INSTYTUT NAFTY I GAZU

PL 31- 503 Kraków, ul. Lubicz 25A

Telefon: (012) 421 00 33 Fax: (012) 421 00 50

ZAKŁAD GEOLOGII I GEOCHEMII

ODDZIAŁ WARSZAWA
PL 01-224 Warszawa
ul. Kasprzaka 25
Telefon: (022) 6321799
Fax: (022) 6326313

ODDZIAŁ KROSNO
PL 38-400 Krosno
ul. Armii Krajowej 3
Telefon: (013) 4368941
Fax: (013) 4367971

Nr arch.: DK-4100-263/08

Zlec. wew. INiG: 415/SG

Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO_2 wraz z programem ich monitorowania

Zadanie 1.1.18. Opracowanie programu monitoringu dla wytypowanych składowisk (struktura gazu ziemnego Łąkta)

Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

WYKONANO NA ZAMÓWIENIE MINISTRA ŚRODOWISKA ZA ŚRODKI FINANSOWE WYPŁACONE PRZEZ NARODOWY FUNDUSZ OCHRONY ŚRODOWISKA I GOSPODARKI WODNEJ

DYREKTOR INSTYTUTU

Kraków, 14 wrzesień 2012

ZLECENIODAWCA: Państwowy Instytut Geologiczny
ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa

NR ZLEC. WEW.: 415/SG

OKRES REALIZACJI: 02.07.2012 – 14.09.2012

KOORDYNATOR PROJEKTU

Doc. dr hab. inż. Jan Lubaś

KIEROWNIK ZESPOŁU:

prof. dr hab. inż.
Halina Jędrzejowska-Tyczkowska

KIEROWNIK ZAKŁADU:

dr inż. Grzegorz Leśniak

ZESPÓŁ AUTORSKI:

prof.dr hab. inż. Halina Jędrzejowska-Tyczkowska

WSPÓŁPRACA:

dr Krystyna Żukowska
st. techn. Irena Irlik

OPRACOWANIE ZAWIERA:

Stron	Rysunków	Fotografii	Wykresów	Tablic	Pozycji bibliograf.	Załączników

Przedmiot dokumentacji technicznej stanowi własność intelektualną Instytutu

Spis treści:

Wstęp ……..... 4

Rozdział I

Charakterystyka geologiczna obszaru badań ……..... 7

Rozdział II

Krótka charakterystyka sejsmicznych danych wejściowych ……. 12

Rozdział III

Określenie przestrzeni monitoringu na podstawie lokalizacji obiektów dla których wykonano prognozowanie procesu sekwestracji ……..... 16

Rozdział IV

Ocena zdolności metody sejsmicznej (pola falowego) do monitorowania procesu zatłaczania i przepływu CO2 na obiekcie złoża gazu Łąkta ……... 49

Podsumowanie 52

Literatura 52

WSTĘP

Prezentowana dokumentacja to kolejna praca związana z rozpoznaniem zagadnienia o tytule „Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO2 wraz z programem ich monitorowania”.

Pierwsza, realizowana w roku 2010, o szeroko rozbudowanej bazie teoretycznej, w której część obliczeniowo-praktyczną zlokalizowano w rejonie obiektu Bełchatów, wprowadzała czytelnika w zagadnienia podstawowe, ze szczególnym uwzględnieniem roli monitoringu sejsmicznego.

Druga, realizowana w obrębie struktury Nosówka, pokazywała praktyczne aspekty monitoringu, wykorzystując rzeczywiste dane sejsmiczne zarejestrowane w tym rejonie w roku 1995 przez Geofizykę Kraków.

W obydwu dokumentacjach przedstawiono konkretne plany techniczne „monitoringu”, łącznie z oszacowaniem ewentualnych kosztów danego zabiegu.

W obydwu przypadkach zwrócono uwagę na ogromną wagę jakości materiałów sejsmicznych i geofizycznych, pozyskanych w rejonie proponowanym jako przyszłe składowisko CO2.

Kolejny eksperyment, niestety również o charakterze wirtualnym, zlokalizowano w rejonie strefy nasuwczej Łąkty, a konkretnie w strukturze gazu ziemnego Łąkta. Wybór niniejszej struktury to konsekwencja ustaleń w ramach wcześniejszej pracy, realizowanej przez Zakład Symulacji Złóż Węglowodorów i Podziemnych Magazynów Gazu (zlec. wewn. INiG 375/KZ). Tytuł Zadania to: „Modelowanie dynamiczne procesów zatłaczania CO2 do składowiska”. Odnosi się ono do struktury złoża gazu ziemnego Łąkta, wybranej uprzednio przez Radę Programową Konsorcjum realizującego Zamówienia Ministerstwa Środowiska jako potencjalne składowisko w strukturach naftowych.

W ramach powyższej pracy dokonano implementacji statycznego (geologicznego) modelu struktury złoża gazu ziemnego i konstrukcji pełnoskalowego (o wymiarach ok. 18.9 km × 41.3 km), trójwymiarowego modelu złożowego tej struktury (w utworach malmu i cenomanu). Wykorzystano model geologiczny skonstruowany i skalibrowany w pracy. Model geologiczny struktury uzupełniono o elementy niezbędne do przeprowadzenia wielowariantowych i długoczasowych symulacji eksploatacji złoża, z równoczesną sekwestracją

dwutlenku węgla tj. własności transportowe w układzie skała-płyny złożowe, termodynamiczne własności płynów złożowych i ich wzajemne oddziaływanie.

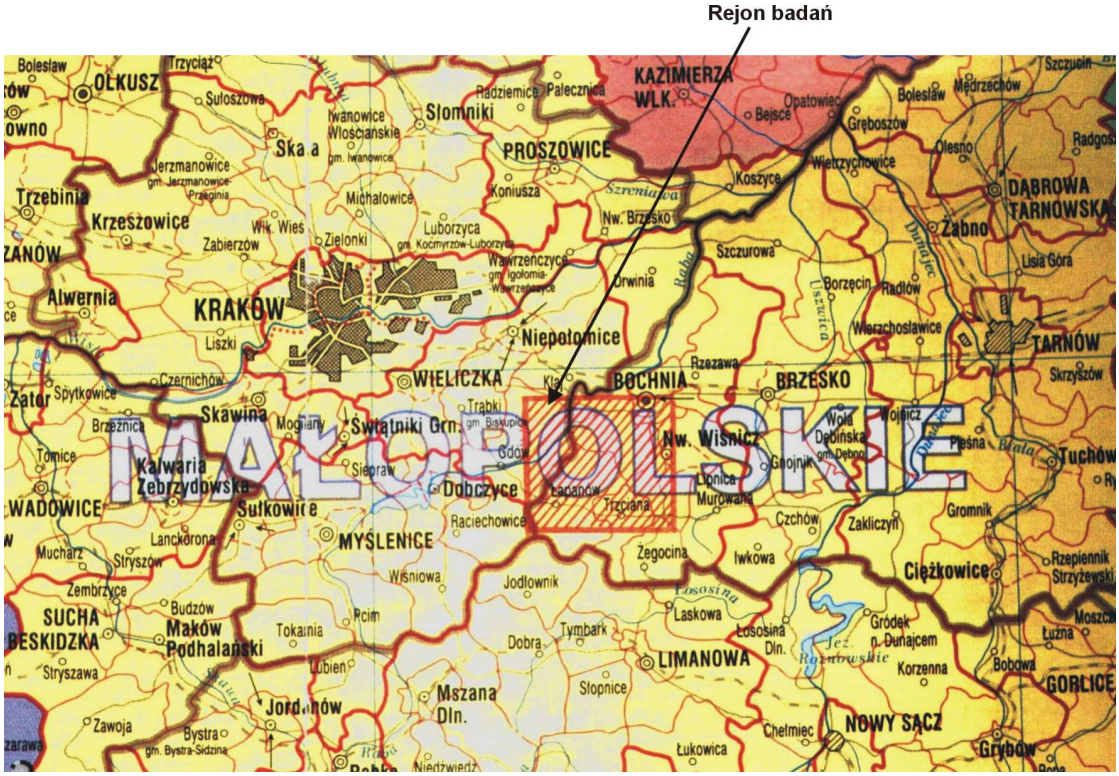
Celem pracy było zweryfikowanie możliwości wykorzystania struktury dla potrzeb sekwestracji dwutlenku węgla.

W pracy przedstawiono prognozy sekwestracji CO2 dla 4 scenariuszy różniących się systemem odwiertów zatłaczających oraz kryteriami limitującymi proces sekwestracji. We wszystkich przypadkach symulowano również zachowanie się płynów złożowych w okresie relaksacji tj. 1000 lat po zakończeniu zatłaczania.

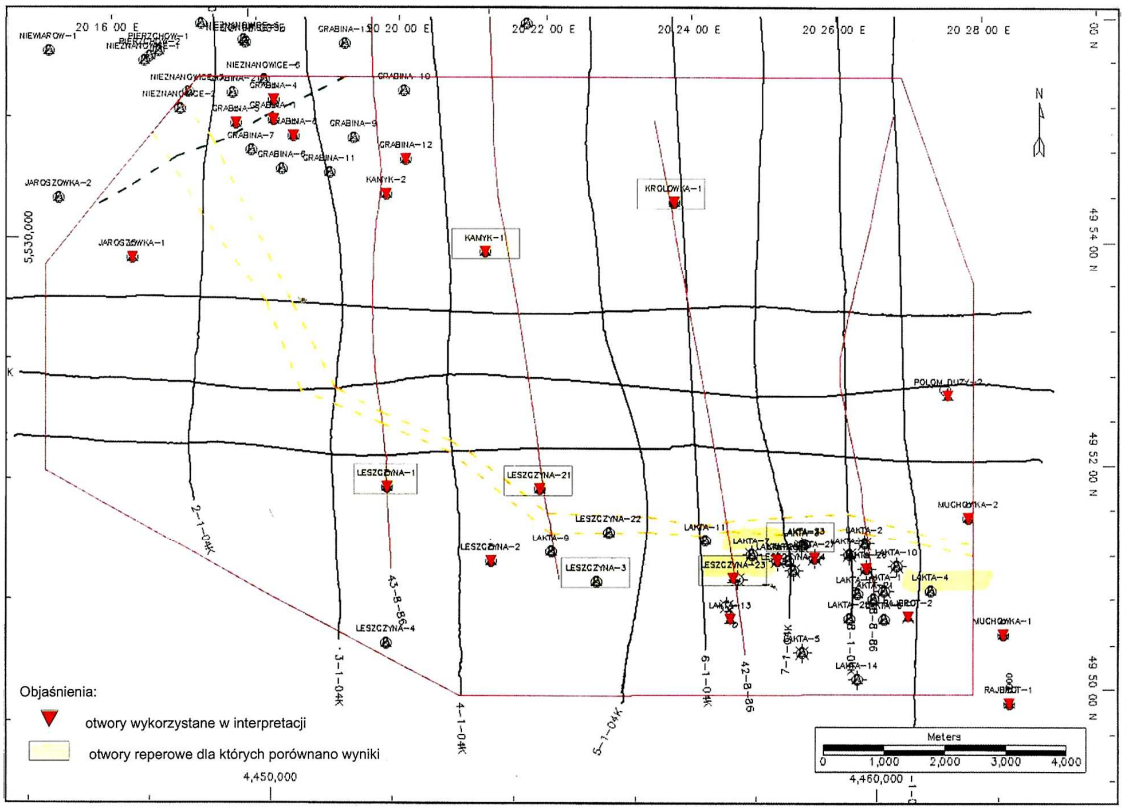
W pracy przedstawiono również analizę wpływu zatłaczania CO2 do struktury złoża na wielkość wydobycia gazu. Jednak podstawowym kryterium efektywności procesu była maksymalizacja pojemności sekwestracyjnej rozpatrywanej struktury. W pracy wykorzystano narzędzia programistyczne do modelowania i symulacji z pakietów Petrel i Eclipse 300 firmy GeoQuest Schlumberger.

Wykorzystane w niniejszym opracowaniu dane sejsmiczne zarejestrowane były przez geofizykę Kraków w latach 2000-2001 [ ], a następnie w latach 2003-2004 poddane zostały szczegółowej analizie i reprocessingowi w ramach pracy zleconej INiG („*Nowe odwzorowanie strefy nasuwczej Łąkty na podstawie alternatywnych modeli prędkościowych w nawiązaniu do aktualnych wyników prac sejsmicznych w rejonie Kamyk–Niepołomice*” – kierownik zadania prof. dr hab. inż. Halina Jędrzejowska-Tyczkowska). Uzyskane tam rezultaty, a szczególnie modele prędkości, istotnie ułatwiły wykonanie programu monitorowania.

Lokalizację rejonu badań oraz szkic profili sejsmicznych pokazano na rys. 1 i 2.
Rozwiązanie problemu prędkości dla stropu i spągu jury przedstawiono na rys. 3 i dalszych.



Rysunek 1. Lokalizacja rejonu badań
(*wg. opracowania Geofizyki Kraków Sp. Z o.o.*)



Rysunek 2. Szkic sytuacyjny profili i otworów wykorzystanych w interpretacji w rejonie KAMYK

Rozdział I

Charakterystyka geologiczna obszaru badań

(*wg opracowania Geofizyka Kraków*)

Obszar prac objęty analizą znajduje się **w** środkowej części Karpat pomiędzy Łapanowem a Nowym Wiśniczem, a odnosząc się do wgłębnej budowy, w strefie krawędziowej bloków: górnośląskiego i małopolskiego. Jest to obszar o bardzo skomplikowanej budowie geologicznej, zaangażowany w tektonikę plikatywną i dysjunktywną. Jest to też obszar interesujący poszukiwawczo zarówno w utworach piętra paleo-mezozoicznego, jak i mioceńskiego, a także fliszowego.

Północno-zachodnia część obszaru ma dość gęstą siatkę profili, lecz otwory, choć gęsto usytuowane, penetrują głównie utwory miocenu. Pozwoliło to bardziej szczegółowo poznać tu budowę geologiczną i rozwój miocenu oraz tylko w zarysie budowę jego podłoża.

Stratygrafia

Najstarszymi utworami biorącymi udział w budowie tego rejonu są sfyllityzowane iłołupki, iłowce z wkładkami piaskowców i zlepieńców **prekambru** rozpoznane w NE części obszaru w otworach Brzeźnica-2, 3, Dołuszyce-1 na głębokości od 1442 m (Dołuszyce-1) do 1759m (Brzeźnica-2).

Powyżej zalega kompleks klastycznych osadów ***dolnego kambru*** wykształcony w postaci piaskowców, mułowców, łupków (pierwotnie zaliczanych do utworów dolnego dewonu), rozpoznanych w otworach Rajbrot-1 i Rajbrot-2, miąższości odpowiednio 626 m i 357 m (na głębokości 4322m i 3828 m).

Następnym ogniwem stratygraficznym rozpoznanym w obszarze analizy jest ***dewon dolny*** nawiercony w serii klastycznej na głębokości 1795 m w otworze Łapczyca-2 miąższości > 120 m. Wyżej zalegająca seria węglanowa ***dewonu środkowego i górnego*** rozpoznana została w N części obszaru w otworach: Cikowice-1 (>195 m), Czyżyczka-1 (>262 m), Łapczywa-2 (319 m) oraz w S części w otworach Rajbrot-1 (292 m), Rajbrot-2 (388 m), Tarnawa-1 (>416 m), Iwkowa-1 (>23 m). Reprezentują ją wapienie, wapienie dolomityczne i dolomity.

Występujący w S i W części obszaru **karbon** reprezentowany jest przez utwory karbonu dolnego i górnego. ***Karbon dolny*** to utwory węglanowe - tzw. wapienia węglowego - przy zróżnicowanym udziale osadów terygenicznych nawiercone w otworach Rajbrot-1 (947 m), Rajbrot-2 (787 m), Tarnawa-1 (471 m), Liplas-2 (>400 m) oraz utwory klastyczne tzw. kulmu rozpoznane powyżej wapienia węglowego w otworach Liplas-2, Tarnawa-1 (166 m), Łąkta-2. Powyżej w otworze Tarnawa-1 nawiercono 93 m osadów piaskowcowo-łupkowych ***karbonu górnego*** z pokładami węgla.

Na powaryscyjskiej powierzchni w strefach obniżonych osadziły się utwory **permu** i **traisu** (często wydzielane łącznie jako permo-trias). Są to utwory w przewadze ilaste, o czerwonym lub zielonkawym zabarwieniu, z wkładkami piaskowców, mulowców oraz zlepieńców miąższości od 63 m (osadów triasu) w otworze Łąkta-2 do ponad 1300 m w otworach Liplas-2 (1369 m), Tarnawa-1 (1337 m - gdzie 678 m to utwory pstrego piaskowca, 510 m cechsztynu - turyng i 149 m czerwonego spągowca - autun).

Utwory **jury** rozpoczynają niewielkiej miąższości (do kilkudziesięciu metrów) osady klastyczne ***liasu***, głównie iłowce i mułowce z wkładkami piaskowców stwierdzone w odwiercie Liplas-2 (83 m). Równie niewielkiej miąższości (od 10 m – Książnice-2 do 123 m – Grabina-1), ale o szerszym rozprzestrzenieniu (Leszczyna-1, 4, Tarnawa-1, Rajbrot-1, 2) są utwory ***doggeru***. Stanowią je piaskowce z wkładkami mułowców i iłowców z uwęglonym detrytusem roślinnym, w górę profilu pojawiają się wkładki margli. Wyżej zalega węglanowy kompleks ***malmu*** miąższości rzędu 200-400 m (Rajbrot-1 - 194 m, Cikowice-1 - 384 m), minimalną miąższość stwierdzono w otworze Łąkta-2 (5 m). Rozpoczynają go utwory *oksfordu* - wapienie zbite, dolomityczne i dolomity, często z gniazdami krzemionki, ku górze przechodzące w poziom marglisto-wapienny *(raurak)* ze szczątkami organicznymi, lokalnie zdolomityzowane i skawernowane. Ponad nimi zalega wapienno-dolomityczny kompleks *astartu* i *kimerydu* wykształcony jako wapienie detrytyczne, organogeniczne i pelityczne, wapienie dolomityczne, margliste i margle oraz wapienie oolitowe. Utwory malmu są często skawernowane i zeszczelinowane przyczyniając się do polepszenia ich pierwotnych własności zbiornikowych (porowatości i przepuszczalności).

Utwory **kredy** w omawianym rejonie ograniczają się jedynie do osadów kredy górnej. Ich wykształcenie i rozwój w dużej mierze uwarunkowany był zróżnicowaną morfologią powierzchni stropowej utworów jurajskich, uformowanej czynnikami tektoniczno-erozyjnymi. Na niej transgresywnie osadziły się zielonkawe piaskowce glaukonitowe *cenomanu*, które wypełniają nierówności powierzchni jurajskiej i zlepieńce skupiające się w strefach przybrzeżnych. Wschodnia część analizowanego obszaru leży w strefie obniżania

basenu cenomańskiego, gdzie osady cenomanu osiągają miąższości do 110 m w otworze Połom Duży-2 , a ku zachodowi zredukowane są do 0 m. Od NW w tym rejonie dochodzi płytka zatoka basenu cenomańskiego co potwierdzają nawiercone, niewielkiej miąższości, osady w otworach: Łysokanie-2 (8 m) i Książnice-2 (7 m). Sedymentacja turonu i senonu ma szerszy zasięg. *Turon* - to głównie kilkumetrowej miąższości wapienie szare, zwięzłe, miejscami zielonkawe z czertami (w części południowej rejonu zailone i zapiaszczone), ku górze przechodzące w *senońskie* wapienie margliste i margle, lokalnie zapiaszczone lub z przerostami piaskowców. Miąższość utworów turonu-senonu jest zróżnicowana - od braku ich (np. Rajbrot-1, 2, Muchówka-2, Łąkta-24, 26, 28, Grabina-3, 5, 6, 11, 13, Jaroszówka-1,2, Książnice-1, 3, 5, Leszczyna-1, 3, 4, 21, 23 itd.) do 90 m w otworze Cikowice-1 - do czego przyczyniła się głęboka erozja polaramijska.

Nad utworami mezozoiku, a w części południowej pod nasunięciem karpackim, zalega kompleks **mioceński** o zróżnicowanej miąższości: rzędu 300 m w NE rejonie obszaru (garb Puszczy) do ponad 1000 m w kierunku zachodnim (Cikowice-1 -1671 m). W południowej części obszaru, w strefie otworów Leszczyna i Łąkta, miąższości utworów miocenu wahają się między 163 m (Łąkta-4) a 810 m (Łąkta-2). Kompleks mioceński w południowej części obszaru budują na ogół osady należące do badenu dolnego zalegające w pozycji autochtonicznej. Są to iłowce, mułowce z wkładkami piaskowców, niekiedy w spągu zlepieńce (Łąkta-3). Charakterystyczny poziom korelacyjny środkowego i wschodniego przedgórza - anhydryt - występuje jedynie w północnej części obszaru (Gierczyce-1, Łysokanie-1, Targowisko-1, 2), ponad którym zalegają ilasto-piaskowcowe osady badenu górnego, często sfałdowane.

