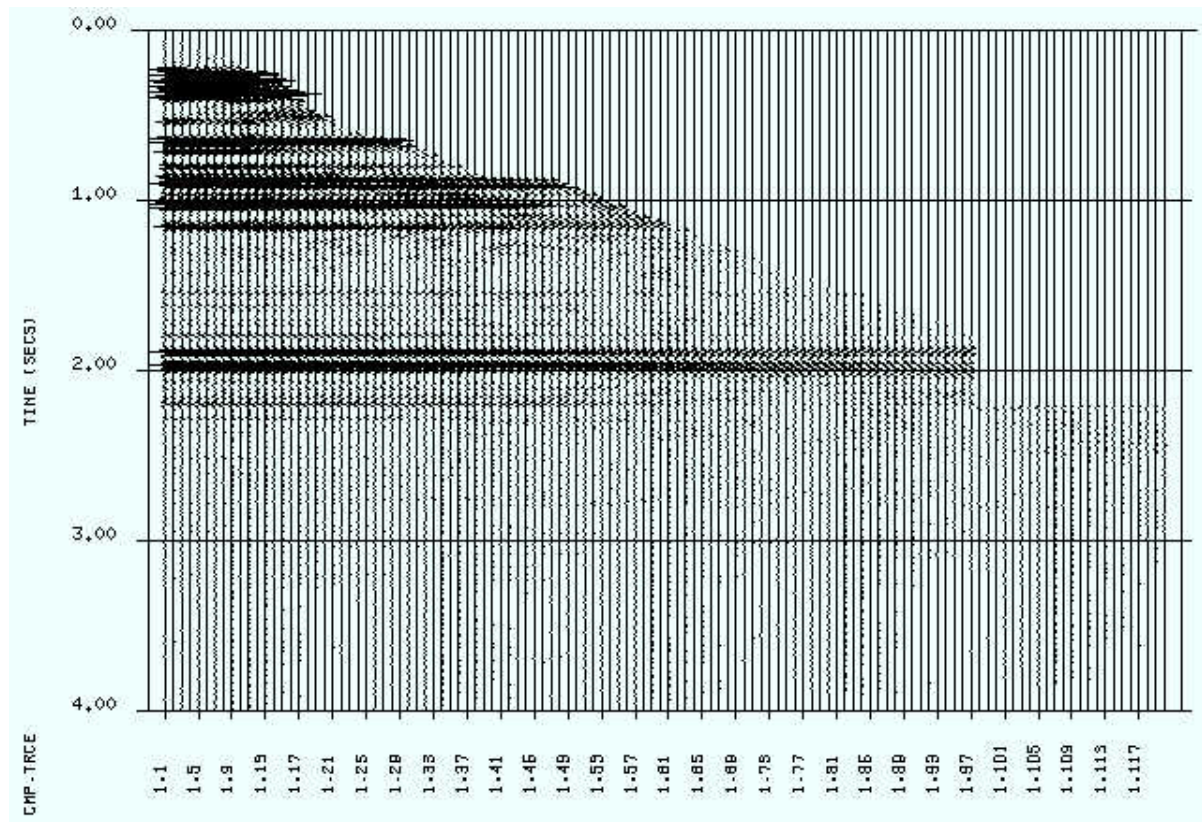
Laginndelt modell fremstilt ved P-bølgehastigheter