Od południa na kompleks mioceński nasunięty został górotwór karpacki. Składa się on z 3 jednostek tektonicznych typu płaszczowin - różniących się między sobą: stylem tektonicznym, litologią i sposobem rozprzestrzenienia - tj. jednostki śląskiej, podśląskiej i stebnickiej. Bezpośrednio na utworach miocenu zalega jednostka *stebnicka* (zbudowana z osadów zapadliska wewnętrznego), następnie płaszczowina *podśląska* miąższości od 27 m (Leszczyna-4) do 595 m (Łąkta-24) - zbudowana z utworów od dolnej kredy po paleogen w przewadze o ilastym wykształceniu. Najwyżej zalega jednostka *śląska* zbudowana z dolnokredowych warstw cieszyńskich, grodziskich i lgockich, górnokredowych i paleoceńskich warstw godulskich i istebniańskich oraz eoceńsko-oligoceńskich piaskowców ciężkowickich z wtrąceniami pstrych łupków, warstw menilitowych, margli globigerynowych, warstw hieroglifowych i warstw krośnieńskich.

Tektonika i paleogeografia

W ujęciu tektonicznym SW część obszaru analizy należy do bloku dolnośląskiego, a NE do bloku małopolskiego, rozdzielonych regionalną strefą dyslokacyjną Lubliniec - Kraków (będącą prawdopodobnie częścią transkontynentalnej strefy uskokowej Hamburg - Kraków). Fakt ten na pewno wywarł istotny wpływ na ewolucję strukturalną utworów biorących udział w budowie geologicznej dokumentowanego rejonu.
W budowie geologicznej wydziela się niezależne 3 piętra strukturalne: prekambryjsko-paleomezoiczne podłoże platformowe, utwory miocenu oraz górotwór fliszowych Karpat.

Prekambryjskie utwory bloku górnośląskiego, przykryte serią klastycznych osadów kambryjsko-ordowickich o różnym rozwoju sedymentacyjno-diastroficznym i silnie sfałdowane wendyjsko-dolnokambryjskie utwory bloku małopolskiego, przykryte ordowicko-sylurskim piętrem pokrywowym, stały się podłożem waryscyjskiego cyklu sedymentacyjnego.

Sedymentacja dewońska odbywała się w warunkach określonych ruchami ardeńskimi, a więc była to początkowo sedymentacja materiału klastycznego (dewon dolny), a w miarę pogrążania się obszaru i zalania otwartym morzem, zmieniał się charakter osadów na węglanowy (dewon środkowy i górny).

Nasilające się ruchy fazy bretońskiej doprowadziły do zdyslokowania obszaru na bloki wzdłuż uskoków o dominującym kierunku NW-SE i NWW-SEE, a także do różnorodnego wykształcenia facjalnego osadów karbonu. W miejscach o stabilnych warunkach sedymentacji powstały osady węglanowe a osady kulmu w strefach natężenia ruchów górotwórczych. Na przełomie karbonu dolnego i górnego obszar Polski zaczął się dźwigać na skutek ruchów fazy sudeckiej, przez co sedymentacja górnokarbońska została ograniczona do rejonu Górnego Śląska i rejonu lubelsko-podlaskiego. W obszarach tych tworzą się osady paraliczne i limniczne z pokładami węgla.

Fazy schyłku orogenezy waryscyjskiej spowodowały wycofanie się morza z obszaru przedgórza Karpat znosząc jego erodowany materiał do zbiornika środkowopolskiego, tak że jedynie lokalnie w rejonie badań powaryscyjska powierzchnia została wypełniona utworami permu. W triasie sedymentacja kontynuowana była dalej znacznie rozszerzając swój zasiąg.

Podczas ruchów starokimeryjskich obszar przedgórza został przebudowany. W okresie jury dolnej - liasie - przedgórze było wyniesione i tym samym silnie erodowane. Jedynie w płytkich rowach podczas ingresji osadziły się utwory klastyczne liasu a później doggeru.

Speneplenizowane i zrównane w znacznym stopniu podłoże zostało transgresywnie zalane morzem oksfordzkim obejmując swym zasięgiem całe przedgórze. W czasie sedymentacji malmu powstał zróżnicowanej miąższości ekran maskujący prekambryjsko-paleozoiczną powierzchnię, a w okresie ruchów młodokimeryjskich przebudowany. Powstały garby oraz rowy, którymi wdzierała się transgresja górnokredowa, inicjowana ruchami fazy austryjskiej i subhercyńskiej, osadzając najpierw piaskowce cenomanu, a w miarę rozszerzania swego zasięgu wapienno-margliste utwory turonu i senonu.

Najistotniejszą rolę w aktualnym obrazie budowy geologicznej w obszarze projektowanych prac odegrały najmłodsze fazy orogenezy alpejskiej. Przebudowały one zaleganie osadów mezozoicznych tworząc łagodne formy antyklinalne, o kierunku NW-SE, często rozcięte dyslokacjami podłużnymi na oddzielne bloki. Spowodowały sfałdowanie i nasunięcie Karpat na swoje przedpole, a także uformowały przestrzenne stosunki między podłożem a górotworem karpackim. W tym czasie zaczął się tworzyć rów przedgórski, a intensywna erozja była dodatkowym czynnikiem modelującym podłoże miocenu. Na tak urozmaiconą powierzchnię podłoża utworów miocenu wkroczyło morze stopniowo wypełniając obniżenia i rowy osadami od gruboklastycznych przez piaskowce różnej frakcji po utwory pelityczne. W górę profilu obserwuje się zanik wpływu morfologii podłoża. Uskoki na ogół zostają zabliźnione.

W tym czasie od S nasuwał się górotwór karpacki, pod ciężarem którego uplastyczniły się serie solne. Wraz z utworami ilastymi spiętrzyły się i zostały wyciśnięte w miejsca o mniejszych naprężeniach, tworząc strefę o specyficznej tektonice zwanej „miocenem wyruszonym" lub „miocenem zgłobickim" ciągnącym się przed czołem Karpat, często poddarte w strefie kontaktu z utworami fliszu.

Tektonika utworów fliszowych charakteryzuje się zdecydowanie odrębnym stylem w stosunku do ich podłoża. Dominuje tu charakter tektoniki plikatywnej, o różnym stopniu zaburzenia poszczególnych jednostek. Obserwuje się tu silniej sfałdowane i złuskowane utwory jednostki podśląskiej, będące pewnego rodzaju smarem tektonicznym dla utworów jednostki śląskiej, które tworzą strome i wąskie antykliny oraz rozległe synkliny.

Rozdział II

Krótka charakterystyka sejsmicznych danych wejściowych

Przedstawiona propozycja odtworzenia modelu prędkościowego na podstawie wyników inwersji sejsmicznej stanowi na pewno kolejny krok ku „lepszemu" – wykorzystuje dane sejsmiczne, które zawierają prawdziwą informację o budowie ośrodka. Prawdziwą – pod warunkiem, że potrafimy prawidłowo z niej korzystać. Prawidłowe korzystanie z danych sejsmicznych to przede wszystkim właściwa ocena schematu akwizycji i podstawowych jej parametrów, to również poprawne i dostosowane do budowy geologicznej przetwarzanie. Dostosowane, to znaczy uwzględniające głębokość obiektów geologicznych budowę, geometrię i upady warstw, granic i horyzontów oraz takie cechy, jak grubo lub cienkowarstwowość. Powyższe rzutuje na dobór właściwej sekwencji przetwarzania oraz wybór parametrów kolejnych procedurach.

Bardzo duże znaczenie posiada również dostępność informacji z otworów wiertniczych; repery stratygraficzne oraz krzywe profilowań geofizycznych, szczególnie profilowanie akustyczne. Duże znaczenie posiada także spójność i jednolitość danych stanowiących podstawę rozwiązania danego zagadnienia.

W tym aspekcie ocena danych którymi dysponowali wykonawcy nie przedstawia się korzystnie. Dane sejsmiczne datowane są na przestrzeni 20 lat (1986 oraz 2004); dane otworowe, szczególnie PA wykonano w m.in. latach 1972 (otwór Leszczyna-1), 1973 (otwór Kamyk-1), 1977 (otwór Leszczyna-23), 1991 (otwór Królówka-1). Trzeba wziąć pod uwagę, iż nawet dane otworowe traktowane często jako „bastiony pewności i niezmienności" mogą, szczególnie w rejonach intensywnej eksploatacji złożowej, stracić swoją aktualność; ośrodek cechuje się dynamiką.

Przystępując do budowy modelu geologicznego należy określić stosowną metodykę obserwacji i przetwarzania. Z tego punktu widzenia nasze opracowanie należy traktować jako metodyczne. Aby być pewnym wyników należałoby ujednolicić obraz falowy, a więc ustalić wspólną sekwencję przetwarzania. Taka koncepcja nie była proponowana przez Zleceniodawcę i nie mogła być uwzględniona w harmonogramie ze względu na bardzo skromne środki finansowe przeznaczone na powyższe zadanie (140 tys. zł, 128 km br.

profili). Należałoby też wykonać jednolitą migrację czasową; dopiero wtedy można by mówić o równowartościowych danych wejściowych. Dopiero wtedy obserwowane fakty, rzeczywiste i pozorne, w obrazie falowym mogłyby być możliwie najpoprawniej interpretowane.

Zaprezentowane rozwiązanie jest więc z kategorii „lepszy rydz niż nic”. I chociaż brzmi to mało naukowo, unaocznia smutną rzeczywistość. Taka rzeczywistość dała też znać o sobie w niedawno bronionej dokumentacji sejsmicznej przemysłu Ostrów Wielkopolski – Orpiszew oraz Ostrów Wielkopolski – Skalmierzyce. Nie możemy oczekiwać spójnej interpretacji geologicznej, gdy dane wejściowe są różnej jakości.

W opublikowanej w maju 2005 roku pracy pt. „Imaging the deep; A practical approach to handling anisotropy in the context of prestack migration velocity analysis” Tariq Alkhalifah proponuje ciekawe rozwiązanie dla modelu prędkości w ośrodku geologicznym, które uwzględnia w pewnym sensie cechy typowej, uogólnionej budowy ośrodka. Warstwy płytsze są dość gładkie, ale anizotropowe, natomiast warstwy głębokie mają złożoną budowę geometryczną, są natomiast izotropowe. Jest to na pewno lepsze rozwiązanie, niż pełne ignorowanie anizotropii.

W analizowanym przez nas obszarze, już sama strefa nasuwcza Łąkty z pewnością indukuje anizotropię prędkości; w naszym podejściu nie braliśmy tego faktu pod uwagę; jednakże wyniki inwersji „zawierają” w sobie zmienność ośrodka. Przedstawiony przez nas model uwzględnia horyzontalną zmienność prędkość, co widać na fig.4.1 do fig.4.10 oraz na zał. 30, 31, 32. Mając jednakże dane różnie uzyskane i przetwarzane nie możemy być zupełnie pewni, jakie są przyczyny zmienności pola prędkości (fig.4.3 i fig.4.5). Mimo dość sceptycznej autooceny wyników oczywistym wydaje się, że rozkłady prędkości uzyskane drogą inwersji stanowią logiczną odpowiedź dla budowy strefy nasuwczej Łąkty.

Jeszcze raz charakteryzując mapy prędkości akustycznych (kalibrowanych) na zał. 23, 24 i 25 koniecznym wydaje się podkreślenie, iż tego typu zadanie powinno być realizowane na danych sejsmiki 3D – bezwarunkowo jednolicie zarejestrowanych i przetworzonych. Przy gęstej siatce informacji sztuczne, anomalne przebiegi izolinii, widoczne na prezentowanych obrazach, nie pojawiłyby się w takiej postaci i ilości, chociażby tytułem samej techniki tworzenia mapy.

Brak zgodności horyzontu jurajskiego na przekrojach prędkościowo-głębokościowych (np. fig.4.9) może być równie dobrze efektem zarejestrowanych na profilach 2D odbić bocznych, jak i anizotropii pola prędkości.

Dość wyraźnie narzucającą się przyczyną wydaje się być odchylenie osi nasunięcia w kierunku północno-zachodnim, co w kontekście południkowego kierunku profili 2D może

skutkować brakiem ciągłości horyzontów. Jest to zupełnie inny rodzaj niezgodności niż ten obserwowany na fig.4.7 i fig. 4.3. – niewątpliwie będący wynikiem różnej sekwencji przetwarzania. Obserwując zmienność pola prędkości na przekrojach pionowych z kierunku NW widzimy wzrost jednorodności pola w kierunku wschodnim (fig.4.1 – 4.5). Analogiczne relacje widzimy obserwując zmienność pola z kierunku SE (fig.4.6 – 4.10), jednakże zróżnicowanie jest bardziej radykalne (pomimo, że w przestrzeni pola jest to samo). Sugeruje to zmienność osi anizotropii pola prędkości w południowej i północnej części analizowanego obszaru. Uzyskany obraz prędkości został w pewnym stopniu wygładzony, w związku z czym mapy strukturalne (zał. 26, 27, 28) nie są nadmiernie obarczone wpływem zlokalizowania danych wejściowych (profili sejsmicznych), może z wyjątkiem mapy powierzchni spągowej miocenu.

Przedstawiony model na pewno nie jest ostatecznym modelem prędkości dla strefy nasuwczej Łąkty. Wskazano jednakże poprawne procedury, które umożliwiają budowę takiego modelu. W tym momencie odnieść się należy do załączników 6B i 7B oraz figur 14.1 i 14.2, jak też figur 16.1 – 16.4. Wykonane aplikacje miały na celu zlikwidowanie efektów różnic w akwizycji i przetwarzaniu na dwóch blisko położonych profilach 6-1-04 oraz 42-8-86 na których wyniki inwersji były istotnie różne.

Ujednolicenie obrazu falowego poprzez wzajemne wprowadzenie cech sygnałów sejsmicznych drogą jednej z możliwości dekompozycji spektralnej prowadzi w efekcie do odtworzenia jednorodnego pola prędkości. Realizacja taka wykonana była tylko na dwóch charakterystycznych profilach, bowiem znacznie podwyższa i tak przekroczone koszty realizacji zadania. W efekcie przedstawiono:

1. interpretację czasową i głębokościową 10 profili sejsmicznych o łącznej długości 127,7 km
2. przekroje czasowe i głębokościowe prędkości akustycznych
3. mapy czasowe, prędkości i strukturalne dla spągu fliszu, stropu i spągu jury
4. mapę strukturalną dla spągu miocenu.

Analizując dostępne dla tego rejonu materiały stwierdzono, że żadna z map strukturalnych zadawalająco nie jest potwierdzona przez repery stratygraficzne.

Jednakże, zaproponowana metodyka odpowiada specyfice geologicznej regionu i mogłaby być wykonana na wszystkich profilach w przypadku większych możliwości finansowych.

W świetle przedstawionych wyników jako miejsca perspektywne można typować:

1. wyniesienie okonturowane izolinią 1980 na wschód od otworu Leszczyna-1 (zał. 28), któremu odpowiada jednocześnie bardzo silna, ujemna anomalia prędkości (rzędu 3700 m/s, przy średniej rzędu 4700-5200 m/s) (zał. 25)

   UWAGA: na mapie prędkości średniej do granicy sejsmicznej Jsp wykonanej w Geofizyce Kraków (zał. 22a) anomalii takiej nie odnotowano. Na mapie strukturalnej Geofizyki Kraków obszar ten charakteryzowany jest jako podniesienie Leszczyna (zał. 19c)

2. podniesienie okonturowane izolinią 2100-2200 (zał. 28) któremu towarzyszy ujemna anomalia prędkości (4100-4200 m/s) znajdujące się w bezpośredniej bliskości profilu 7-1-04K (nieco ku W)

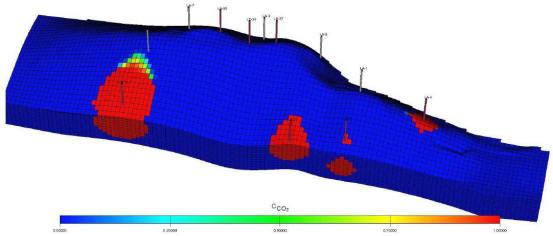
3. można również zaznaczyć niewielką anomalię prędkości na płn.-zach. od otworu Leszczyna-4.

Rozdział III

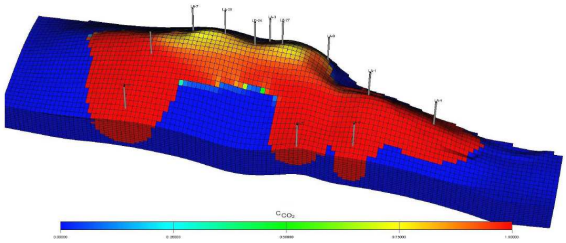
Określenie przestrzeni monitoringu na podstawie lokalizacji obiektów dla których wykonano prognozowanie procesu sekwestracji

Jak pokazano na rysunkach III.3 ÷ III.8, cytowanej wcześniej dokumentacji (zlec 375/KZ), obszar prognozowania zlokalizowano w części płd.-wsch. szkicu prezentowanego na rysunku 2; obejmował otwory: Łąkta-1, 3, 4, 7, 9 oraz Leszczyna-23, 24, 27. Wyniki symulacji pokazano na wspomnianych już rys. 3-8. Otwory te znajdują się w strefie nasuwczej Łąkty, dla której w ramach zlecenia 472/SR (rok 2004-2006) określono pole prędkości (rysunki III.9 ÷ III.14). Rola szczegółowego przetwarzania danych sejsmicznych opisanego w rozdziale II, ma ogromne znaczenie dla rzeczywistego monitorowania sejsmicznego, bowiem parametry fizyczne decydują o wrażliwości pola falowego na wszelkie działania zewnętrzne.

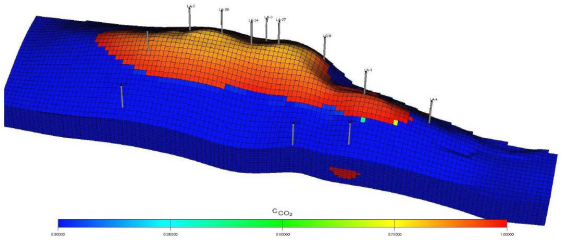
Wejściowe sekcje sejsmiczne, które analizowano pod kątem monitoringu pokazano na rysunkach III.15 ÷ III.19 – są to profile 16-1-04K o kierunku W-E, oraz dwa profile tnące o kierunku płn.-płd. 6-1-04K i 9-1-04K. Interesująca nas warstwa kolektora jurajskiego, zazwyczaj o miąższości „czasowej” rzędu 100-200 ms (np. otwór Łąkta 13, rys. III.4), potraktowana została jako interwał testowy. Interwał ten podzielono na 12 warstw o miąższościach rzędu 10-50 m. Wersję podstawową tego układu prezentują Tabela 1 i 2. Ocena możliwości zastosowania monitoringu polegała na modelowaniu tzw. odpowiedzi akustycznej ośrodka dla różnych wersji sekwencji prędkości w ośrodku. Skalę prędkości dla testowanych profili przedstawiono na rys. III.20.



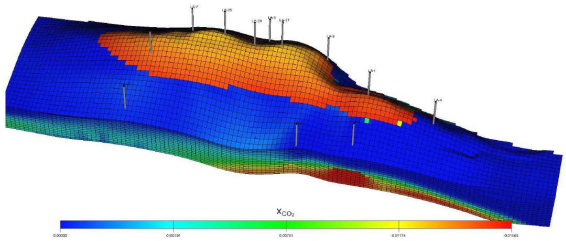
Rys. III.3 Złoże Łąkta. Prognoza procesu sekwestracji. Wariant I.1. Rozkład koncentracji CO_2 w fazie gazowej na koniec fazy 1 zatłaczania.



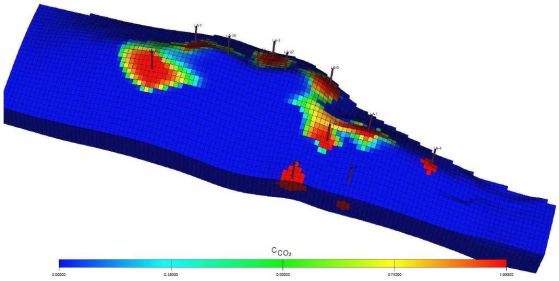
Rys. III.4 Złoże Łąkta. Prognoza procesu sekwestracji. Wariant I.1. Rozkład koncentracji CO_2 w fazie gazowej na koniec fazy 3 zatłaczania.



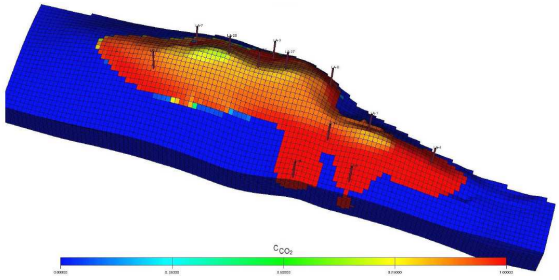
Rys. III.5 Złoże Łąkta. Prognoza procesu sekwestracji. Wariant I.1. Rozkład koncentracji CO_2 w fazie gazowej na koniec okresu relaksacji.