Hastighetsspekter med plukk av stackinghastigheter



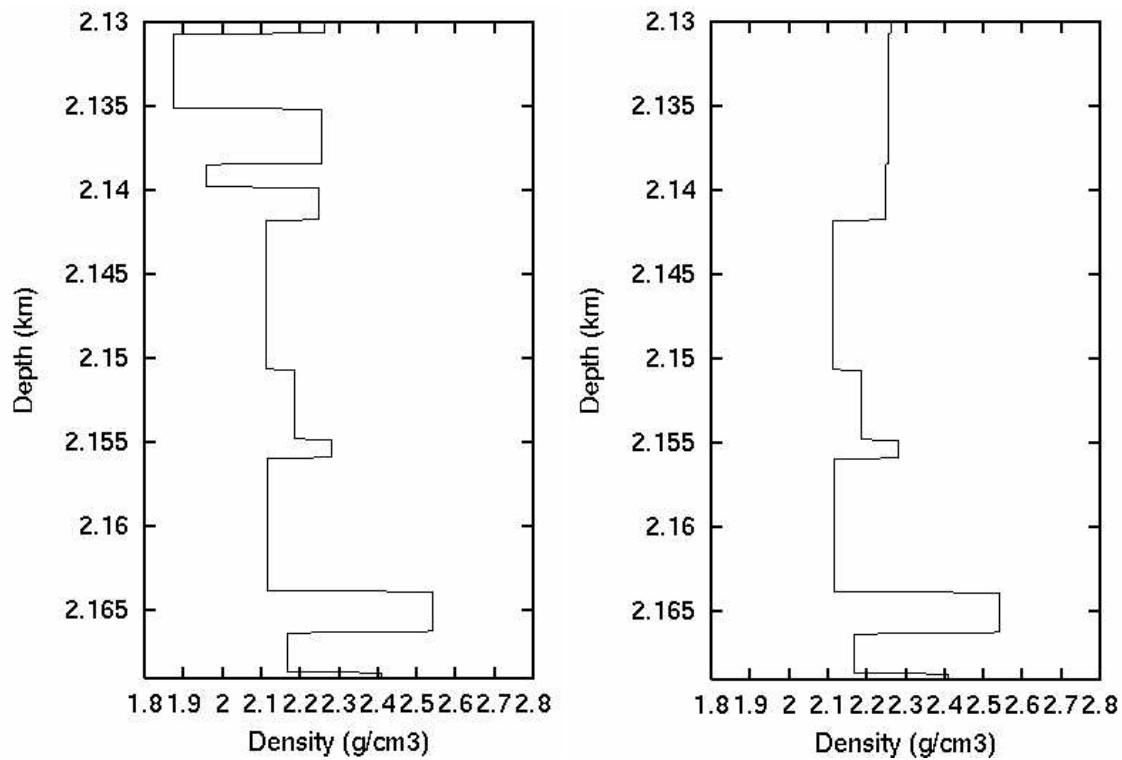
CMP-skuddsamling



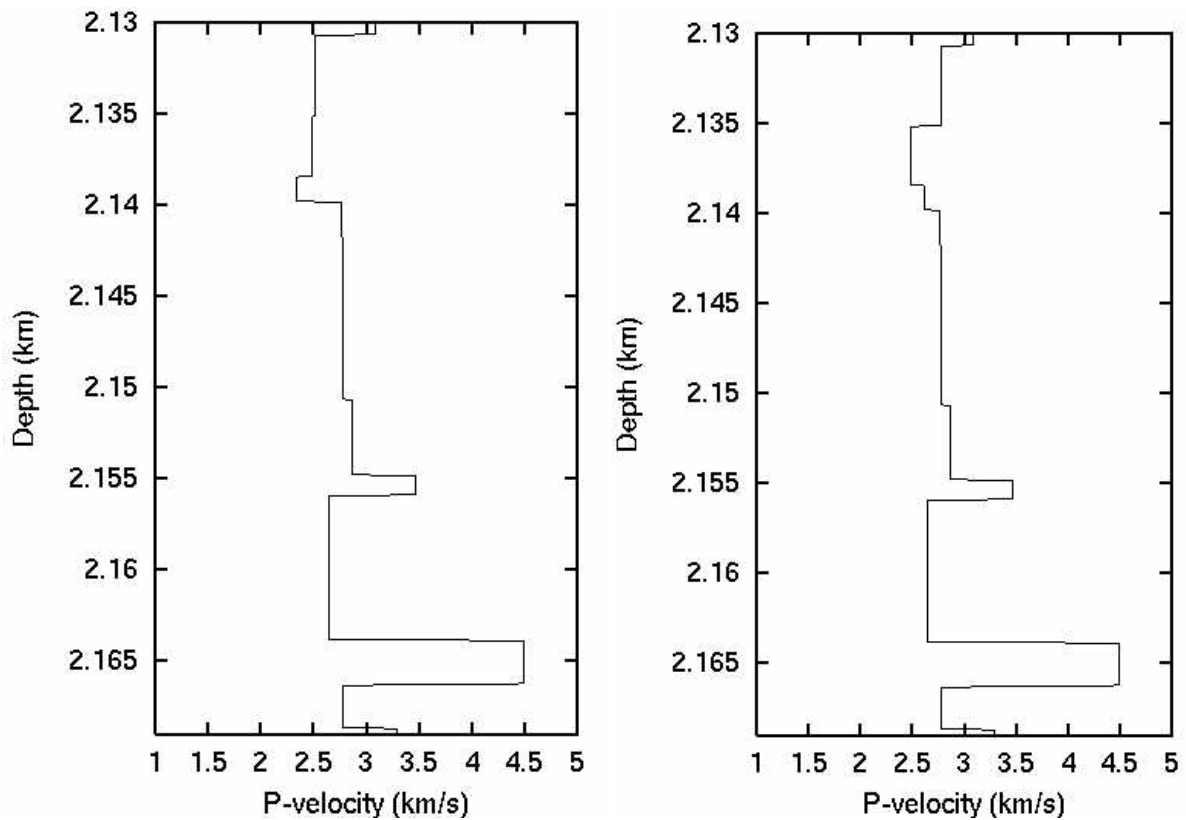
NMO-korrigert skuddsamling

Endring fra original til editert logg

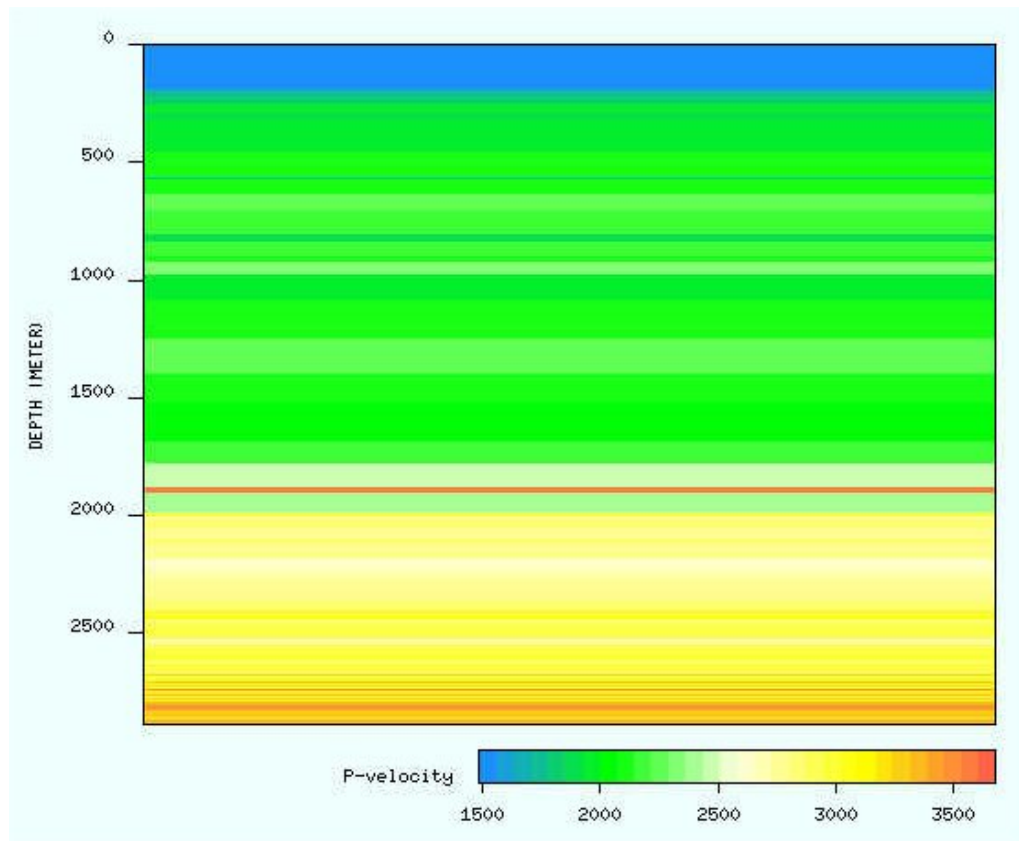
Tetthet (ρ) med og uten kull:



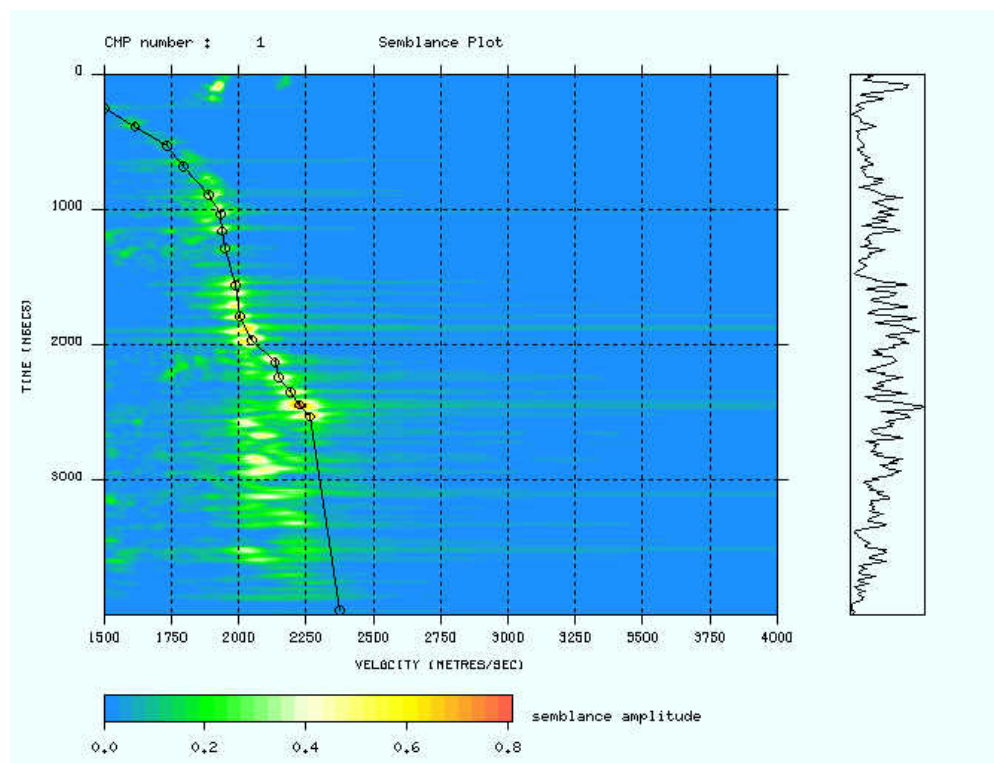
P-bølg hastighet (V_p) med og uten kull:



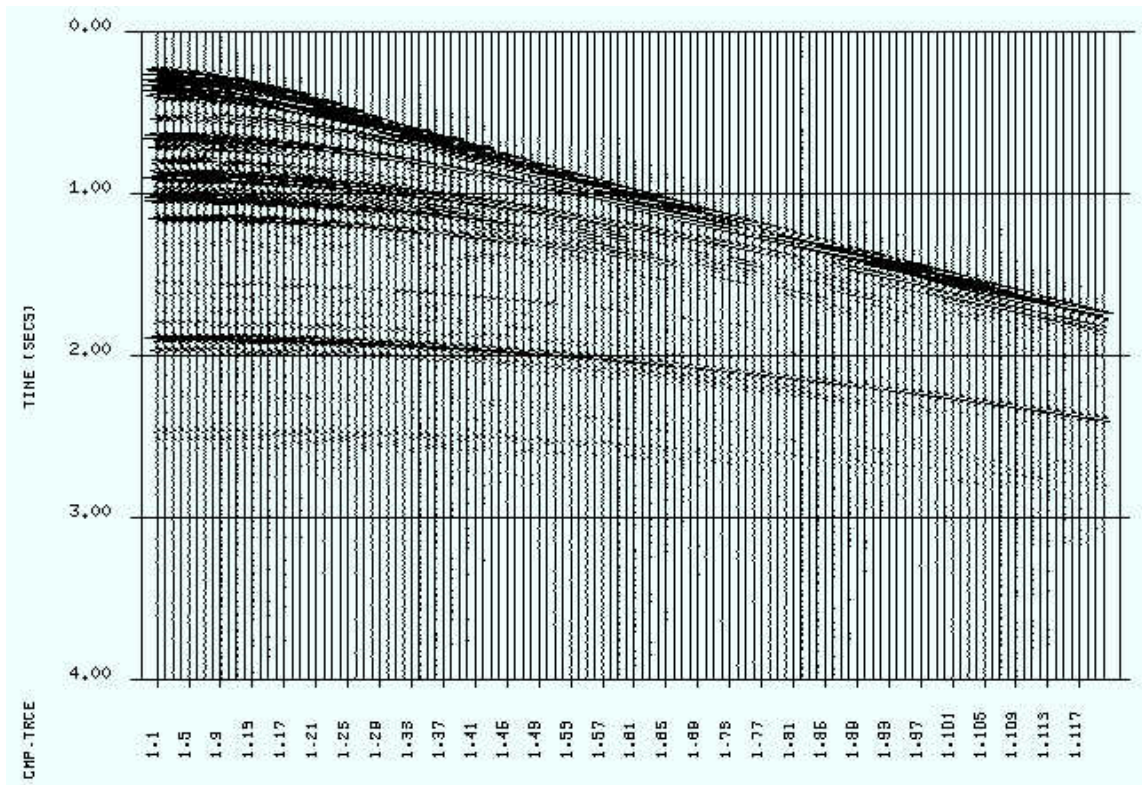
33/12-8 S



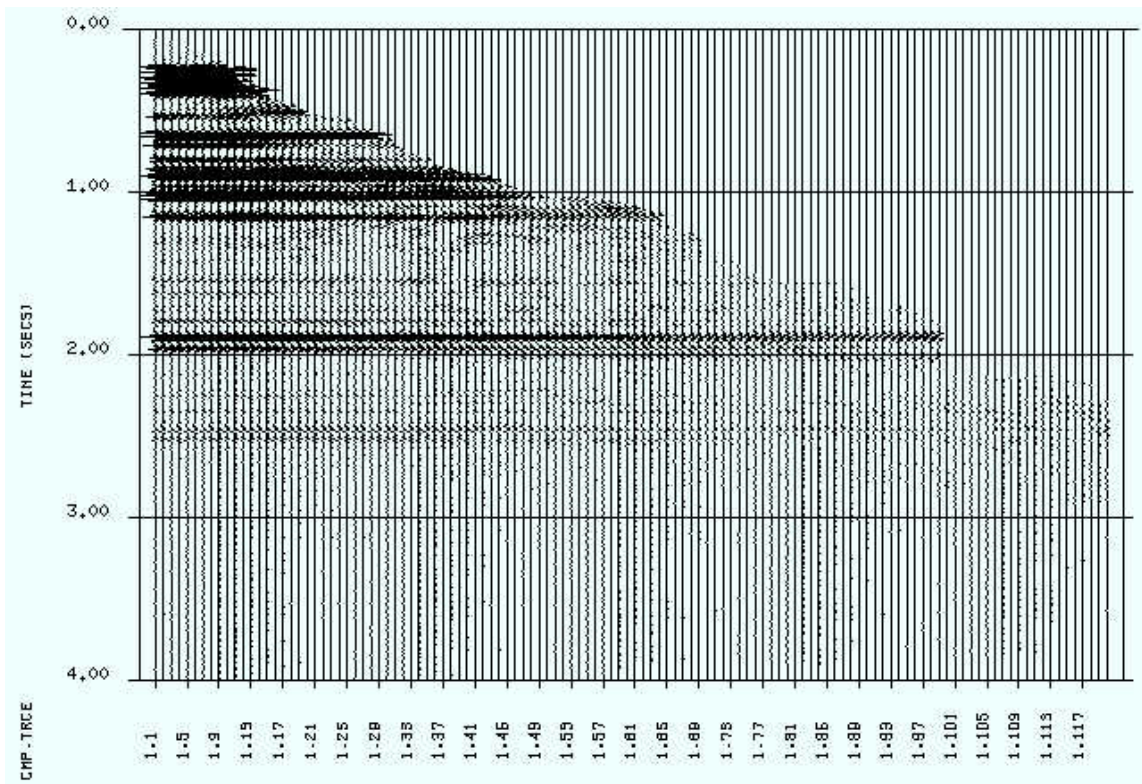
Laginndelt modell fremstilt ved P-bølgehastigheter