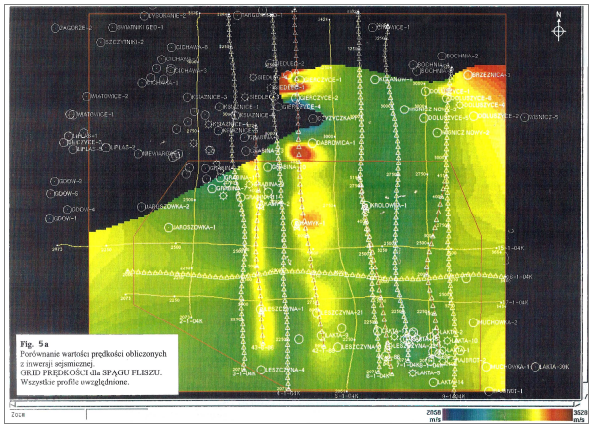
Rys. III.6 Złoże Łąkta. Prognoza procesu sekwestracji. Wariant I.1. Zawartość rozpuszczonego CO_2, x_{CO2} w fazie wodnej na koniec okresu relaksacji.



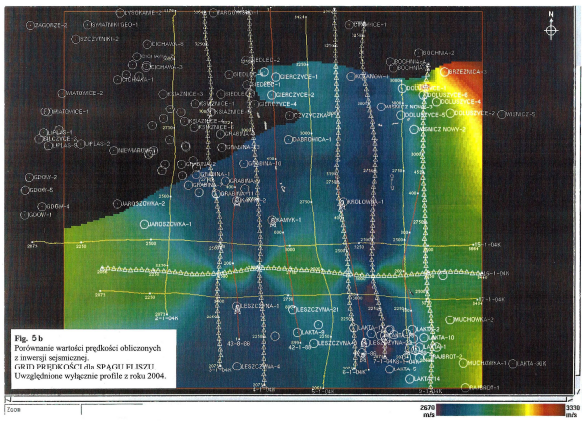
Rys. III.7 Złoże Łąkta. Prognoza procesu sekwestracji wg Wariantu II.1. Rozkład koncentracji CO_2 w fazie gazowej na koniec fazy 1 zatłaczania.



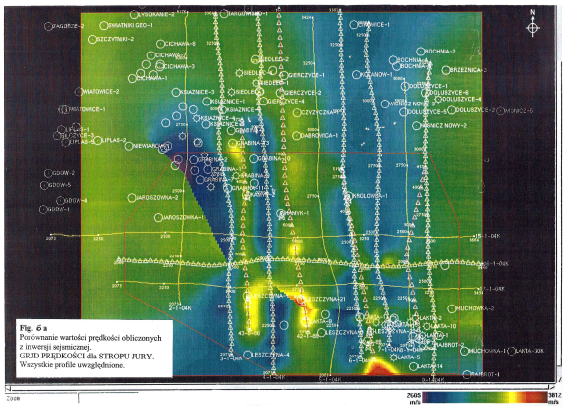
Rys. III.8 Złoże Łąkta. Prognoza procesu sekwestracji wg Wariantu II.1. Rozkład koncentracji CO_2 w fazie gazowej po fazie 2 (XII 2040) na koniec zatłaczania.



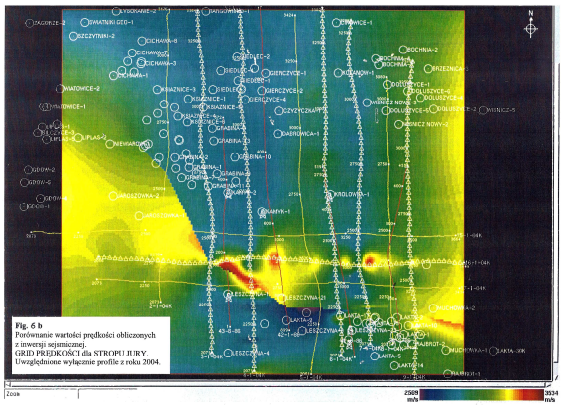
Rys. III.9 Porównanie wartości prędkości obliczonych z inwersji sejsmicznej. Grid prędkości dla spągu fliszu. Wszystkie profile uwzględnione.



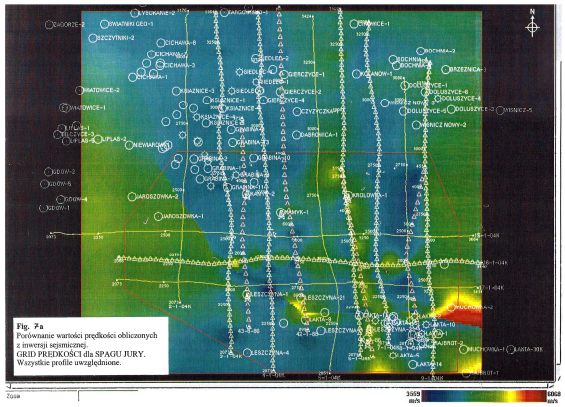
Rys. III.10 Porównanie wartości prędkości obliczonych z inwersji sejsmicznej. Grid prędkości dla spągu fliszu. Uwzględnione wyłącznie profile z roku 2004.



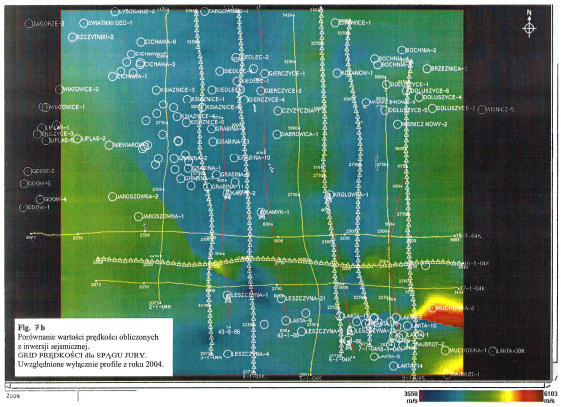
Rys. III.11 Porównanie wartości prędkości obliczonych z inwersji sejsmicznej. Grid prędkości dla stropu jury. Wszystkie profile uwzględnione.



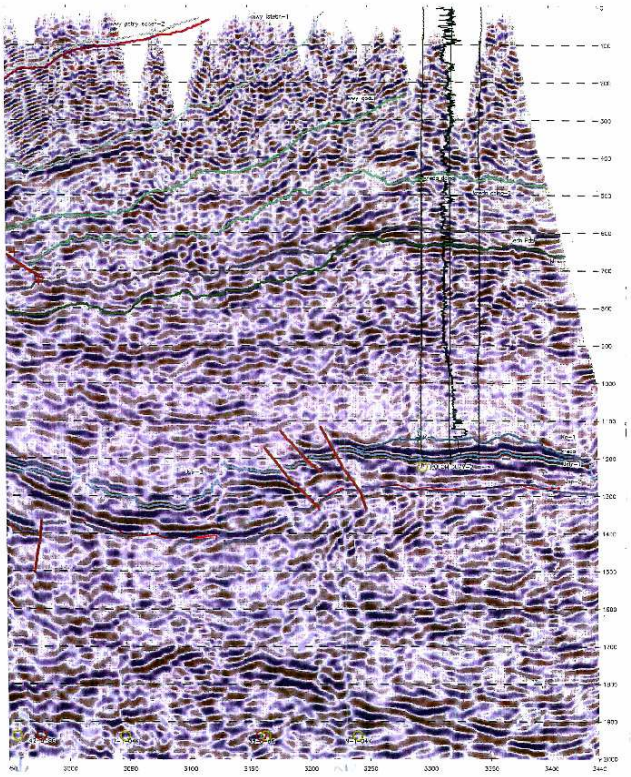
Rys. III.12 Porównanie wartości prędkości obliczonych z inwersji sejsmicznej. Grid prędkości dla stropu jury. Uwzględnione wyłącznie profile z roku 2004.



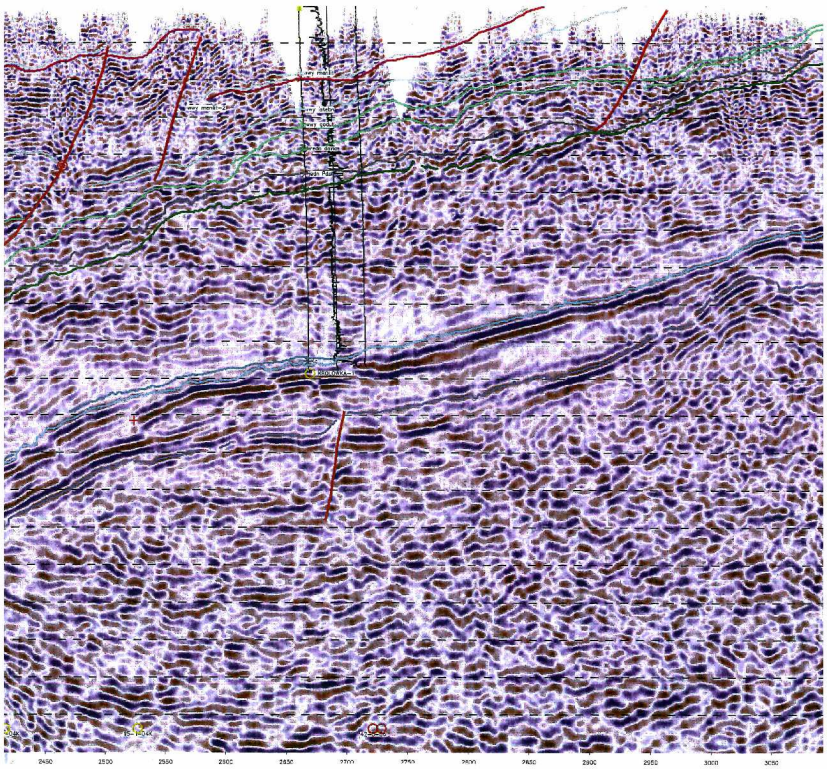
Rys. III.13 Porównanie wartości prędkości obliczonych z inwersji sejsmicznej. Grid prędkości dla spągu jury. Wszystkie profile uwzględnione.



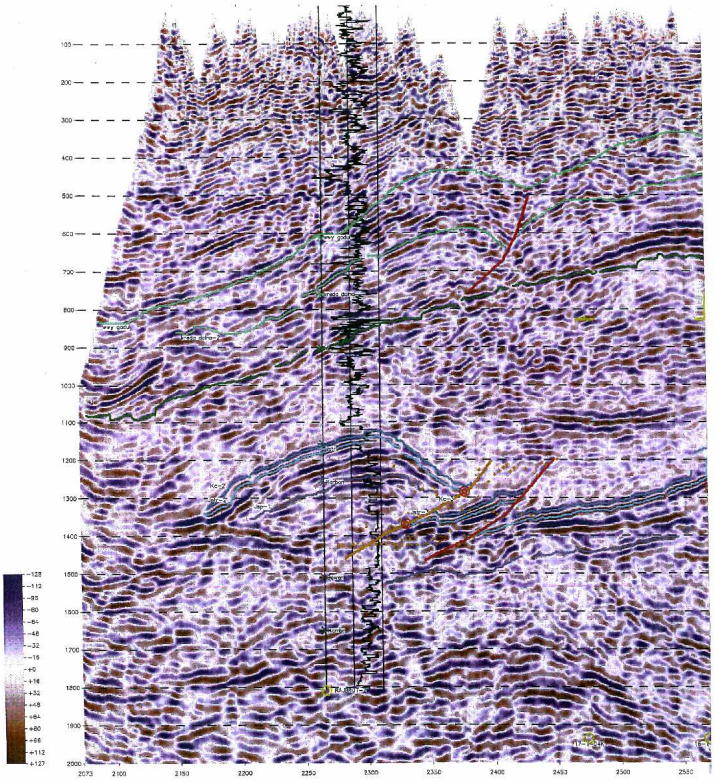
Rys. III.14 Porównanie wartości prędkości obliczonych z inwersji sejsmicznej. Grid prędkości dla spągu jury. Uwzględnione wyłącznie profile z roku 2004.



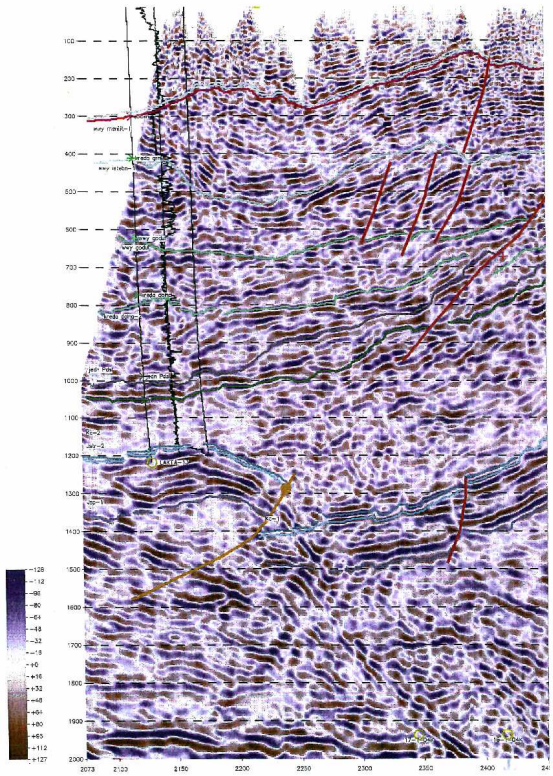
Rys. III.15 Profil sejsmiczny 16-1-04K.



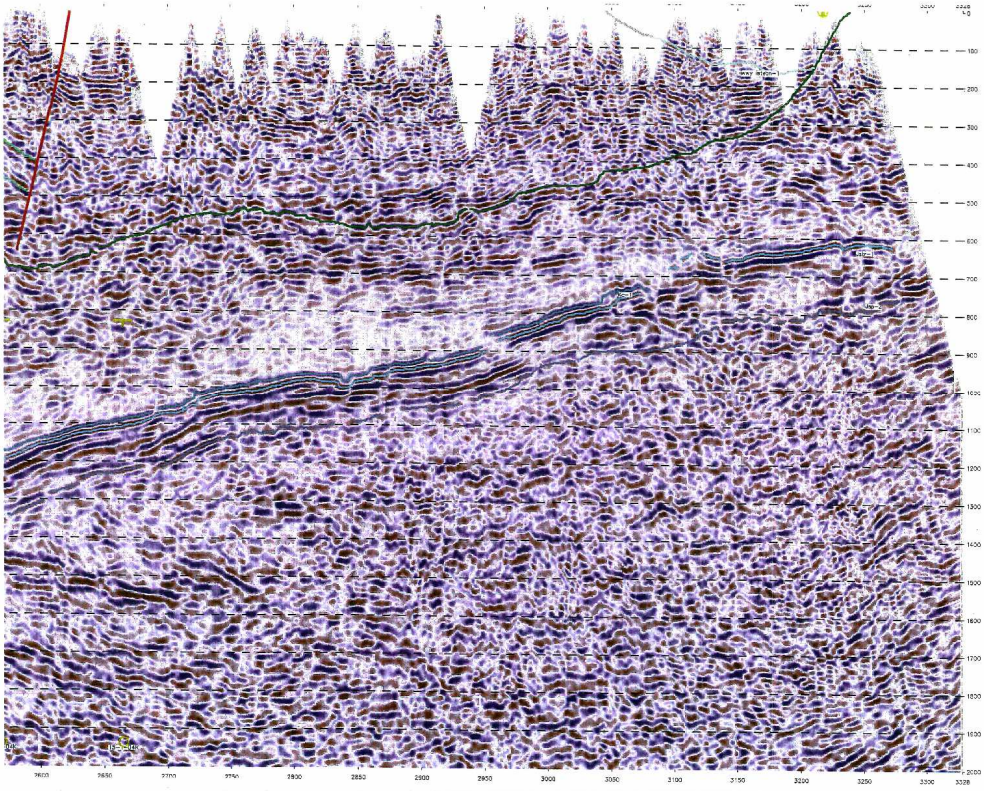
Rys. III.16 Profil sejsmiczny 6-1-04K.



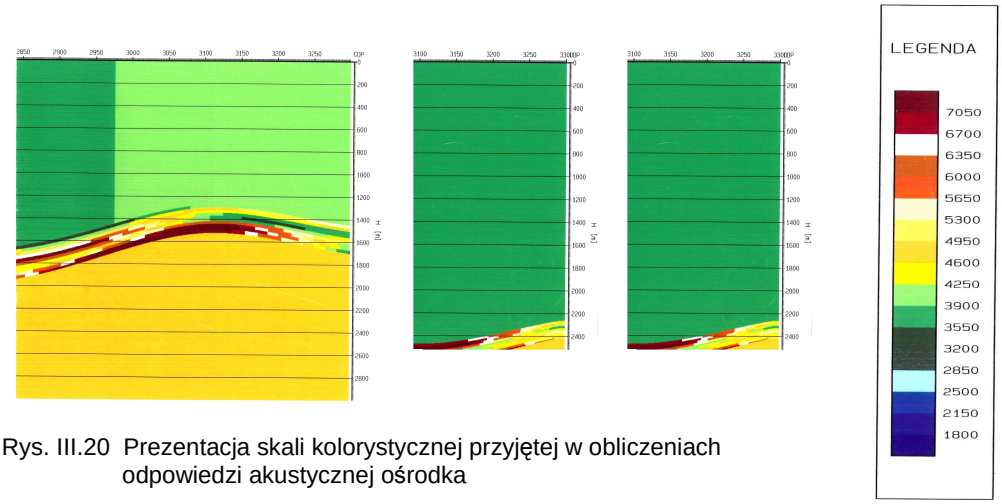
Rys. III.17 Profil sejsmiczny 9-1-04K.



Rys. III.18 Profil sejsmiczny 9-1-04K



Rys. III.19 Profil sejsmiczny 9-01-04K



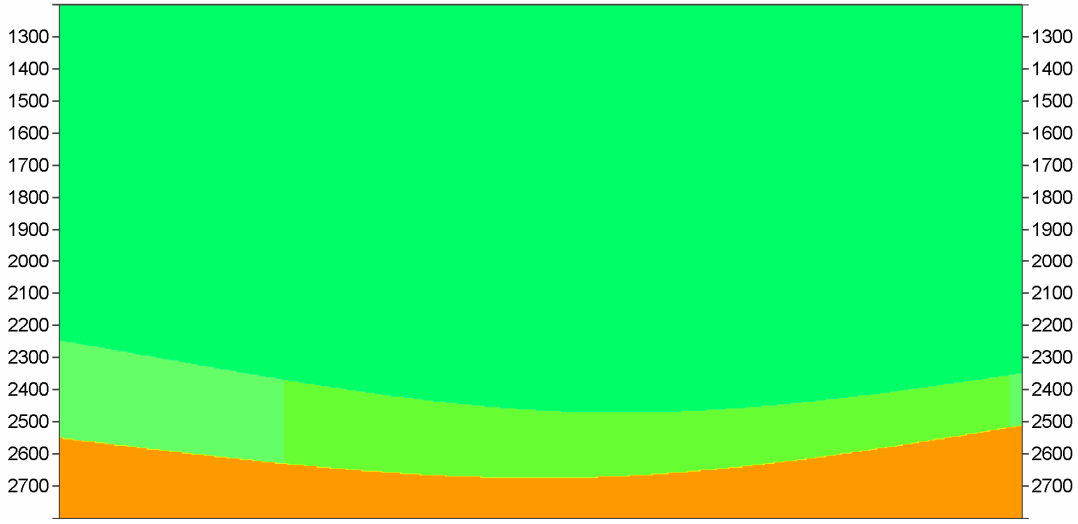
Rys. III.20 Prezentacja skali kolorystycznej przyjętej w obliczeniach odpowiedzi akustycznej ośrodka

Na podstawie zaprezentowanych modeli, po wykonaniu inwersji sejsmicznej, utworzono trzy modele prędkościowo-geologiczne. Każdy w wersji podstawowej (grubowarstwowy) oraz w wersji rozwiniętej (cienkowarstwowy), gdzie dla warstwy jurajskiej stworzono układ warstw cienkich i w każdej z tych cienkich warstw wygenerowano inne warunki transportu CO2.

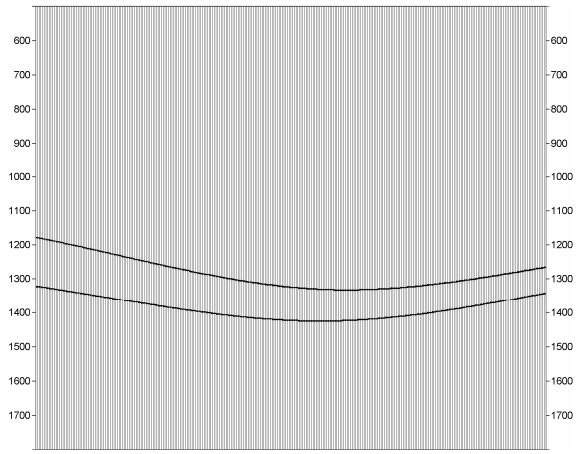
Dla każdego z profili przedstawiono bogatą sekwencję obliczeń (A – profil 16-1-04K; B – profil 6-1-04K; C – profil 9-1-04K) – komentowaną w kolejnym rozdziale.

Sekwencja obliczeń A

Profil 16-1-04K_MODEL 3_CDP 2932-3230



WSP164M3

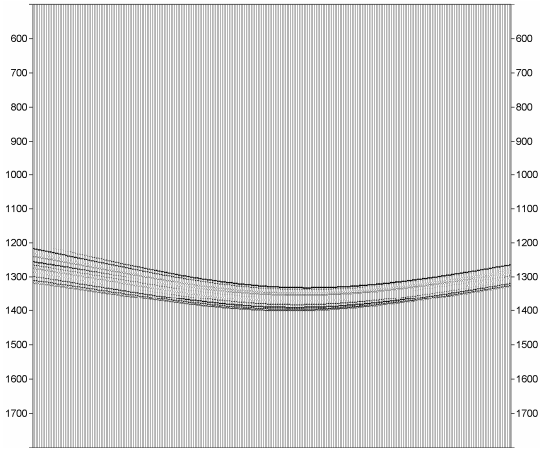


TR164MA3_25 Hz

TR164MA3_60 Hz

Profil 16-1-04K_MODEL 2_CDP 2952-3230

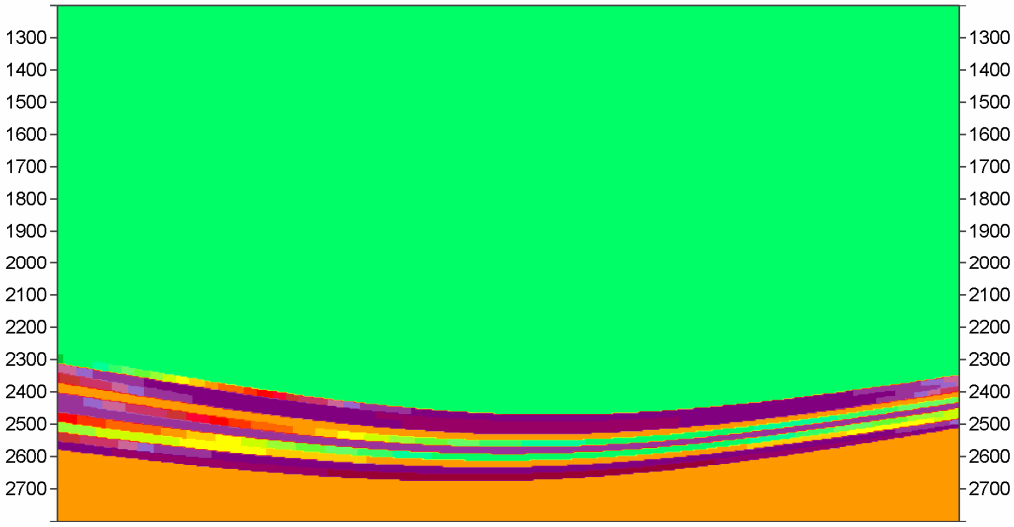
WSP164M2



TR164MA2_25 Hz

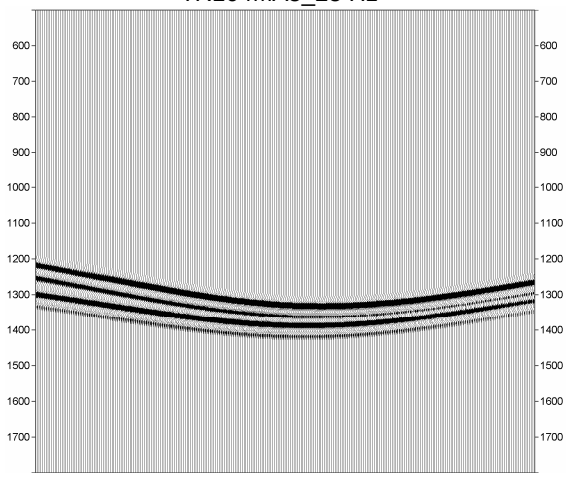
TR164MB2_60 Hz

Profil 16-1-04K_MODEL 5_CDP 2952-3230



WSP164M5

TR164MA5_25 Hz

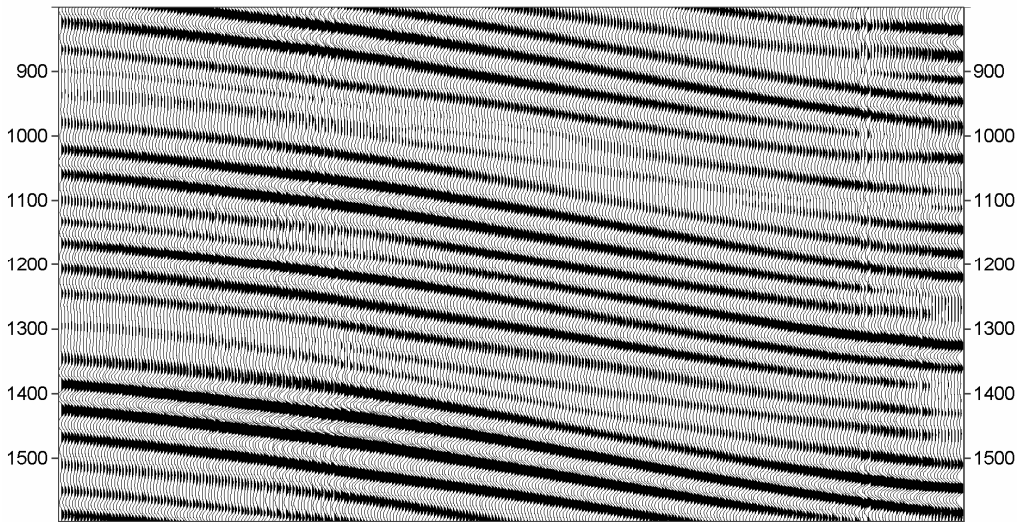


TR164MB5_60 Hz

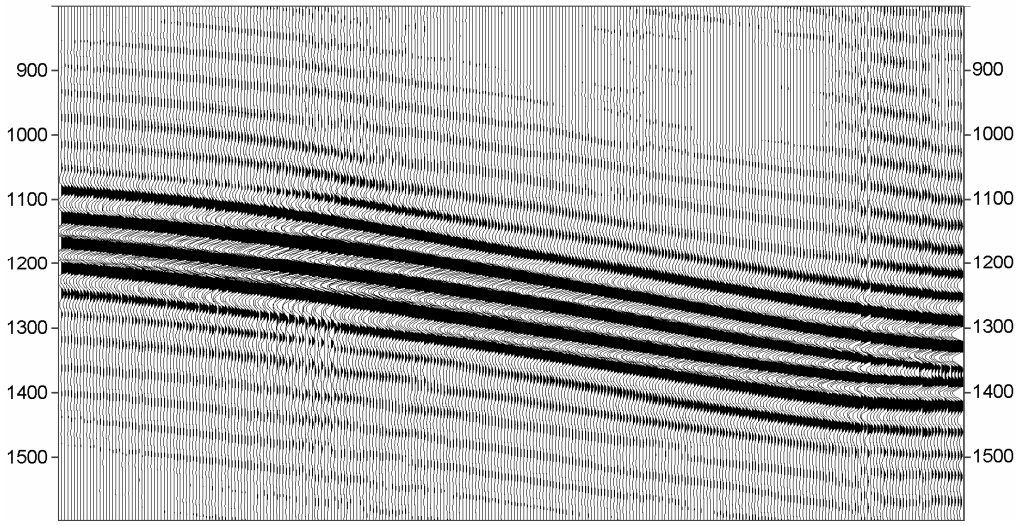
Profil 16-1-04K_MODEL 2_CDP 2812-3092_25 Hz_po modyfikacji MOD_2

TR164MA2 _ Sekcja INPUT_przecięcie z profilem 6-1-04K na CDP 2952

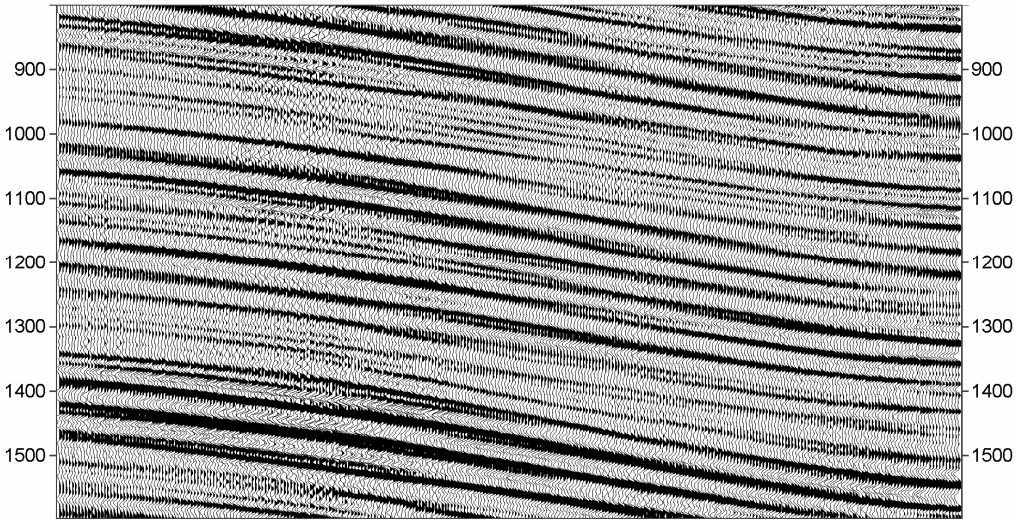
S164A2TA _ modyfikacja TA



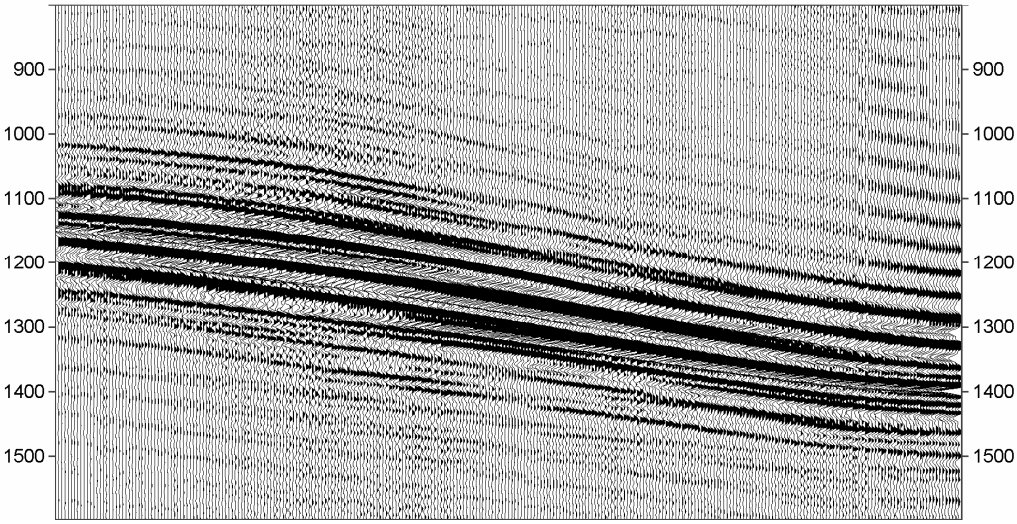
S164A2TB _ modyfikacja TB



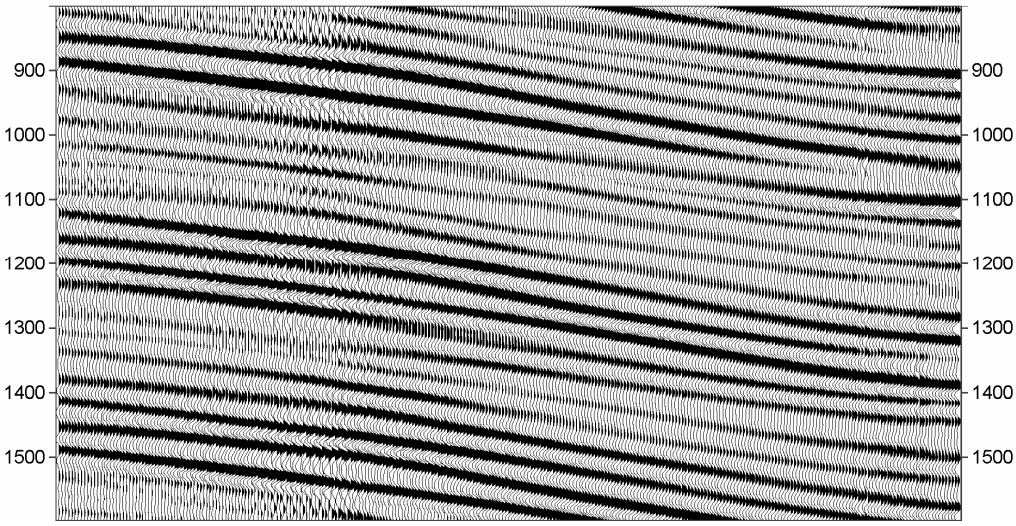
S164A2TC _ modyfikacja TC



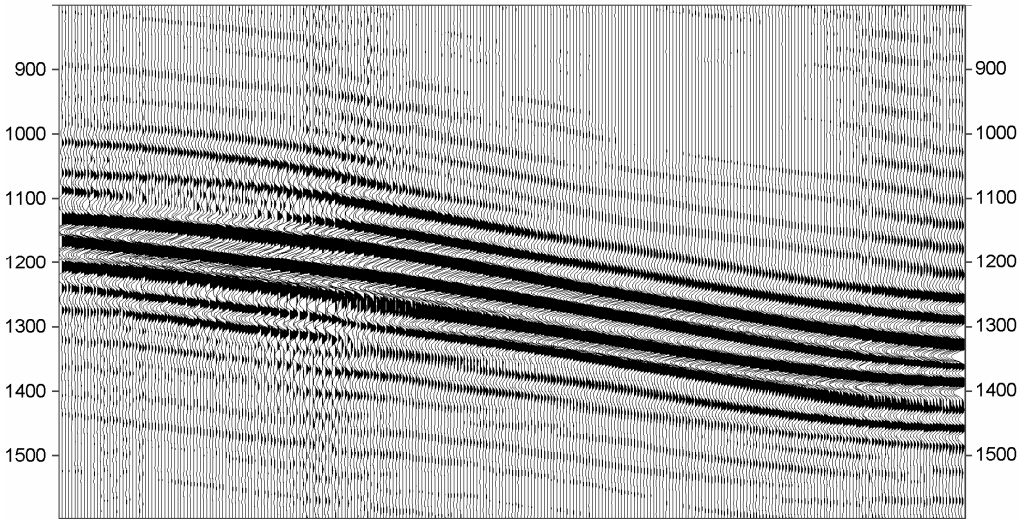
S164A2TD _ modyfikacja TD



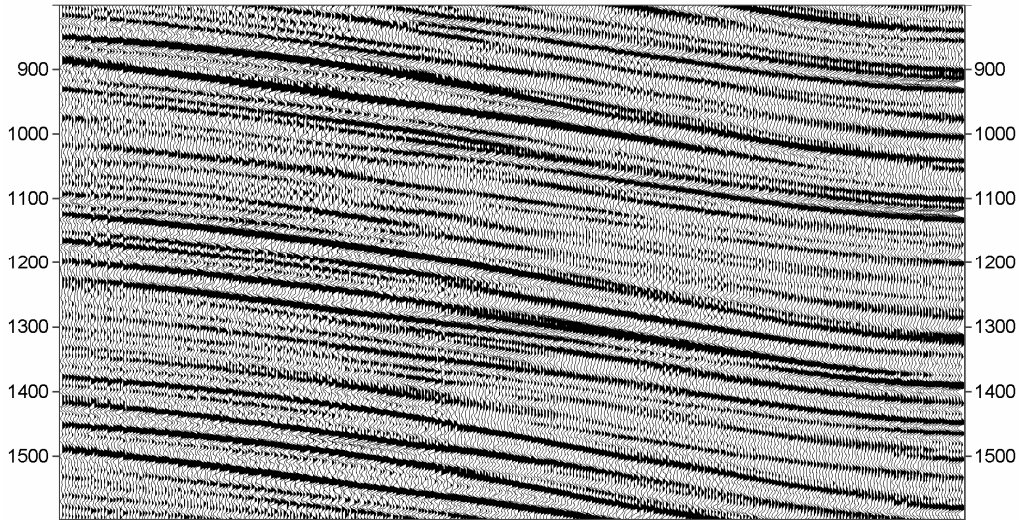
S164A2PA _ modyfikacja PA



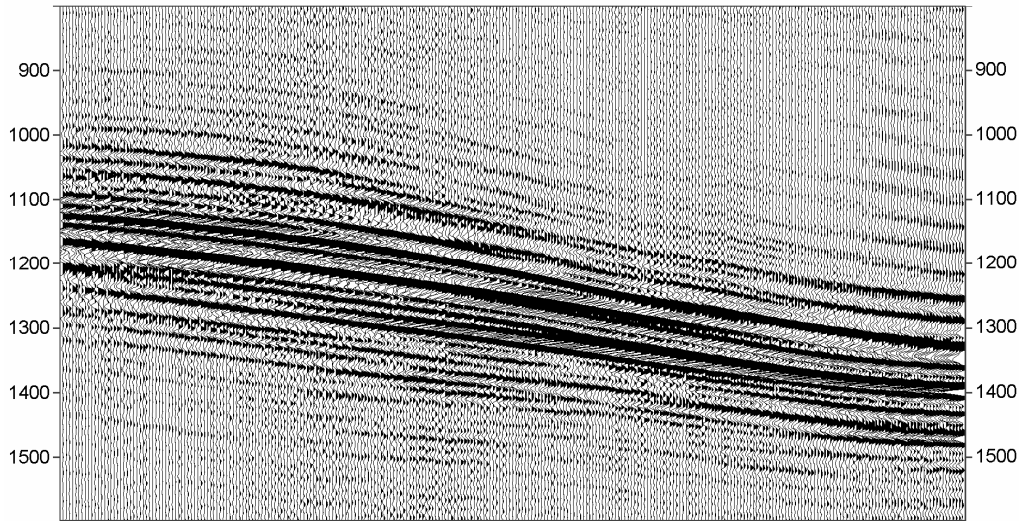
S164A2PB _ modyfikacja PB



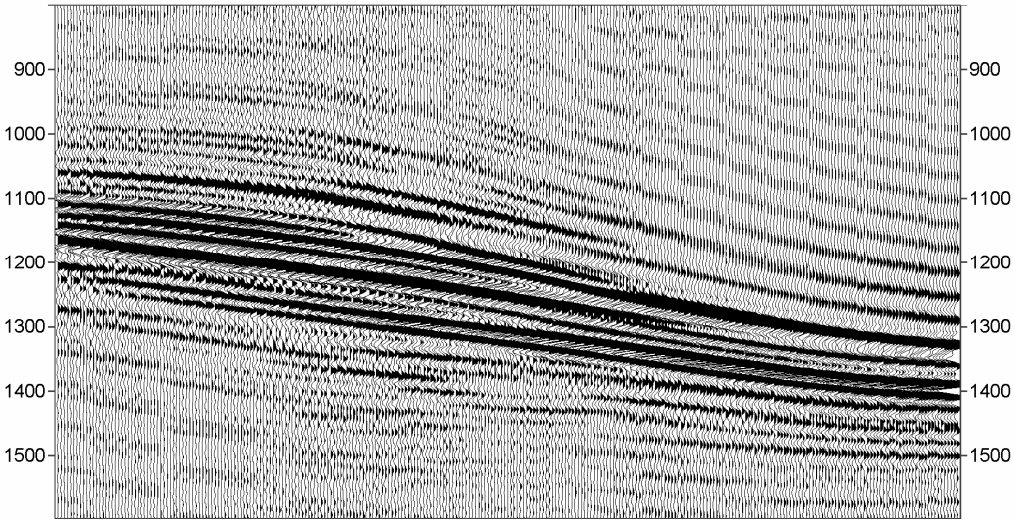
S164A2PC _ modyfikacja PC



S164A2PD _ modyfikacja PD



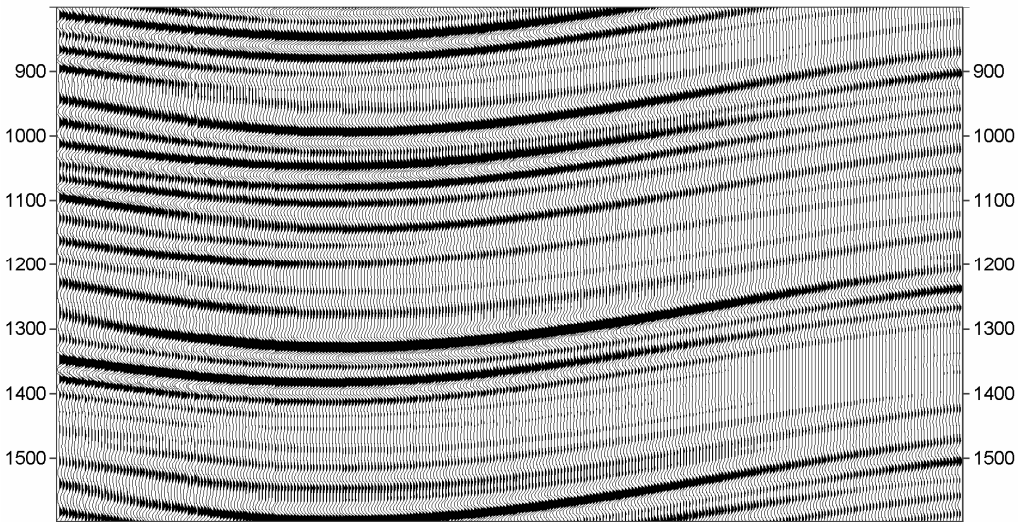
S164A2WA _ modyfikacja WTC



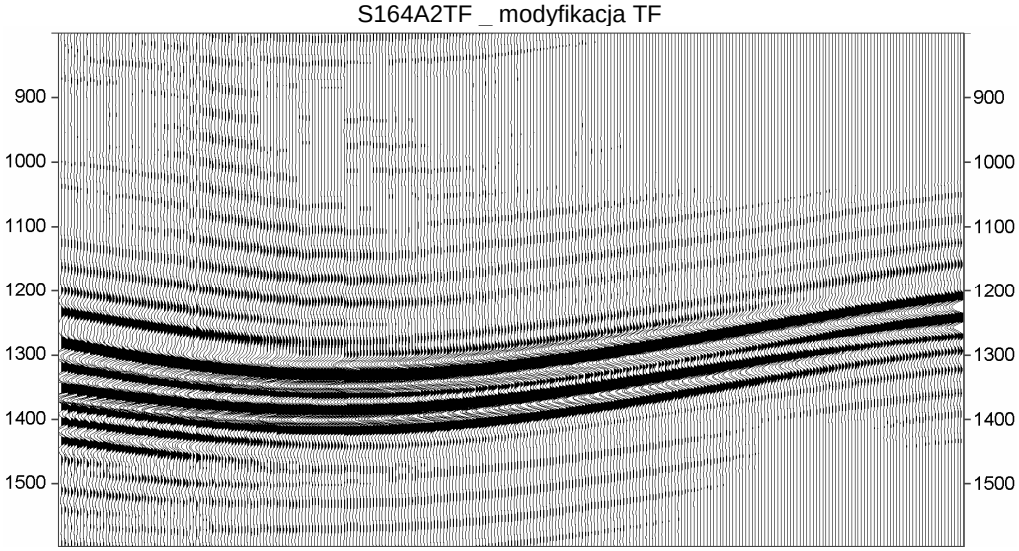
Profil 16-1-04K_MODEL 2_CDP 3021-3301_25 Hz_po modyfikacji

TR164MA2 _ Sekcja INPUT_przecięcie z profilem 9-1-04K na CDP 3230

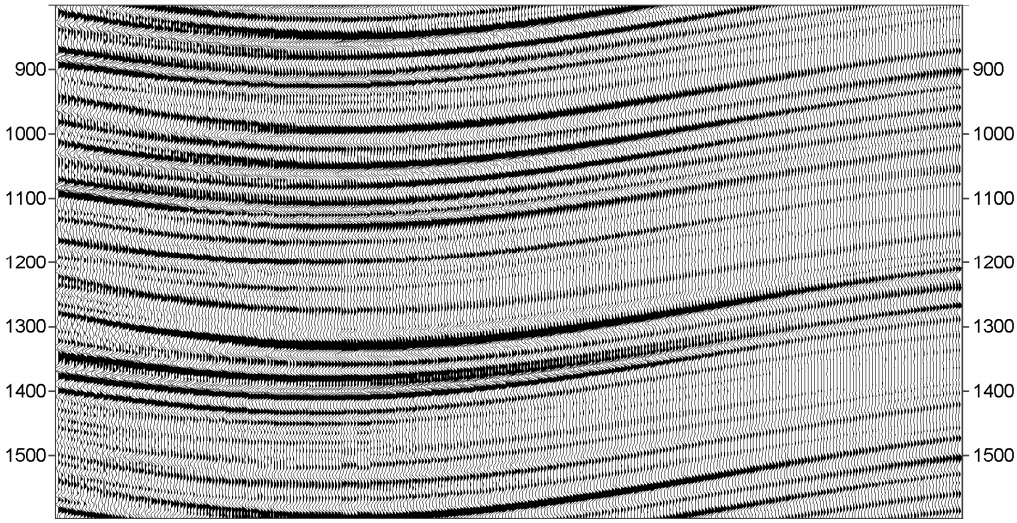
S164A2TE _ modyfikacja TE



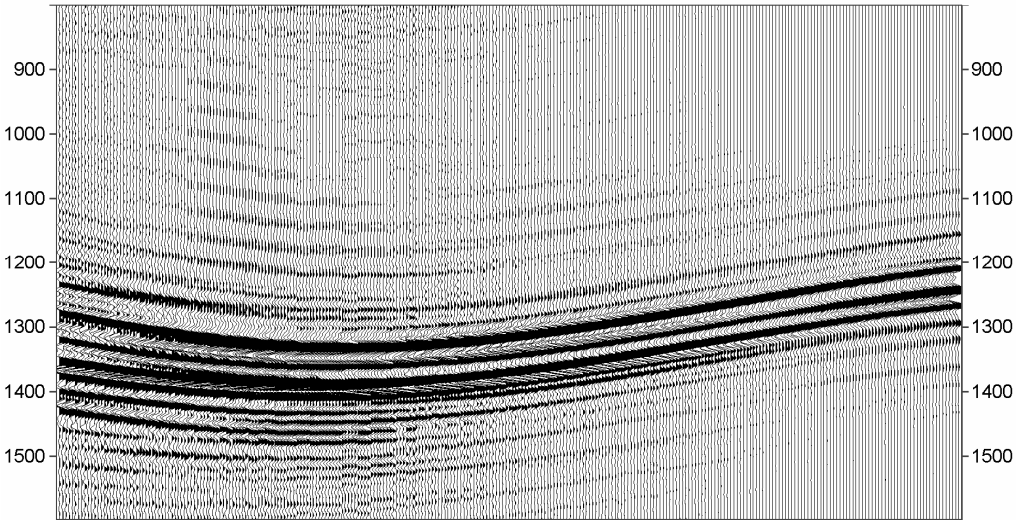
S164A2TF _ modyfikacja TF



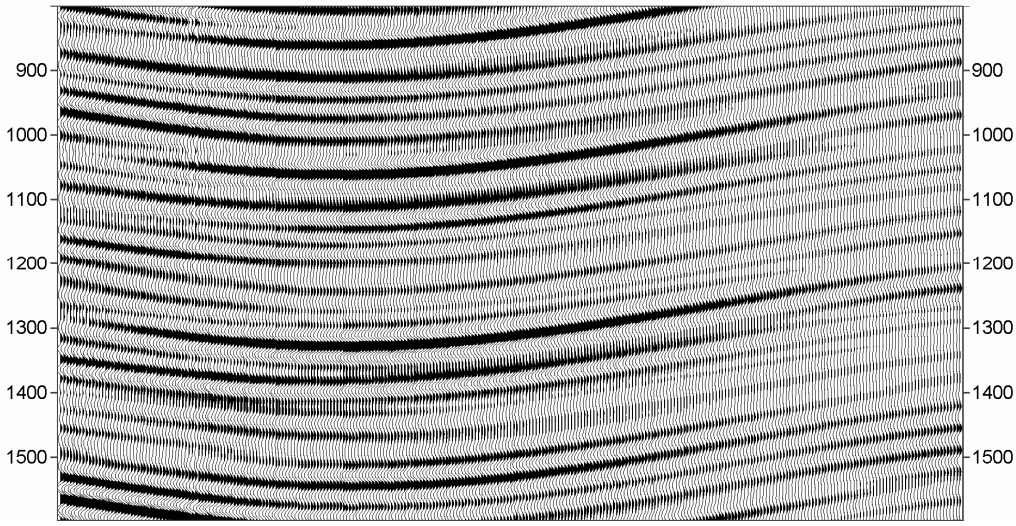
S164A2TG _ modyfikacja TG



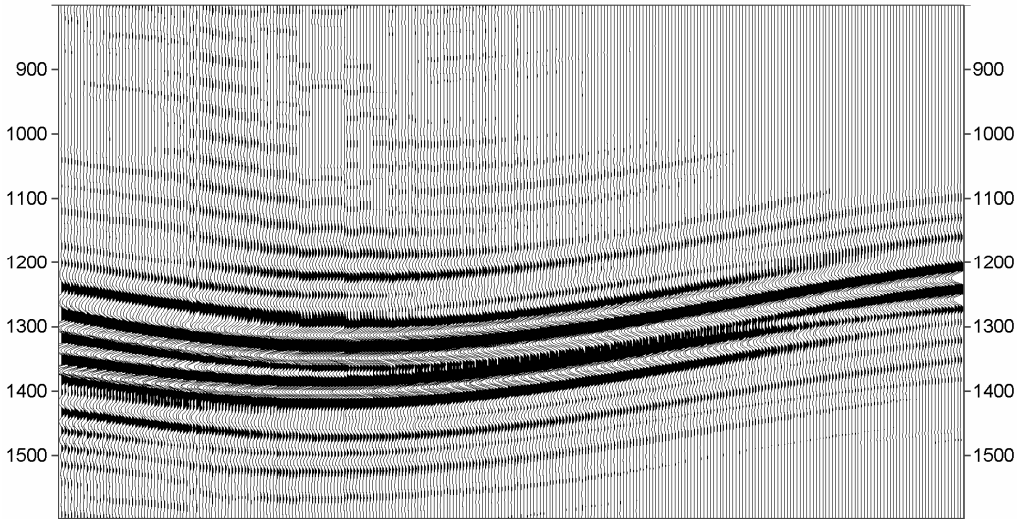
S164A2TH _ modyfikacja TH



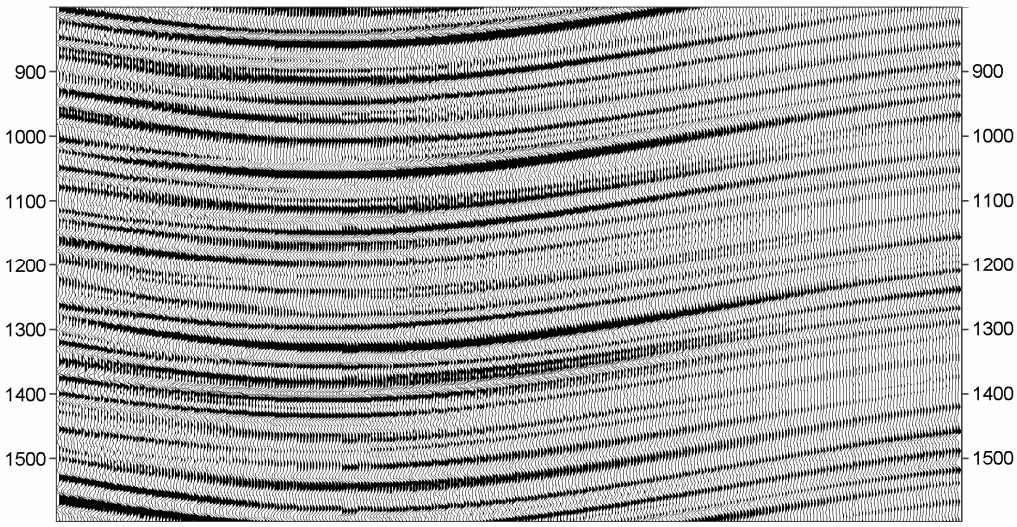
S164A2PE _ modyfikacja PE



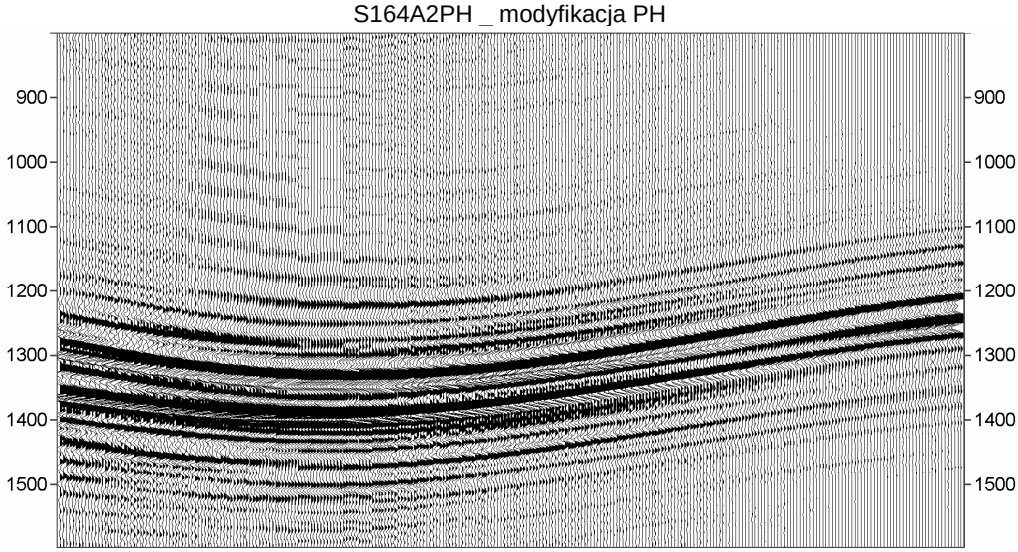
S164A2PF _ modyfikacja PF



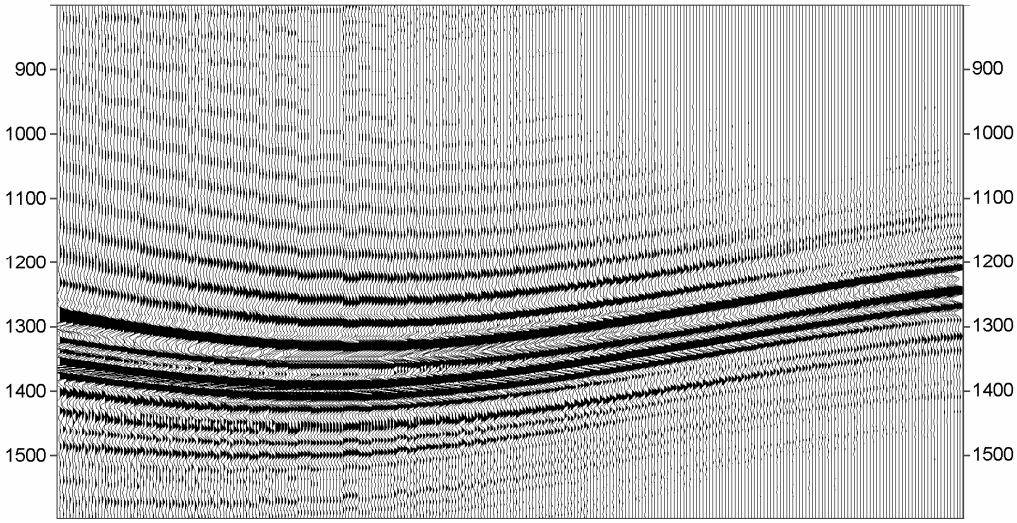
S164A2PG _ modyfikacja PG



S164A2PH _ modyfikacja PH

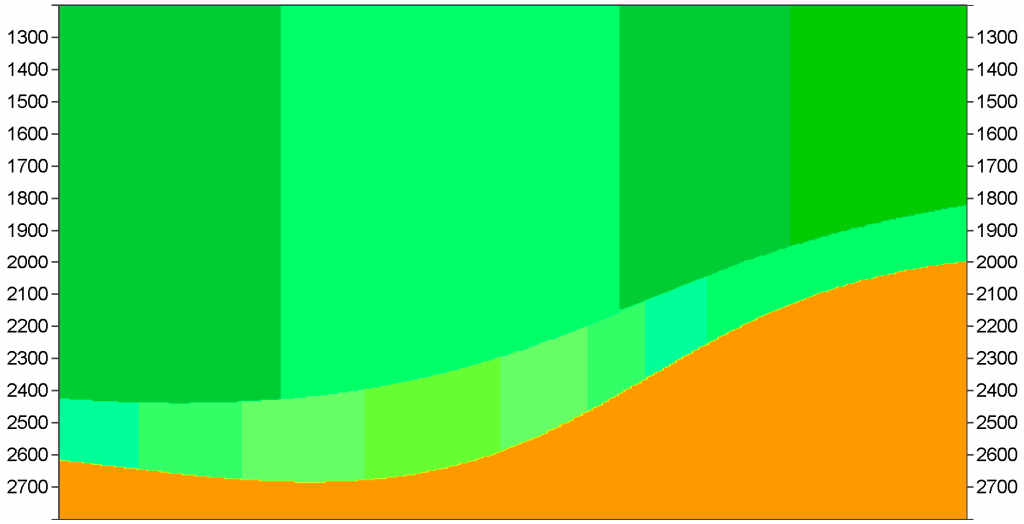


S164A2WB _ modyfikacja WTC

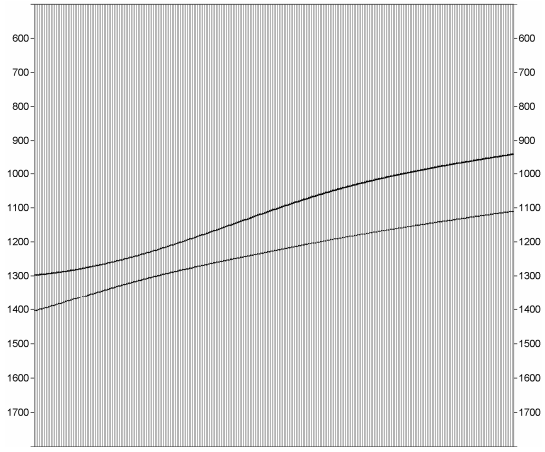


Sekwencja obliczeń B

Profil 6-1-04K_MODEL 4_CDP 2285-2565



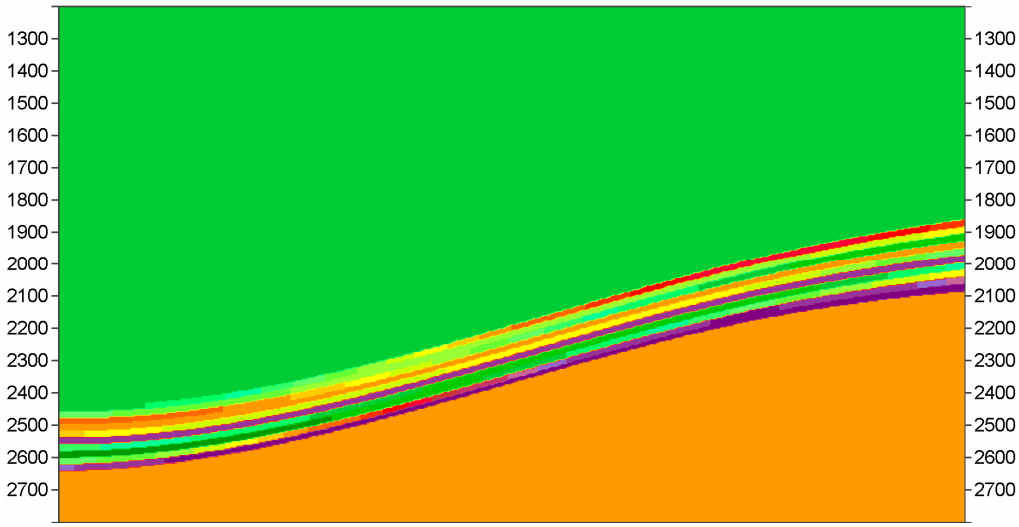
WSP094M4



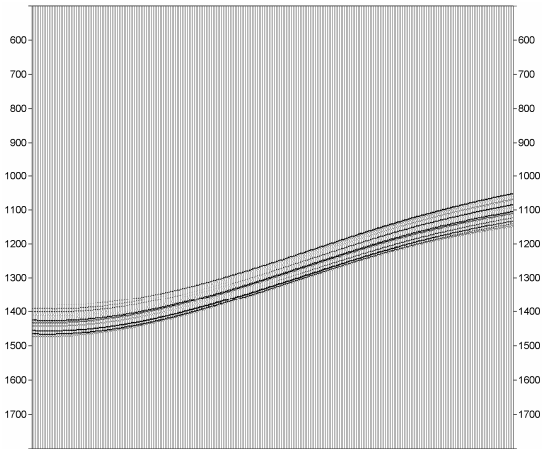
TR064MA4_25 Hz

TR064MB4_60 Hz

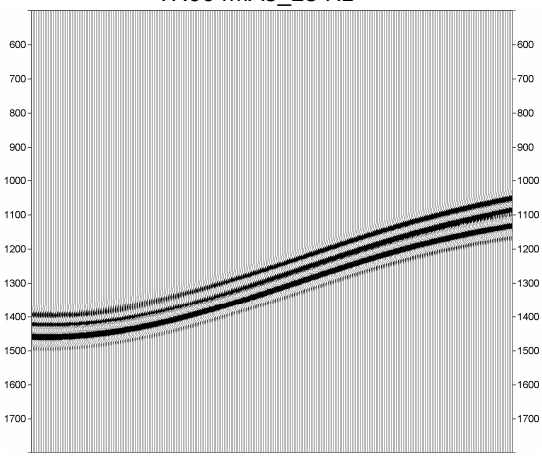
Profil 6-1-04K_MODEL 5_CDP 2285-2565



WSP064M5

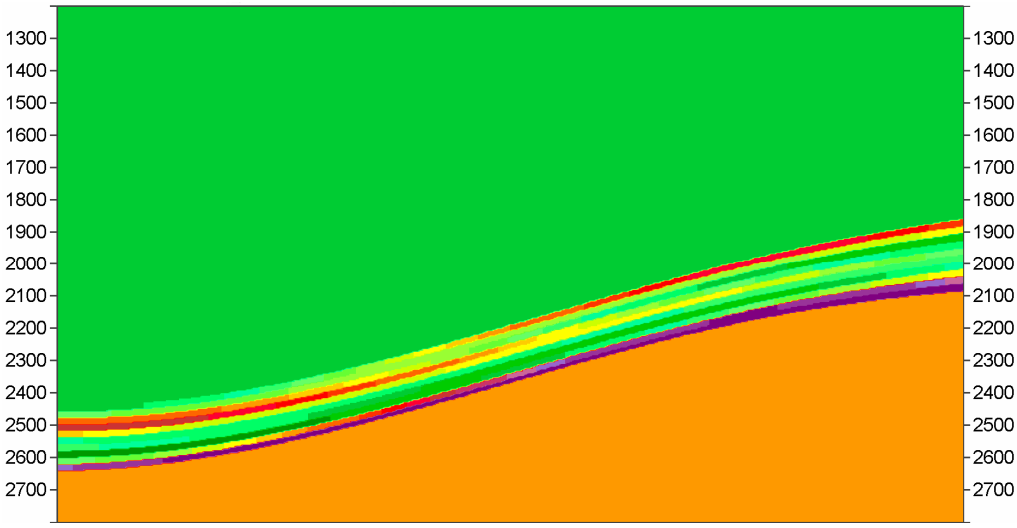


TR064MA5_25 Hz

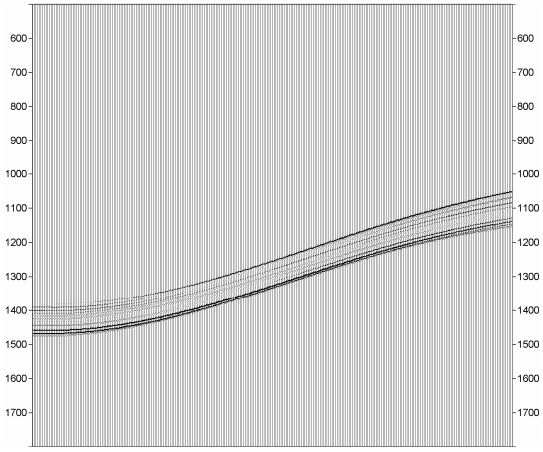


TR064MB5_60 Hz

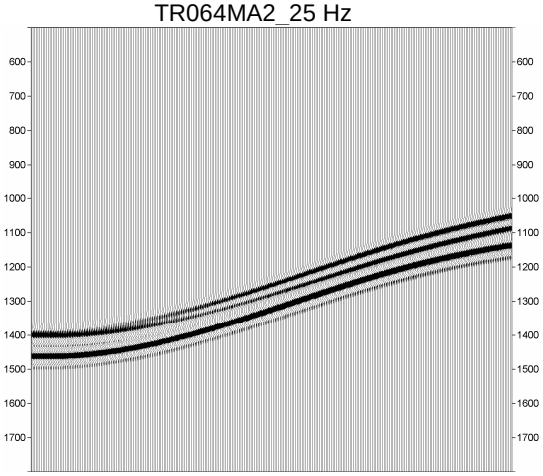
Profil 6-1-04K_MODEL 2_CDP 2285-2565



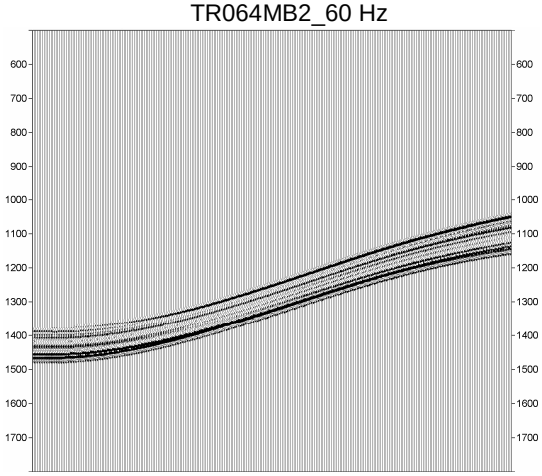
WSP064M2



TR064MA2_25 Hz



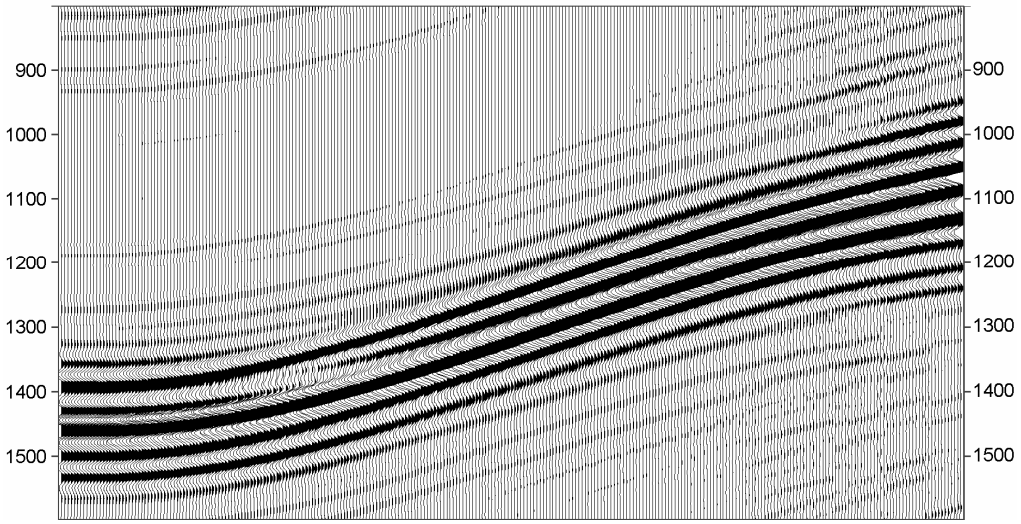
TR064MB2_60 Hz



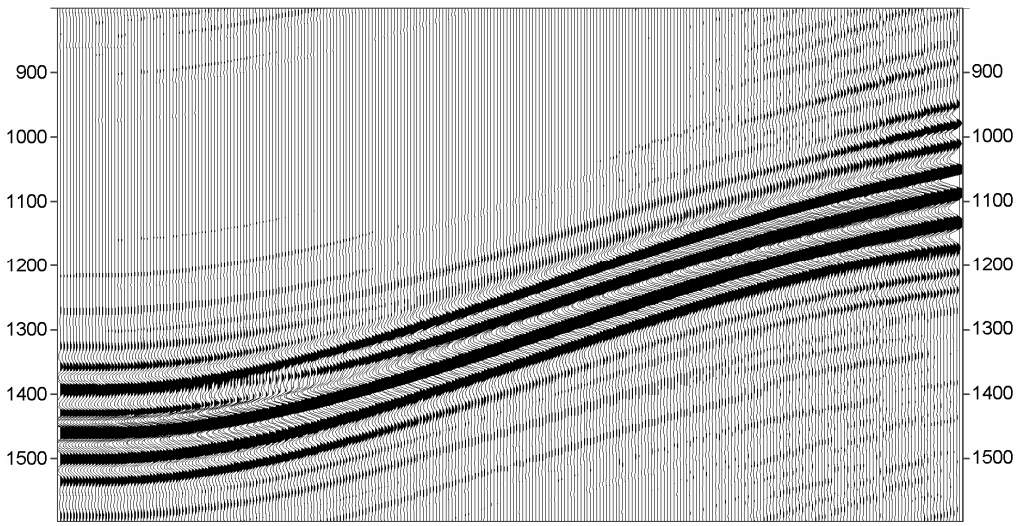
Profil 6-1-04K_MODEL 2_CDP 2285-2565_25 Hz_po modyfikacji

TR064MA2 _ Sekcja INPUT_przecięcie z 16-1-04K na CDP 2425

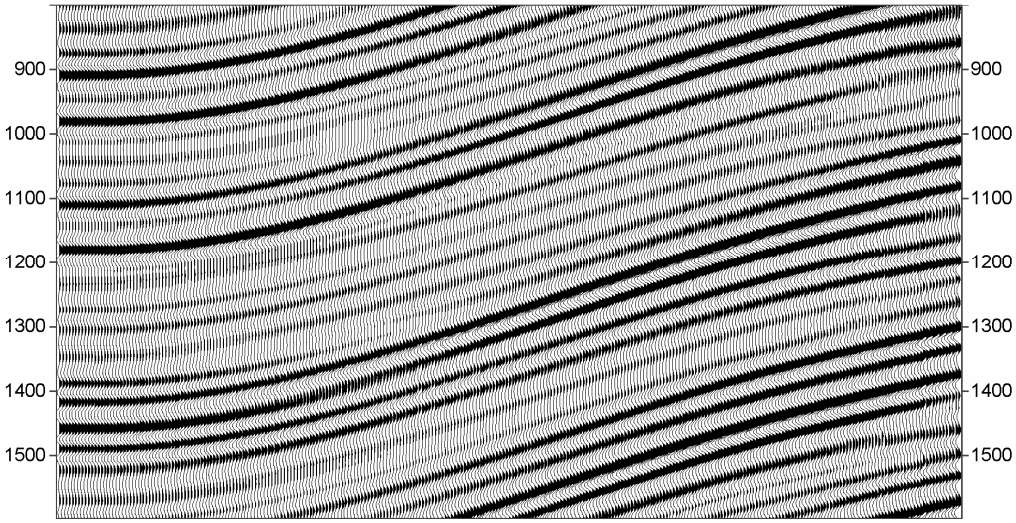
S064MA2A _ modyfikacja A



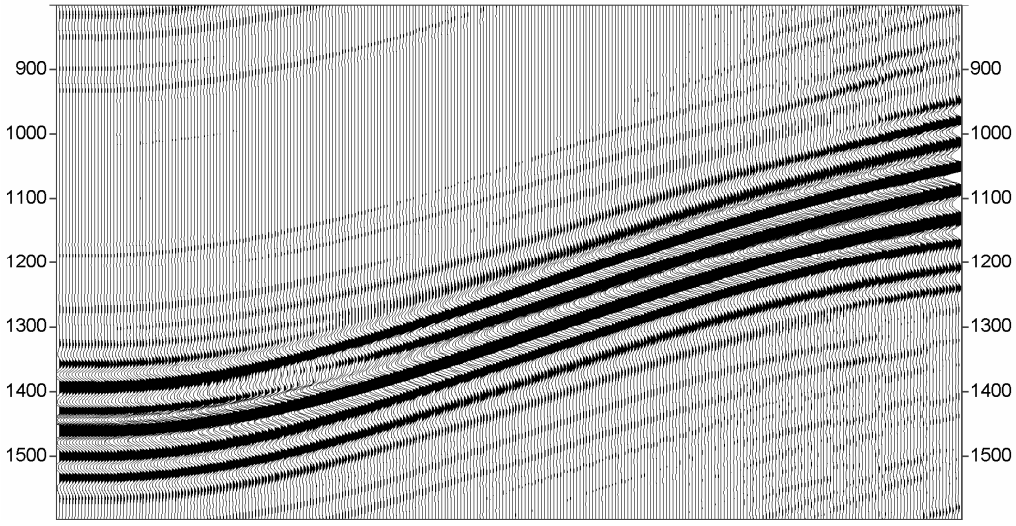
S064MA2B _ modyfikacja B



S064A2TA_ modyfikacja TA

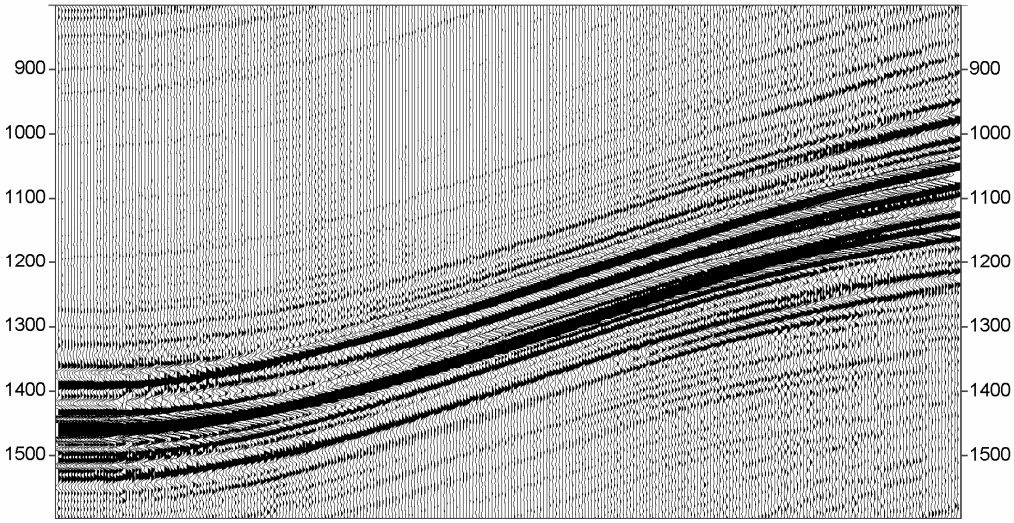


S064A2TB_ modyfikacja TB

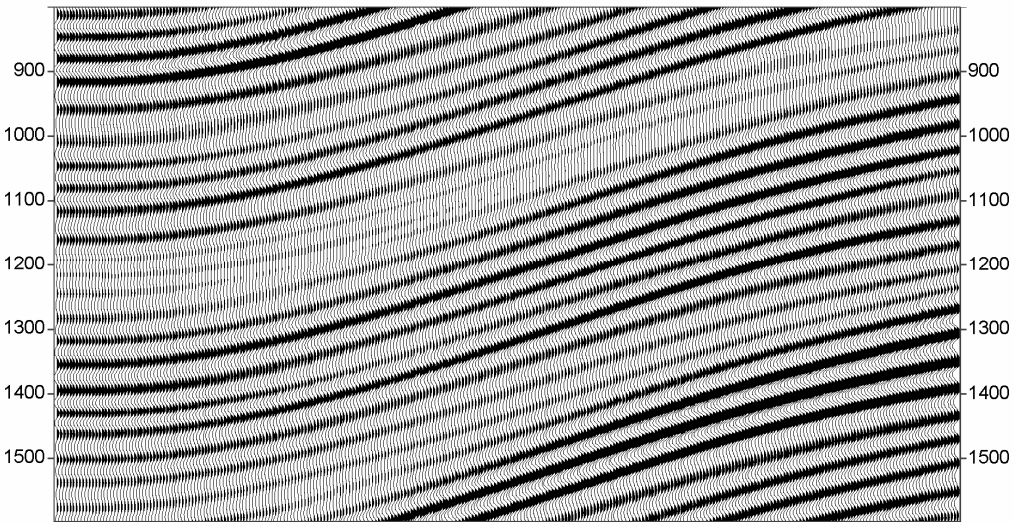


S064A2TC_ modyfikacja TC

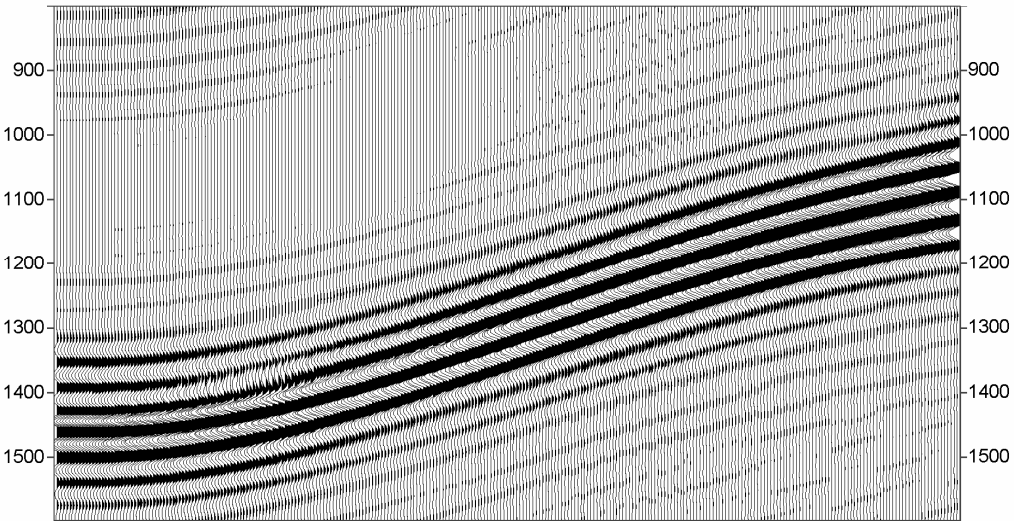
S064A2TD_ modyfikacja TD



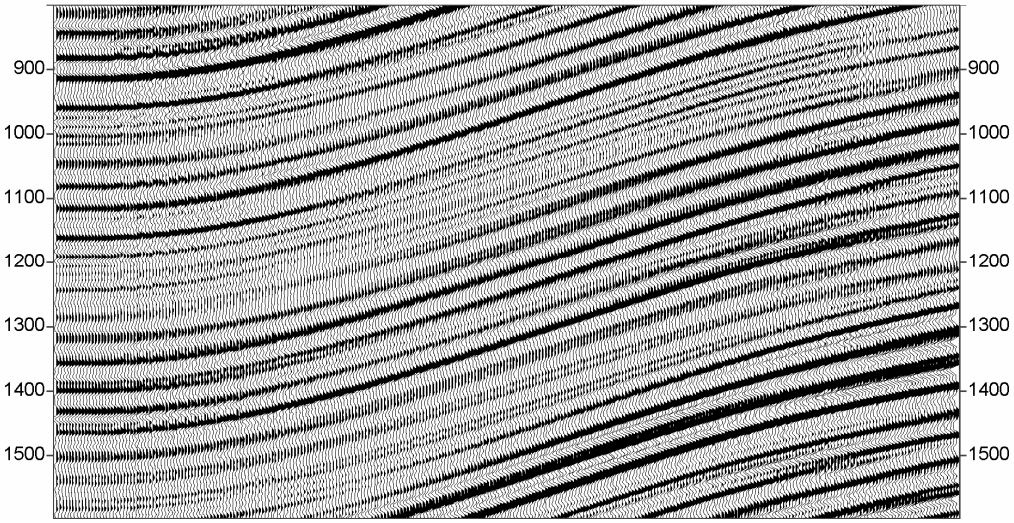
S064A2PA_ modyfikacja PA



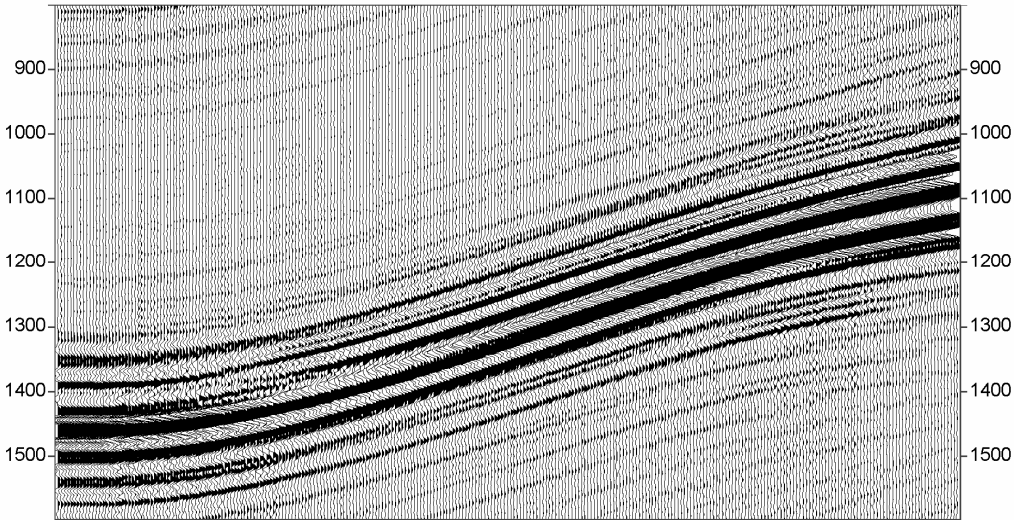
S064A2PB_ modyfikacja PB



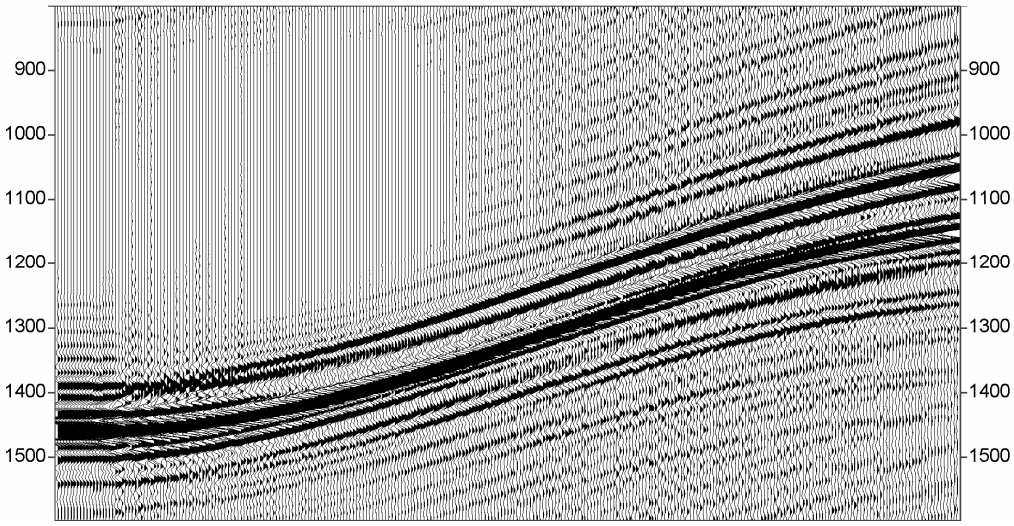
S064A2PC_ modyfikacja PC



S064A2PD_ modyfikacja PD

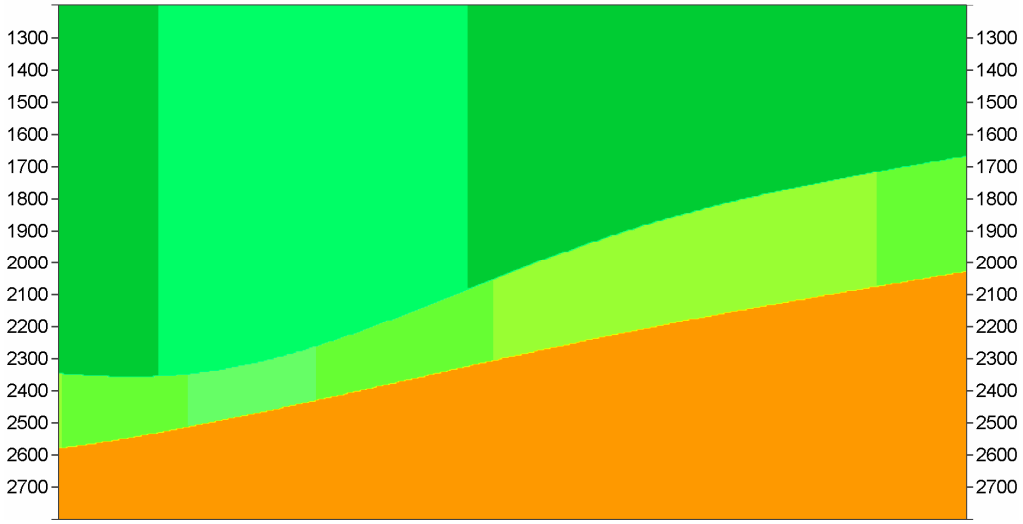


S064MA2W_ modyfikacja WTC

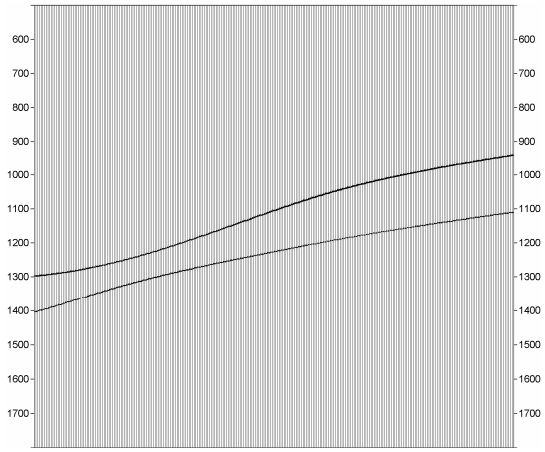


Sekwencja obliczeń C

Profil 9-1-04K_MODEL 4_CDP 2335-2615



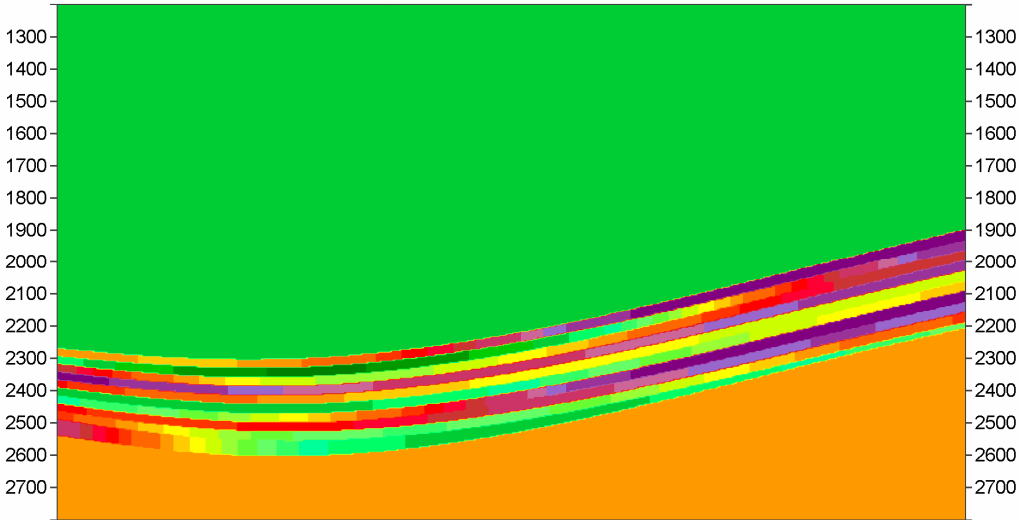
WSP094M4



TR094MA4_25 Hz

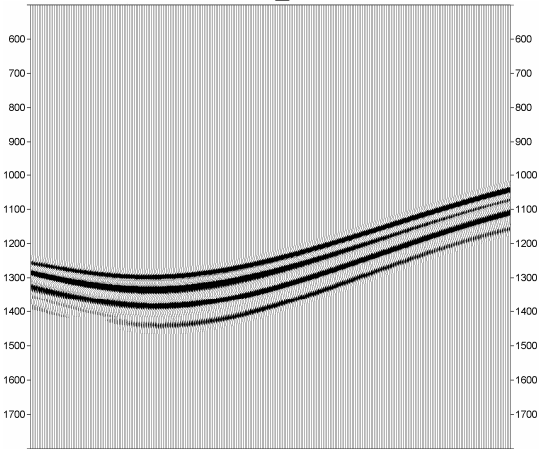
TR094MB4_60 Hz

Profil 9-1-04K _MODEL 2_CDP 2435-2715

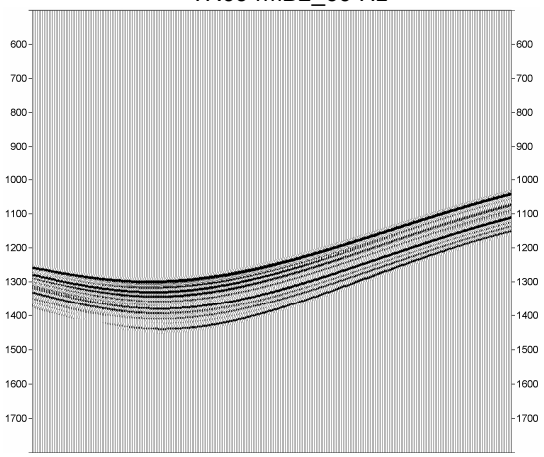


WSP094M2

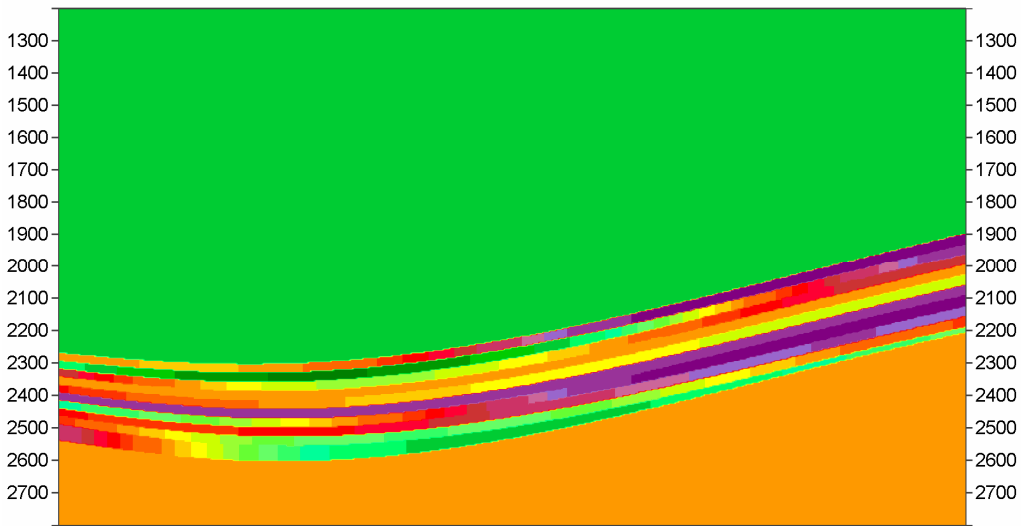
TR094MA2_25 Hz



TR094MB2_60 Hz

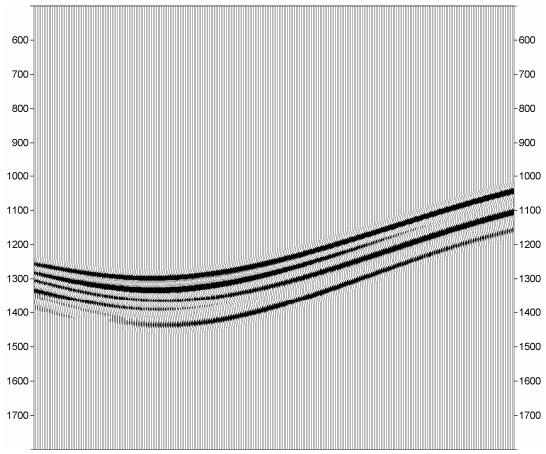


Profil 09-1-04K_MODEL 5_CDP 2435-2715

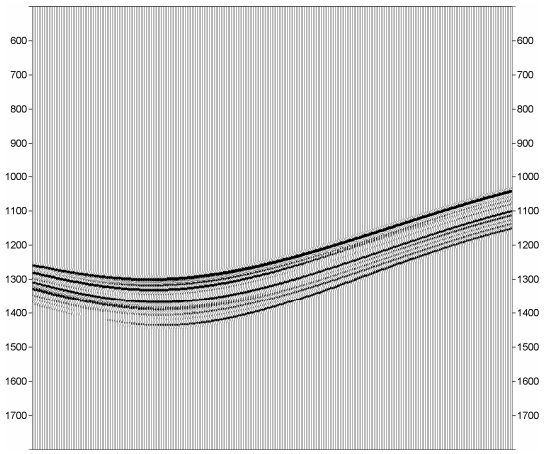


WSP094M5

TR094MA5_25 Hz

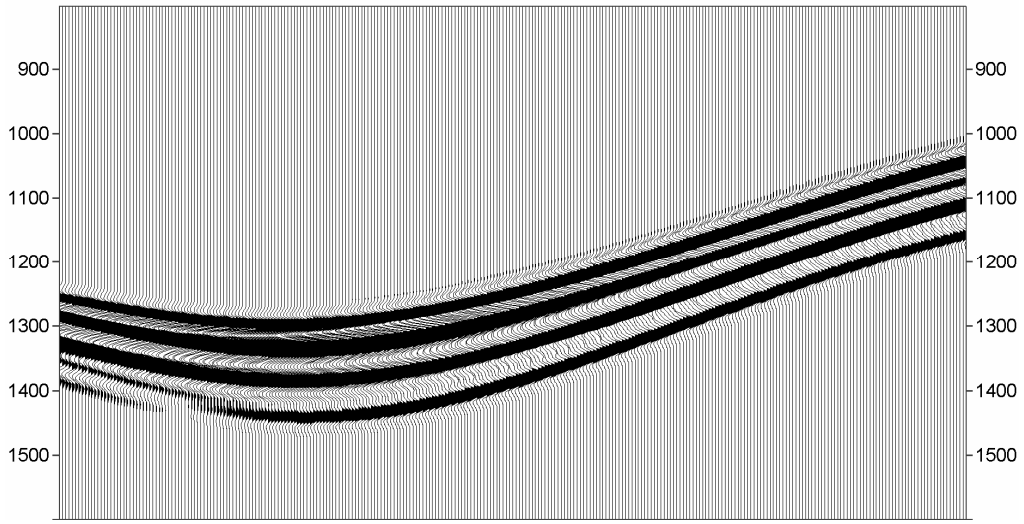


TR094MB5_60 Hz

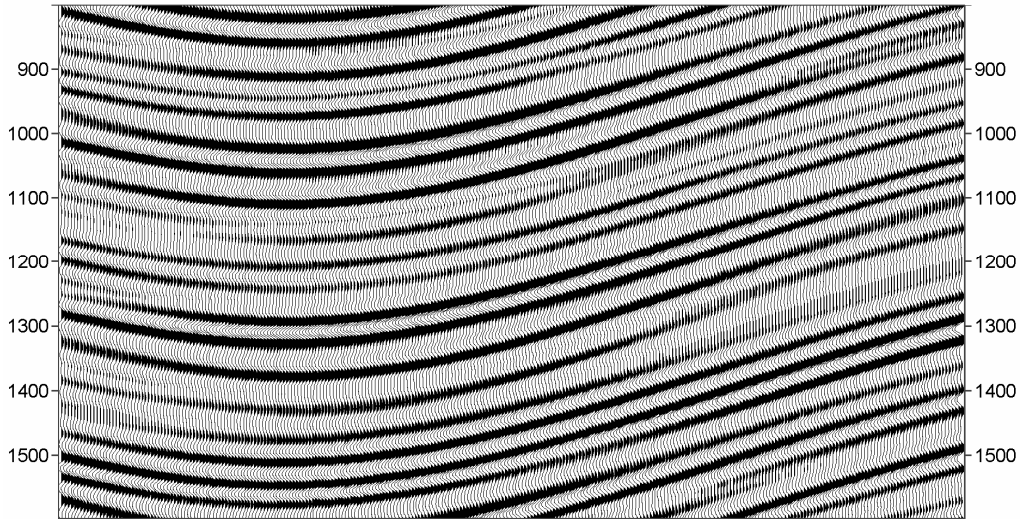


Profil 9-1-04K_MODEL 2_CDP 2435-2715_25 Hz_po modyfikacji

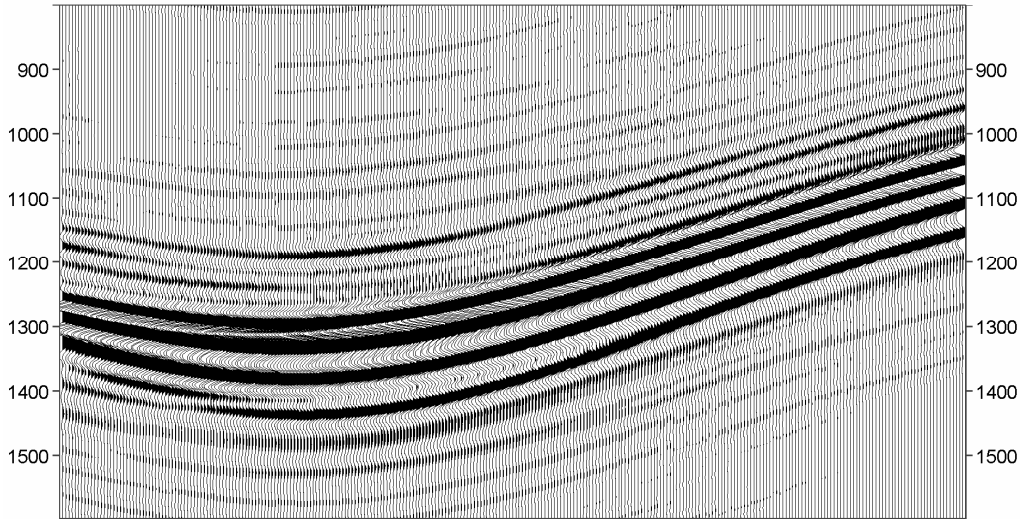
TR094MA2 _ Sekcja INPUT_przecięcie z 16-1-04K na CDP 2575



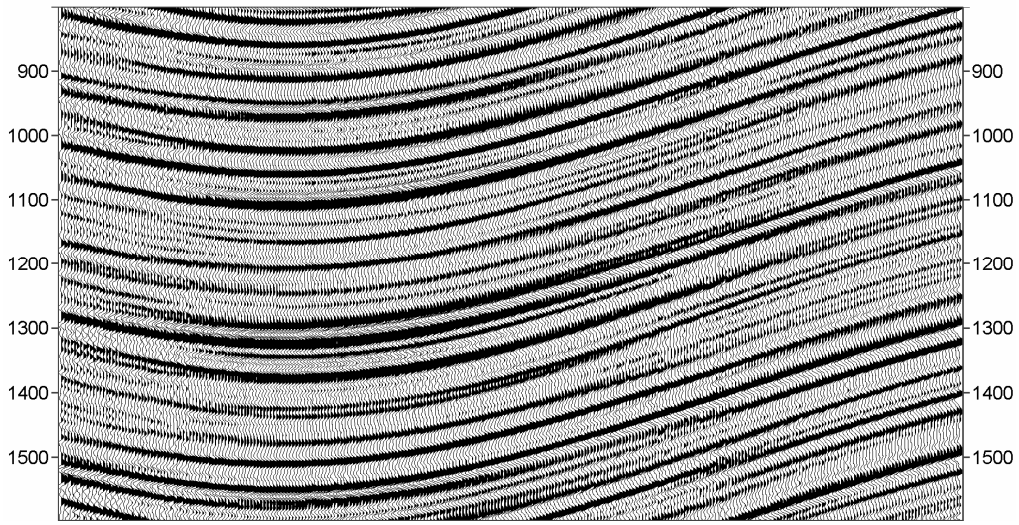
S094A2TA _ modyfikacja TA



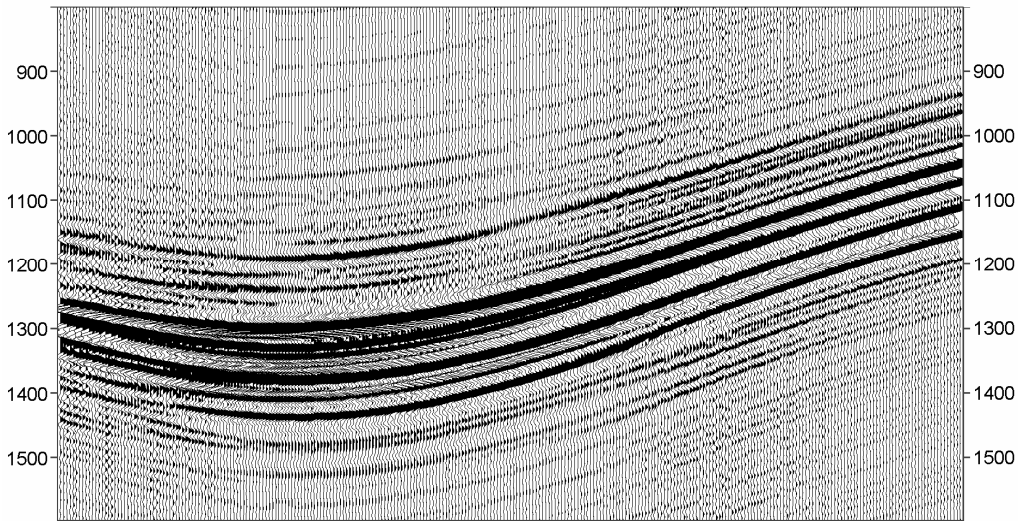
S094A2TB _ modyfikacja TB



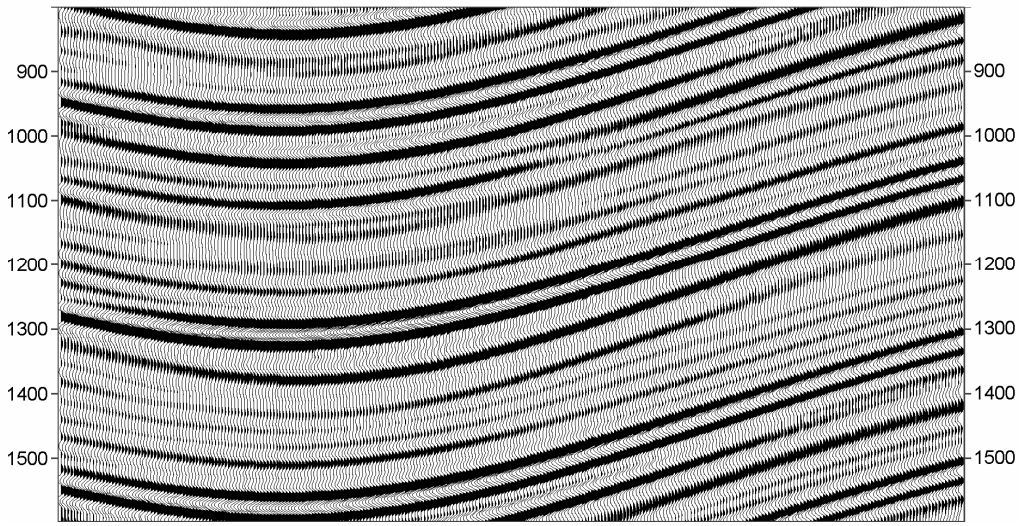
S094A2TC _ modyfikacja TC



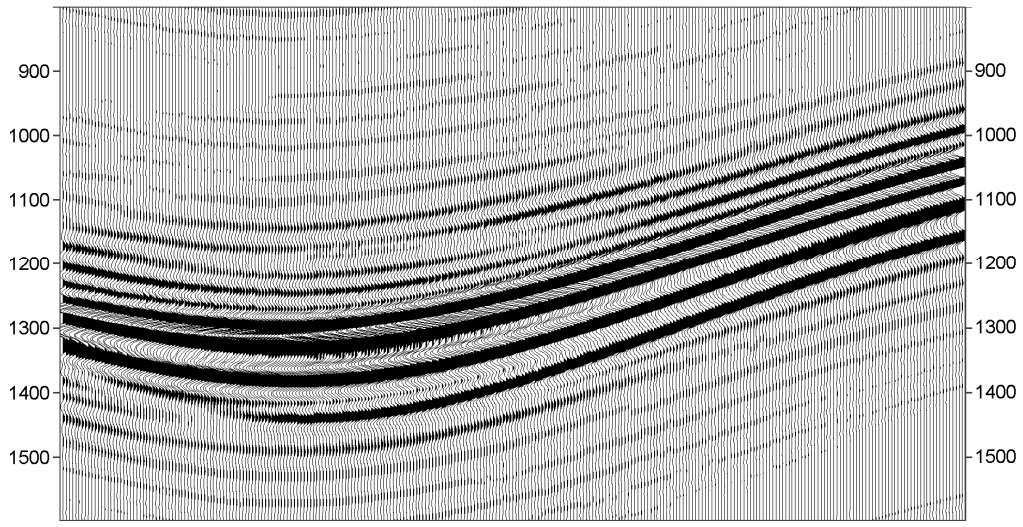
S094A2TD _ modyfikacja TD



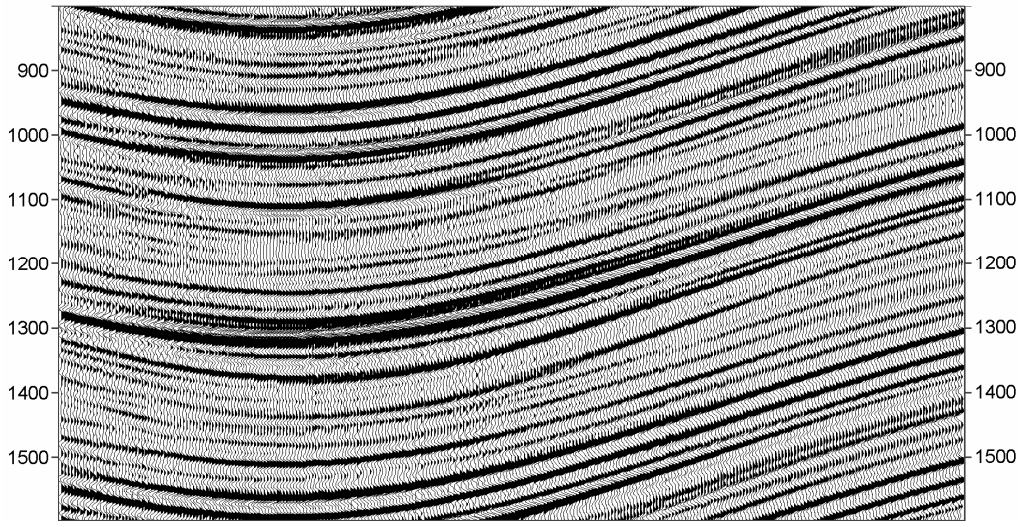
S094A2PA _ modyfikacja PA



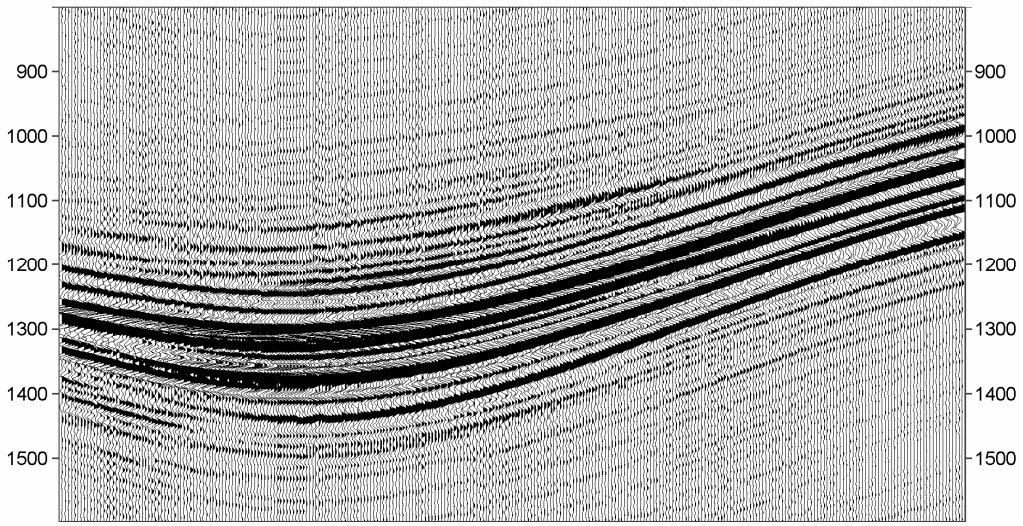
S094A2PB _ modyfikacja PB



S094A2PC _ modyfikacja PC



S094A2PD _ modyfikacja PD



S094A2W _ modyfikacja WTC

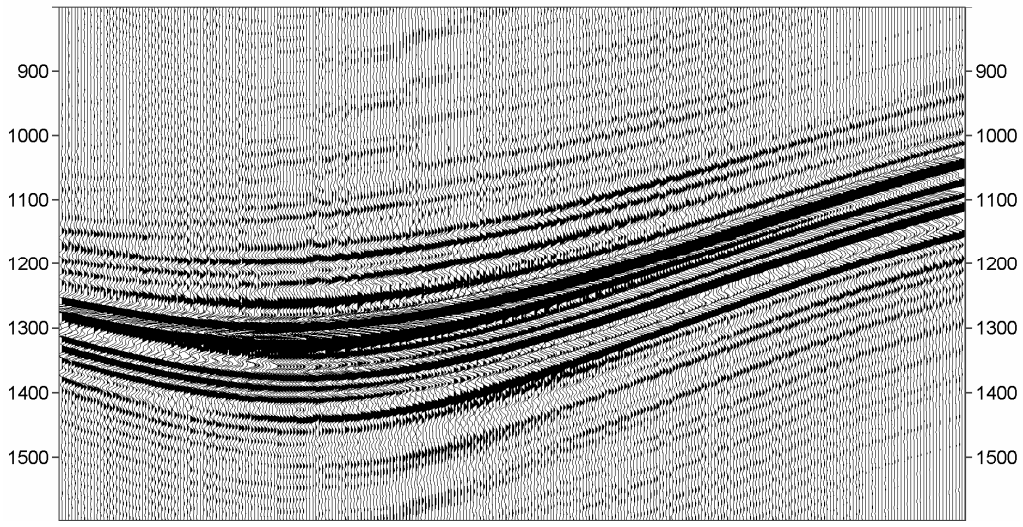


Tabela III.1

Zestawienie prędkości warstwowych w zaproponowanym układzie warstw cienkich w interwale $Jura_{strop}$ – $Jura_{spąg}$, Trasa 852 krzyżówka z profilem 6-1-04K

WARSTWY	Głębokość H [m]	Prędkość V [m/s]	Miąższość w-wy
Warstwa 1	2240	3795	40
	2244	3795	
	2248	3795	
	2252	3795	
	2256	3795	
	2260	3795	
	2264	3795	
	2268	3795	
	2272	3795	
	2276	3795	
	2280	3795	
Warstwa 2	2284	3682	24
	2288	3682	
	2292	3682	
	2296	3682	
	2300	3682	
	2304	3682	
	2308	3682	
Warstwa 3	2312	5805	24
	2316	5805	
	2320	5805	
	2324	5805	
	2328	5805	
	2332	5805	
	2336	5805	
Warstwa 4	2340	5461	28
	2344	5461	
	2348	5461	
	2352	5461	
	2356	5461	
	2360	5461	
	2364	5461	
	2368	5461	
Warstwa 5	2372	3696	28
	2376	3696	
	2380	3696	
	2384	3696	
	2388	3696	
	2392	3696	
	2396	3696	
	2400	3696	
Warstwa 6	2404	6117	24
	2408	6117	
	2412	6117	
	2416	6117	
	2420	6117	
	2424	6117	
	2428	6117	

WARSTWY	Głębokość H [m]	Prędkość V [m/s]	Miąższość w-wy
Warstwa 7	2432	7269	28
	2436	7269	
	2440	7269	
	2444	7269	
	2448	7269	
	2452	7269	
	2456	7269	
	2460	7269	
Warstwa 8	2464	5296	24
	2468	5296	
	2472	5296	
	2476	5296	
	2480	5296	
	2484	5296	
	2488	5296	
Warstwa 9	2492	4422	28
	2496	4422	
	2500	4422	
	2504	4422	
	2508	4422	
	2512	4422	
	2516	4422	
	2520	4422	
Warstwa 10	2524	5473	24
	2528	5473	
	2532	5473	
	2536	5473	
	2540	5473	
	2544	5473	
	2548	5473	
Warstwa 11	2552	7252	20
	2556	7252	
	2560	7252	
	2564	7252	
	2568	7252	
	2572	7252	
Warstwa 12	2576	4800	44
	2580	4800	
	2584	4800	
	2588	4800	
	2592	4800	
	2596	4800	
	2600	4800	
	2604	4800	
	2608	4800	
	2612	4800	
	2616	4800	
	2620	4800	

Tabela 2

Zestawienie prędkości warstwowych w zaproponowanym układzie warstw cienkich w interwale $Jura_{strop}$ – $Jura_{spąg}$, trasa 130, krzyżówka z profilem 9-1-04K

WARSTWY	Głębokość H [m]	Prędkość V [m/s]	Miąższość w-wy
Warstwa 1	2320	3712	24
	2324	3712	
	2328	3712	
	2332	3712	
	2336	3712	
	2340	3712	
	2344	3712	
Warstwa 2	2348	5837	12
	2352	5837	
	2356	5837	
	2360	5837	
Warstwa 3	2364	5900	16
	2368	5900	
	2372	5900	
	2376	5900	
	2380	5900	
Warstwa 4	2384	5660	12
	2388	5660	
	2392	5660	
	2396	5660	
Warstwa 5	2400	4834	12
	2404	4834	
	2408	4834	
	2412	4834	
Warstwa 6	2416	4247	12
	2420	4247	
	2424	4247	
	2428	4247	

WARSTWY	Głębokość H [m]	Prędkość V [m/s]	Miąższość w-wy
Warstwa 7	2432	4725	12
	2436	4725	
	2440	4725	
	2444	4725	
Warstwa 8	2448	4513	16
	2452	4513	
	2456	4513	
	2460	4513	
	2464	4513	
Warstwa 9	2468	4546	12
	2472	4546	
	2476	4546	
	2480	4546	
Warstwa 10	2484	5976	12
	2488	5976	
	2492	5976	
	2496	5976	
Warstwa 11	2500	7250	8
	2504	7250	
	2508	7250	
Warstwa 12	2512	4800	28
	2516	4800	
	2520	4800	
	2524	4800	
	2528	4800	
	2532	4800	
	2536	4800	
	2540	4800	

Rozdział IV

Ocena zdolności metody sejsmicznej (pola falowego) do monitorowania procesu zatłaczania i przepływu CO2 na obiekcie złoża gazu Łąkta

Najprościej charakteryzując sposób monitoringu sejsmicznego można użyć następującej definicji – pytania:

„czy i jak zmiany właściwości fizycznych ośrodka wywołane procesem magazynowania CO2 mogą być zarejestrowane narzędziami metody sejsmicznej".

Ponieważ, jak już wspomniano operujemy w przestrzeni wirtualnej, odpowiedź na powyższe pytanie pozostanie w sferze wirtualnej, u podstaw której znajdują się wyniki obliczeń modelowych (sekwencje A, B i C).

Dla każdego z profili wykonano modelowanie sejsmiczne dla modelu podstawowego grubowarstwowego, cienkowarstwowego oraz cienkowarstwowego po modyfikacjach.

Sekwencja A – prezentacja graficzna obejmuje kolejno:

- model prędkościowo-głębokościowy (grubowarstwowy)
- sekcję współczynników odbicia
- sekcje sejsmiczne w wersji standardowej i wysokiej częstotliwości (25 Hz i 60 Hz).

W dalszej kolejności widzimy model cienkowarstwowy o wyraźnej kolorystyce prędkości zmiennych wertykalnie i horyzontalnie (tzw. MOD2) i podobnie, jak wyżej wynikami modelowania sejsmicznego. Wyklinowanie warstwy o wybranej prędkości skutkuje zanikiem odpowiedniego refleksu prędkości.

Kolejna opcja modelu (tzw. MOD5) charakteryzuje się zmianą prędkości w wybranych warstwach. Przy pomocy prędkości sejsmicznych symulowano zmiany własności ośrodka stosując następującą ideologię:

wprowadzenie CO2 do danej warstwy obniża jego twardość akustyczną, ale może powodować sprężenie i rozprężenie warstw nadległych i podścielających.

Porównując kolejne obrazy falowe zauważa się wyraźną zmienność dynamiki refleksów, co pozwala przypuszczać, iż zjawisko to powinno być obecne nie tylko na ekranie komputera, ale również w rzeczywistym ośrodku geologicznym.

Dalsze obliczenia symulują zastosowanie sejsmiki wysokorozdzielczej. Proces ten zrealizowany jest wg rozwiązania autorskiego INiG („*Sposób zwiększenia dokładności i głębokości rozpoznania ośrodka geologicznego na drodze modyfikacji charakterystyki spektralnej rejestrowanych drgań sejsmicznych*" – zgłoszenie patentowe nr 394446, twórcy: Halina Jędrzejowska-Tyczkowska, Krystyna Żukowska, Irena Irlik).

Obliczone pole falowe poddano różnorodnym modyfikacjom (tabela IV.1), uzyskując w ten sposób efekt „broad band seismic". Porównując wyniki dla MOD2 i MOD5 w sekwencji A zauważa się, iż najlepsze odwzorowanie uzyskuje się przy zastosowaniu modyfikacji PD dla fragmentu sekcji w zakresie CDP 2812-3092 oraz modyfikacji WTC dla fragmentu sekcji w zakresie 3021-3301. Potwierdza to wcześniej [Jędrzejowska- Tyczkowska H., Dawis T.L., 2012] wysuwane wnioski, iż różnie zlokalizowane obiekty, nawet tej samej formacji, wymagają różnie ustalonego processingu. To jest aspekt o którym trzeba obowiązkowo pamiętać przy realizacji tak subtelnych zadań, jak monitorowanie procesu szczelinowania hydraulicznego lub też sekwestracji CO2.

Sekwencje B i C – do analogicznych konkluzji prowadzi analiza wyników obliczeń sekwencji B i C, dla profili tnących obszar badań prostopadle do kierunku strefy nasuwczej Łąkty (profil 6-1-04K). Tutaj, ze względu na większe upady warstw efekt zmiany właściwości ośrodka jest bardziej spektakularny, szczególnie dla sygnału 60 Hz (TR064MB2_60Hz). Wprowadzenie zapisu wysokoczęstotliwościowego, szczególnie w modyfikacji A, B oraz TB trafnie lokalizuje zmianę w ośrodku. Na profilu 9-1-04K (sekwencja C) modyfikacja TB (S094A2TB_modTB) najdobitniej ukazuje zmianę właściwości sprężystych ośrodka.

Tabela IV.1

Opis modyfikacji

Modyfikacja A
Modyfikacja zastosowana do profilu 6-1-04K
Widmo amplitudowe wzięto z trasy profilu z 6-1-04k leżącej na przecięciu z profilem 16-1-04k. Faza=0.
Parametry podnoszenia 0.7, 25.0, 90.0, 100.0, 0.0
Modyfikacja B
Modyfikacja zastosowana do profilu 6-1-04K
Widmo amplitudowe wzięto z trasy profilu z 6-1-04k leżącej na przecięciu z profilem 16-1-04k. Faza=0.
Parametry podnoszenia 0.7, 20.0, 90.0, 100.0, 0.0

Modyfikacja TA
Widmo amplitudowe i fazowe z trasy leżącej na przecięciu danego profilu z innym profilem.
Parametry podnoszenia 0.7, 25.0, 70.0, 90.0 0.0

Modyfikacja TB
Widmo amplitudowe z trasy leżącej na przecięciu danej profilu z innym profilem. Faza=0.
Parametry podnoszenia 0.7, 25.0, 70.0, 90.0 0.0

Modyfikacja TC
Widmo amplitudowe i fazowe z trasy Rc leżącej na przecięciu danego profilu z innym profilem.
Parametry podnoszenia 0.7, 25.0, 70.0, 90.0 0.0

Modyfikacja TD
Widmo amplitudowe z trasy Rc leżącej na przecięciu danego profilu z innym profilem. Faza=0.
Parametry podnoszenia 0.7, 25.0, 70.0, 90.0 0.0

Modyfikacja PA
Widmo amplitudowe i fazowe z trasy przecinającego się profilu z danym profilem.
Parametry podnoszenia 0.7, 25.0, 70.0, 90.0, 0.0

Modyfikacja PB
Widmo amplitudowe z trasy przecinającego się profilu z danym profilem. Faza=0.
Parametry podnoszenia 0.7, 25.0, 70.0, 90.0, 0.0

Modyfikacja PC
Widmo amplitudowe i fazowe z trasy Rc przecinającego się profilu z danym profilem.
Parametry podnoszenia 0.7, 25.0, 70.0, 90.0, 0.0

Modyfikacja PD
Widmo amplitudowe i fazowe z trasy Rc przecinającego się profilu z danym profilem. Faza=0.
Parametry podnoszenia 0.7, 25.0, 70.0, 90.0, 0.0

Modyfikacja WTC
Widmo amplitudowe ustalone przez użytkownika

Podsumowanie

Już kolejny raz w ramach projektu, udowodniono „sposobność” metody sejsmicznej do monitorowania dynamicznych zmian właściwości ośrodka.

Niestety, są to tylko eksperymenty obliczone. Może już czas, aby skonfrontować teorię z praktyką !

Literatura:

[1] Jędrzejowska- Tyczkowska H., 2009: Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO2 wraz z programem ich monitorowania. Zadanie 1.1.18. *Opracowanie programu monitoringu dla wytypowanych składowisk*. Dokumentacja archiwalna INiG.

[2] Jędrzejowska- Tyczkowska H., 2010: Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO2 wraz z programem ich monitorowania. Zadanie 1.1.18. *Opracowanie programu monitoringu dla wytypowanych składowisk*. Dokumentacja archiwalna INiG.

[3] Jędrzejowska-Tyczkowska H., 2010. Sejsmika 4D – najefektywniejsze narzędzie monitorowania i weryfikacji w zadaniach sekwestracji CO2. Prace Naukowe INiG, nr 166, str. 1-89.

[4] Jędrzejowska- Tyczkowska H., Dawis T.L., 2012. Wanted and unwanted effects of surface seismic data resolution improvements. First Break, Vol. 30, pp. 85-92.

[5] Nebelska U., Wiśniewska M., 2001: Opracowanie wyników prac reinterpretacyjnych. Temat: KAMYK, rok 2001. Geofizyka Kraków

[6] Szott W., i zespół, 2012. Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO2 wraz z programem ich monitorowania. Zadanie 1.1.16. Modelowanie dynamiczne procesów zatłaczania CO2 do składowiska. Struktura złoża gazu ziemnego Łąkta. Dokumentacja archiwalna INiG.