Hastighetspekter med plukk av stackinghastigheter



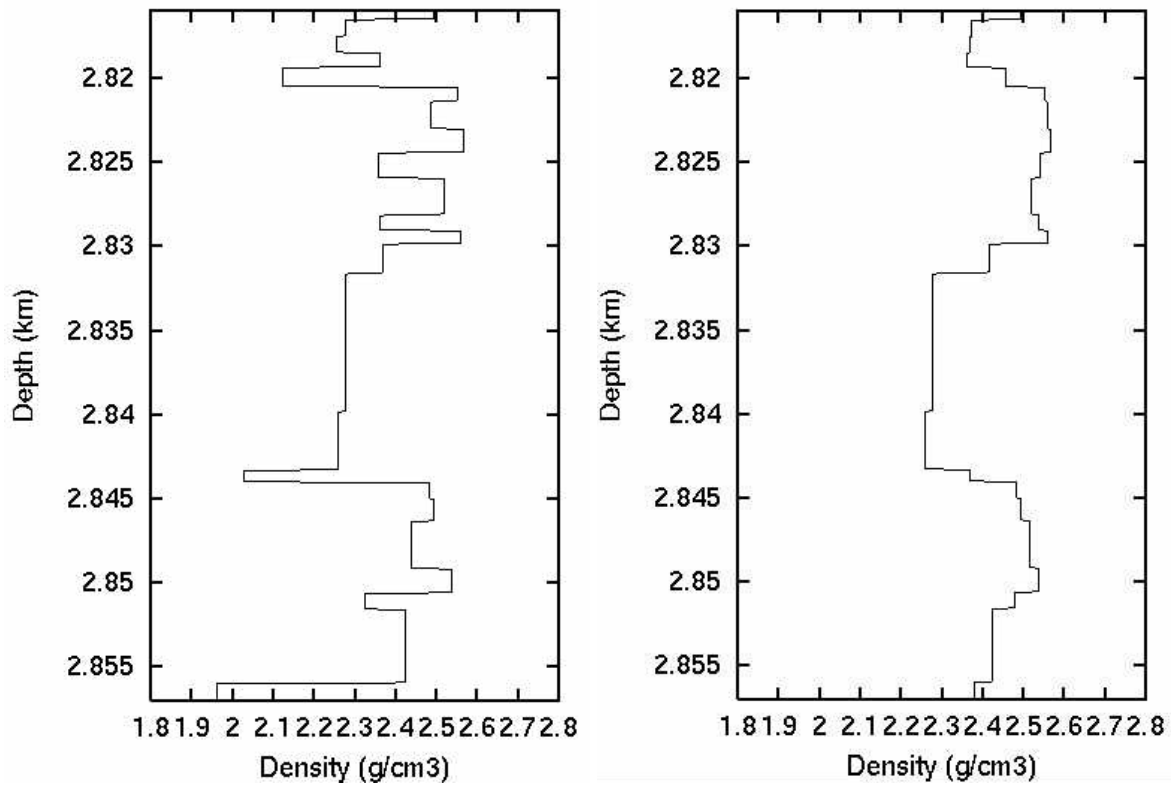
CMP-skuddsamling



NMO-korrigert skuddsamling

Endring fra original til editert logg

Tetthet (ρ) med og uten kull:



P-bølg hastighet (V_p) med og uten kull:

