

ZAKŁAD BADAŃ NIENISZCZĄCYCH



KPG Sp. z o.o.

31-352 Kraków, ul.Pod Strzechą 19

tel./fax.: 12-637-05-14

kom.: 601-43-90-14

e-mail: zbn@zbn-krakow.pl

Badania georadarowe na terenie Zamku Biskupów Krakowskich w Bodzentynie, woj.świętokrzyskie

Badania wykonał zespół w składzie:

dr inż. Wiesław Nawrocki – kierownik zespołu

mgr inż. Wojciech Antosiewicz

mgr Joanna Pieczonka

Kraków – listopad – 2019 r.

SPIS TREŚCI

	str.
1. WSTĘP	1
2. BADANIA GEORADAROWE	2
3. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ GEORADAROWYCH.....	2

SPIS ZAŁĄCZNIKÓW

Wyniki badań georadarowych. Skala 1:200	Załącznik nr 1
Echogramy z profili georadarowych.....	Załącznik nr 2
Opis metody georadarowej.....	Załącznik nr 3
Mapa geodezyjna. Skala 1:500	Załącznik nr 4

1. WSTĘP

Badania georadarowe przeprowadzono na zlecenie ARCH-BIS Pracownia Badań i Studiów Archeologicznych, Historycznych i Konserwatorskich Czesław Hadamik, ul.Szkolna 40/60, 25-604 Kielce.

Prace terenowe wykonano w lipcu 2019 roku.

Badania georadarowe wykonane zostały w celu .wyznaczenia miejsc odkrywek archeologicznych wykonywanych przez dr Czesława Hadamika.

2. BADANIA GEORADAROWE

Nieinwazyjne pomiary wykonane zostały georadarem ZOND-12e z anteną o częstotliwości 300 MHz. Parametry głębokościowe aparatury ustawiono na zasięg do ok.6,0 m. Opis metody przedstawiono w zał.nr 3.

Badania przeprowadzono w rejonie dziedzińca zamkowego, w rejonie przyległym od strony zachodniej do muru zewnętrznego (profile msn6, msn4, msn2) i w rejonie dawnej fosy zamkowej (profil fns).

Profile określone jako "równoległe" posiadają oznaczenia we (zachód-wschód) natomiast "poprzeczne" mają oznaczenie sn (południe-północ) lub ns (północ-południe). Symbole literowe (we i sn i ns) wskazują kierunek w którym wykonywane było profilowanie.

Liczba podana przy symbolu profilu odpowiada odległości od przyjętych linii odniesienia, których przecięcie wyznaczyło punkt początkowy wrysowany krzyżykiem na zał.nr 1 (osobny punkt początkowy dla rejonu dziedzińca i rejonu przy murze zewnętrznym).

Przebieg profili zaznaczono na mapie sytuacyjno-wysokościowej w skali 1:200.

Mapę syt.-wys. w skali 1:500 wykonała firma ASGEO Andrzej Skała, ul.Pułaskiego 7/18,42-300 Myszków (zał.nr 4).

Obrazy profili georadarowych – echogramy zamieszczono w załączniku nr 2.

3. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ GEORADAROWYCH

Przebieg profili i wyniki badań georadarowych pokazane są na zał.nr 1. Położenie profili uwarunkowane było projektowanymi odkrywkami archeologicznymi oraz warunkami terenowymi. Duże nierówności teren uniemożliwiają prawidłową interpretację wyników w związku z tym nie wszędzie można było poprowadzić profile pomiarowe.

Mapa sytuacyjno-wysokościowa uzupełniona została, otrzymaną z Urzędu Gminy w Bodzentynie inwentaryzacją architektoniczną ruin zamku.

Przed przystąpieniem do badań georadarowych naniesiono na mapę sytuacyjno-wysokościową wyniki badań archeologicznych przeprowadzonych w latach poprzednich. Wyniki te otrzymano z Urzędu Gminy w Bodzentynie. Ponieważ mapa z naniesionymi

wynikami badań i wniesioną inwentaryzacją ruin cechowała się pewnymi niedokładnościami wyniki obecnych badań mogą nie pokrywać się dokładnie z wcześniejszymi pomiarami.

W wyniku przeprowadzonych badań georadarowych wyznaczono pozostałości fundamentów dawnej zabudowy, które pozwoliły na uzupełnienie i uściślenie wcześniejszych badań archeologicznych. Szczególnie dotyczy to zachodniej części obecnego dziedzińca.

W części południowej dziedzińca, do odległości ok.4m od elewacji ruin podłoże jest niejednorodne do głębokości ok.3m. Zmiany te są wynikiem dawnej zabudowy lub zagruzowanych wykopów.

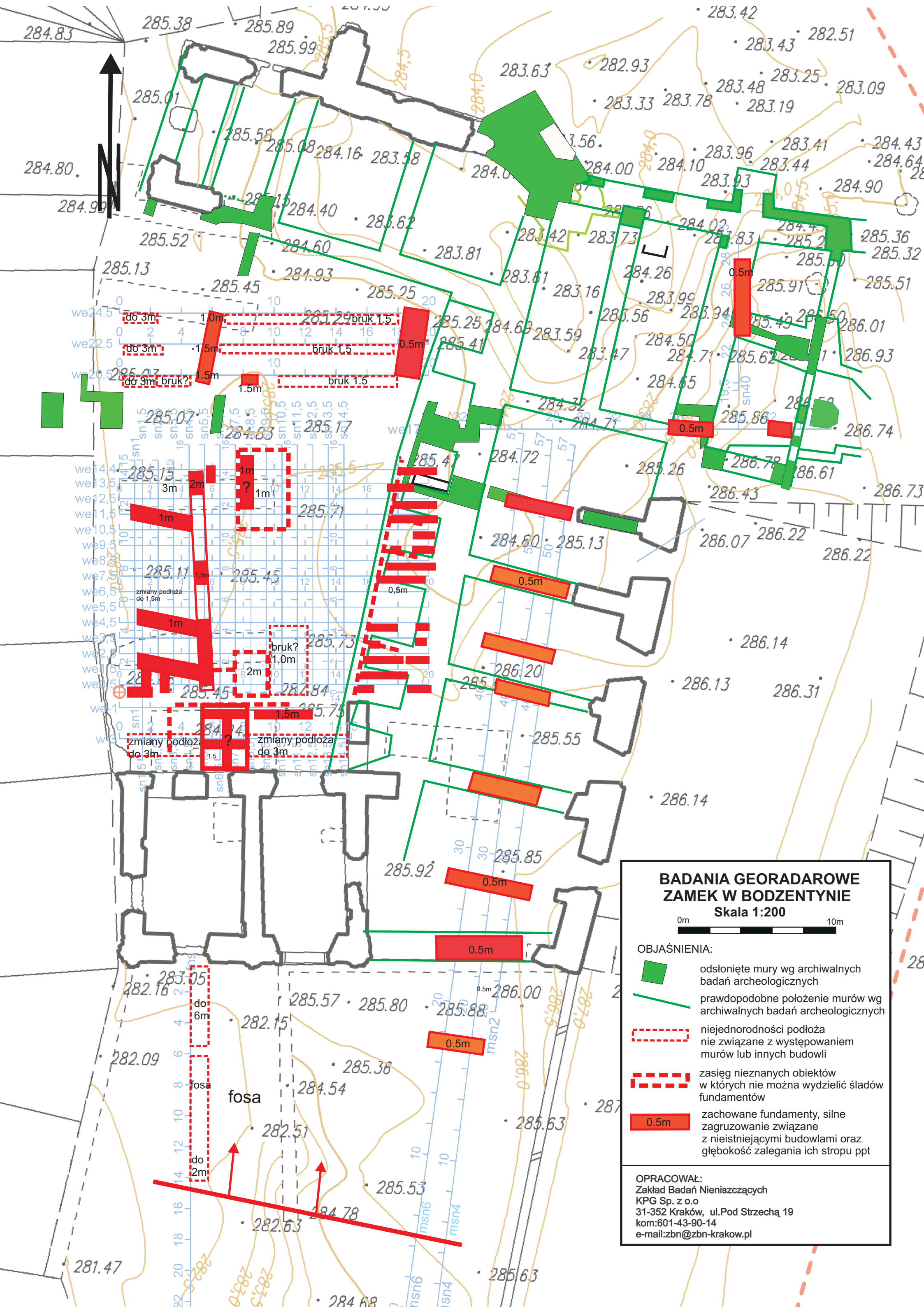
We wschodniej części dziedzińca zarejestrowano liczne zmiany podłoża związane z zabudową wschodniego skrzydła. Pozostałości fundamentów występują płytko pod powierzchnią terenu (strop maksymalnie na głębokości 0,5m). W miejscu dawnych przypór tego obiektu występuje bardzo duże zagruzowanie, które uniemożliwia szczegółowe ich usytuowanie. W części środkowej wyraźnie zaznaczają się zachowane fundamenty.

Na samym dziedzińcu wyznaczono również szereg zmian podłoża, które mogą być związane z późniejszą zabudową, wkopami lub powierzchniami gdzie może być zachowany bruk.

Przed zamkiem (od strony południowej) zarejestrowano ślad fosy oraz fundamentów związanej z nią budowli.



Opracował:
dr inż. Wiesław Nawrocki



**BADANIA GEORADAROWE
ZAMEK W BODZENTYNIE**

Skala 1:200



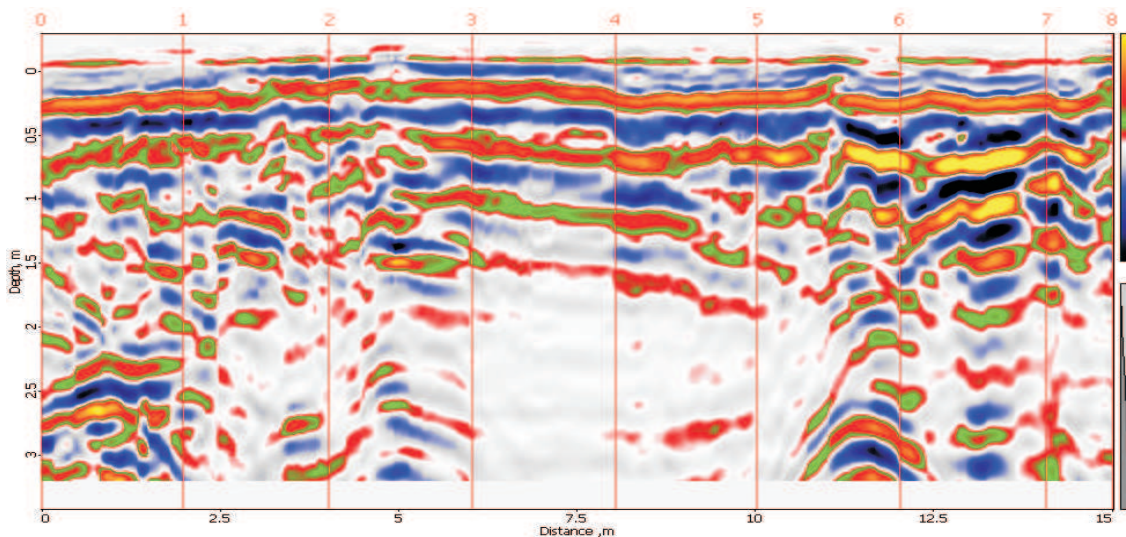
OBJAŚNIENIA:

- odsłonięte mury wg archiwalnych badań archeologicznych
- prawdopodobne położenie murów wg archiwalnych badań archeologicznych
- niejednorodności podłoża nie związane z występowaniem murów lub innych budowli
- zasięg nieznanymi obiektów w których nie można wydzielić śladów fundamentów
- 0.5m zachowane fundamenty, silne zagruzowanie związane z nieistniejącymi budowlami oraz głębokość zalegania ich stropu ppt

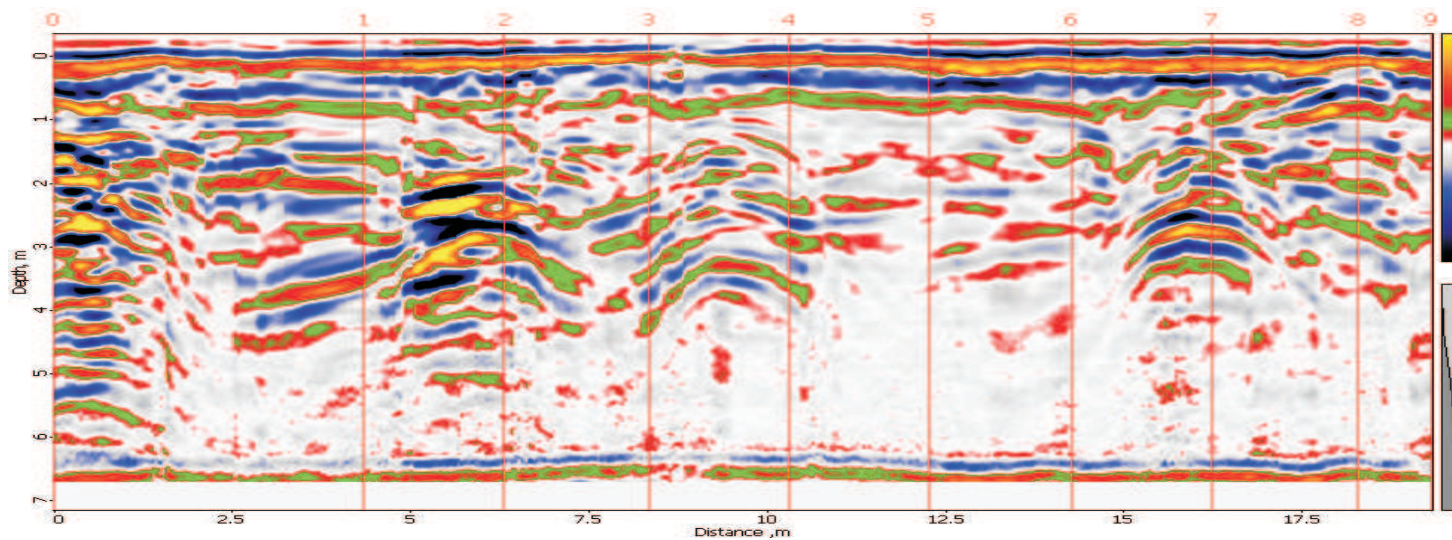
OPRACOWAŁ:
Zakład Badań Nieniszczących
KPG Sp. z o.o
31-352 Kraków, ul.Pod Strzechą 19
kom:601-43-90-14
e-mail:zbn@zbn-krakow.pl

E C H O G R A M Y
Z P R O F I L I G E O R A D A R O W Y C H

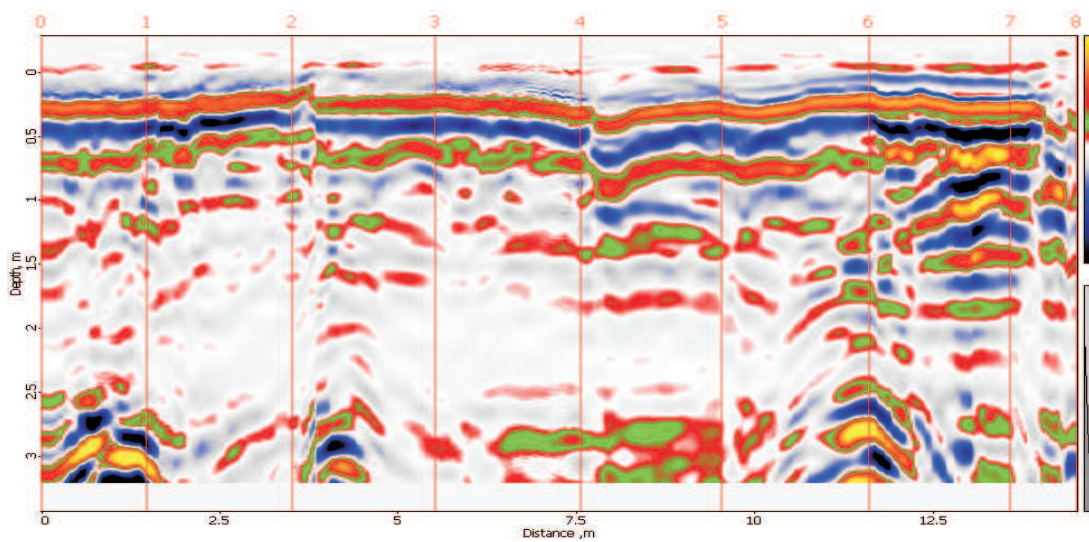
PROFIL sn1



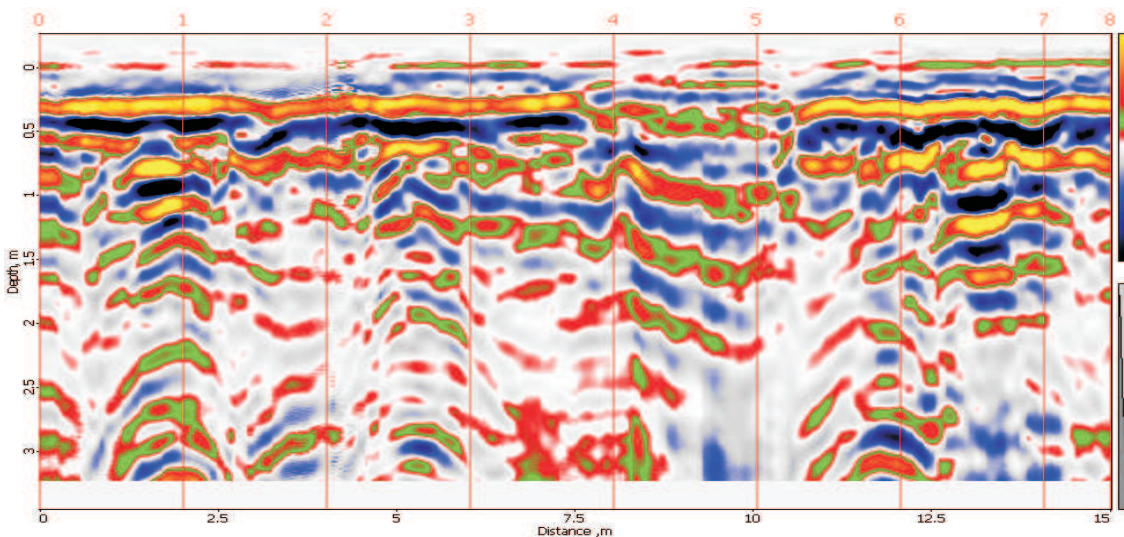
PROFIL sn1,5



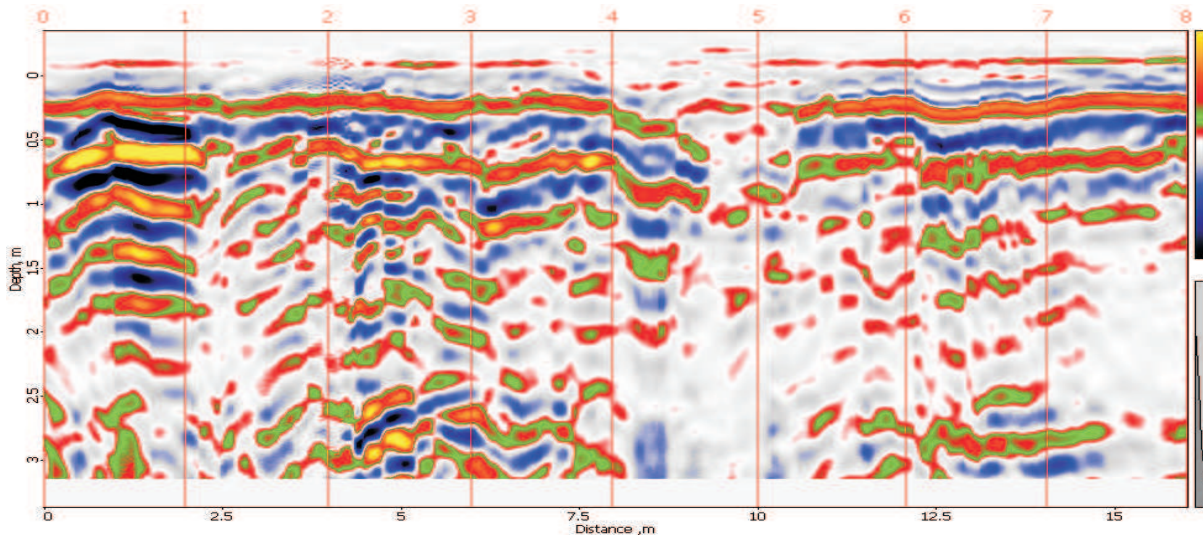
PROFIL sn2,5



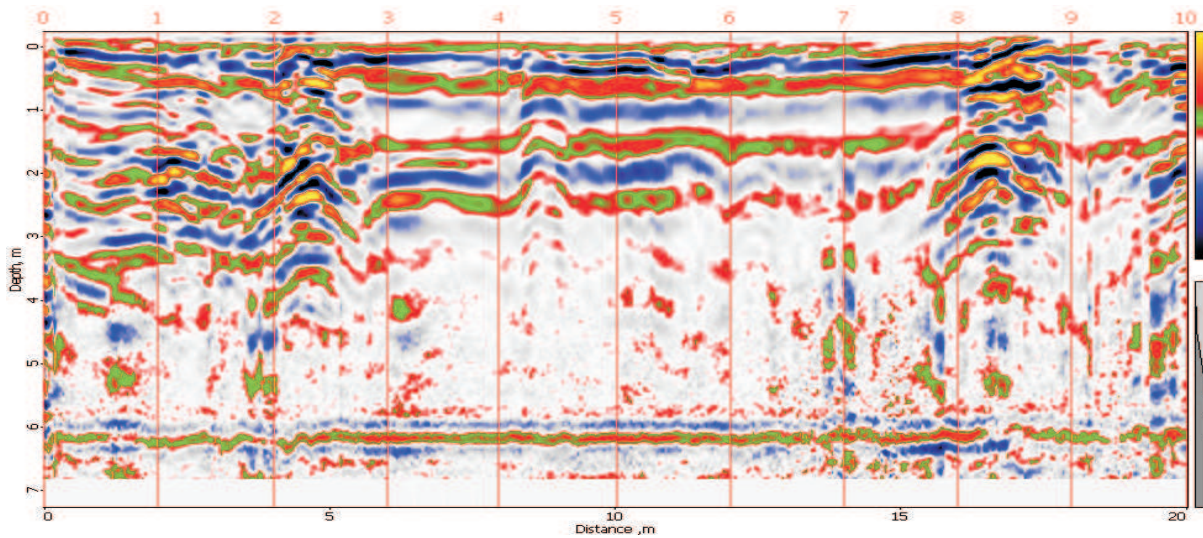
PROFIL sn3,5



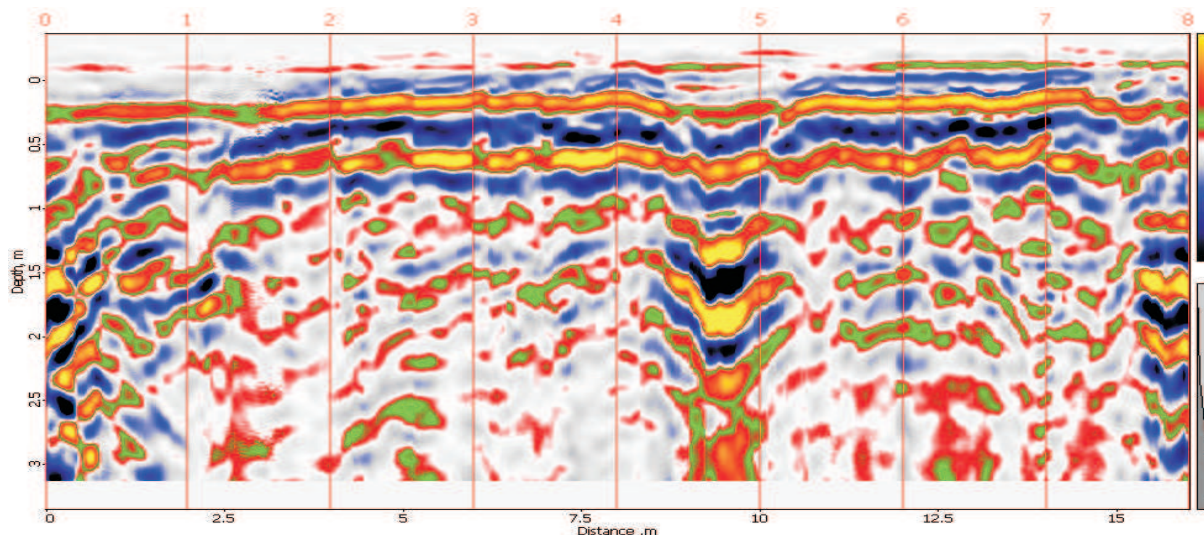
PROFIL sn4,5



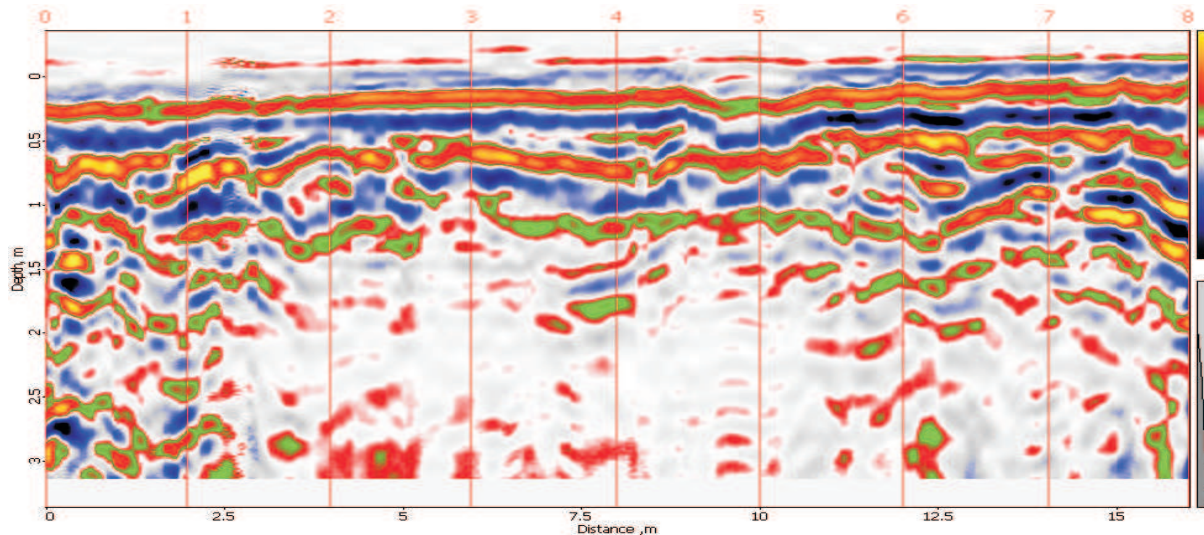
PROFIL sn5,5



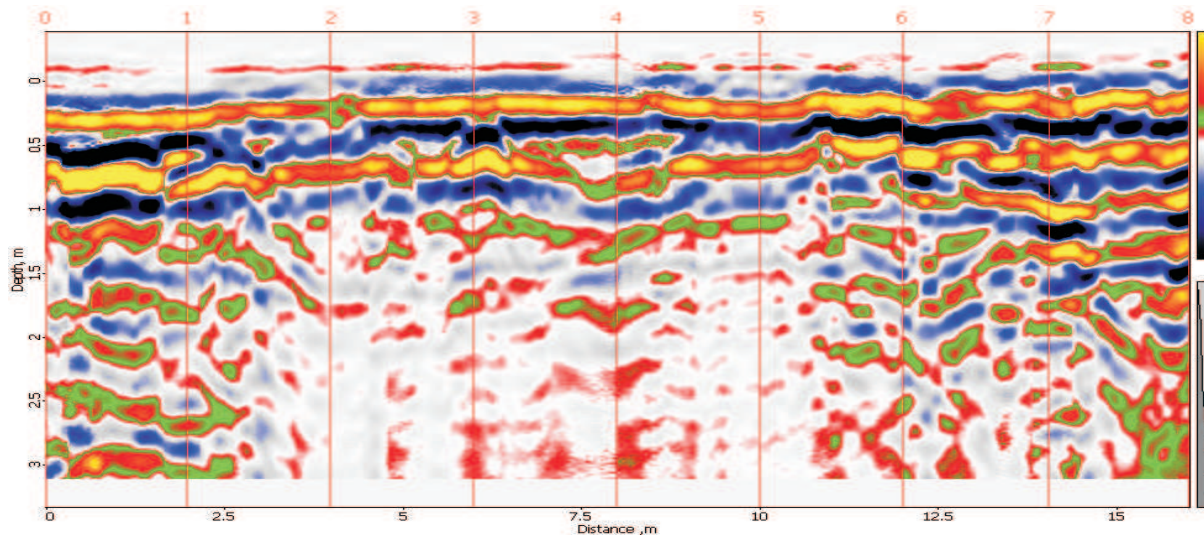
PROFIL sn6,5



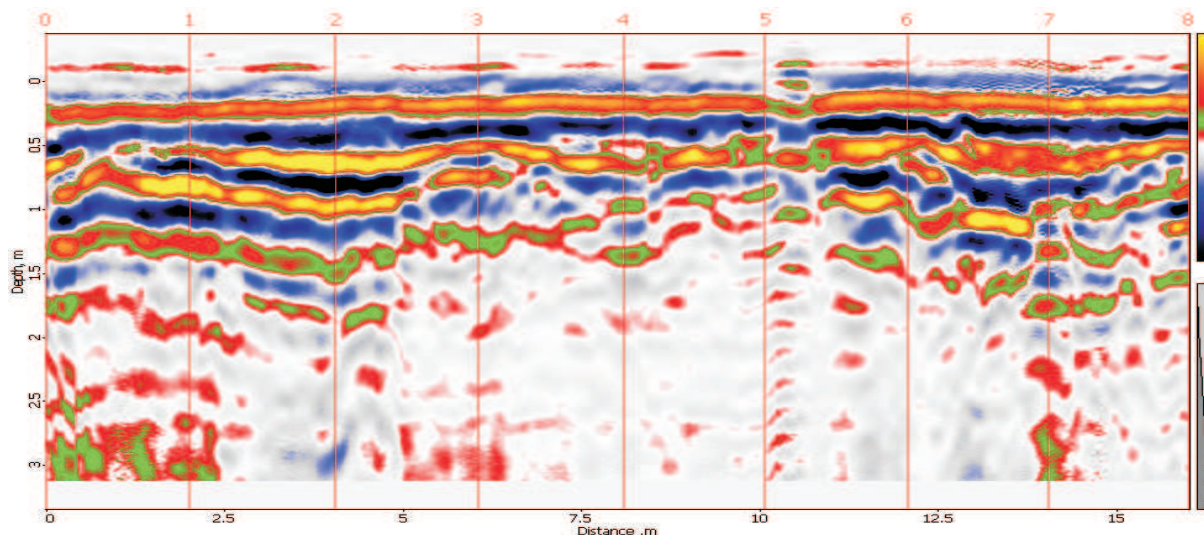
PROFIL sn7,5



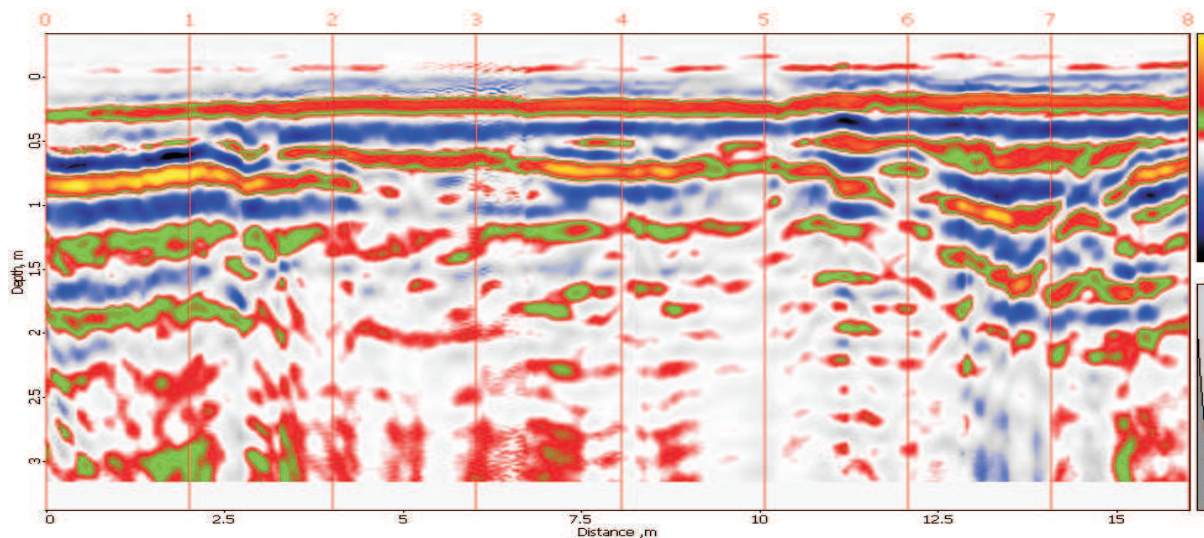
PROFIL sn8,5



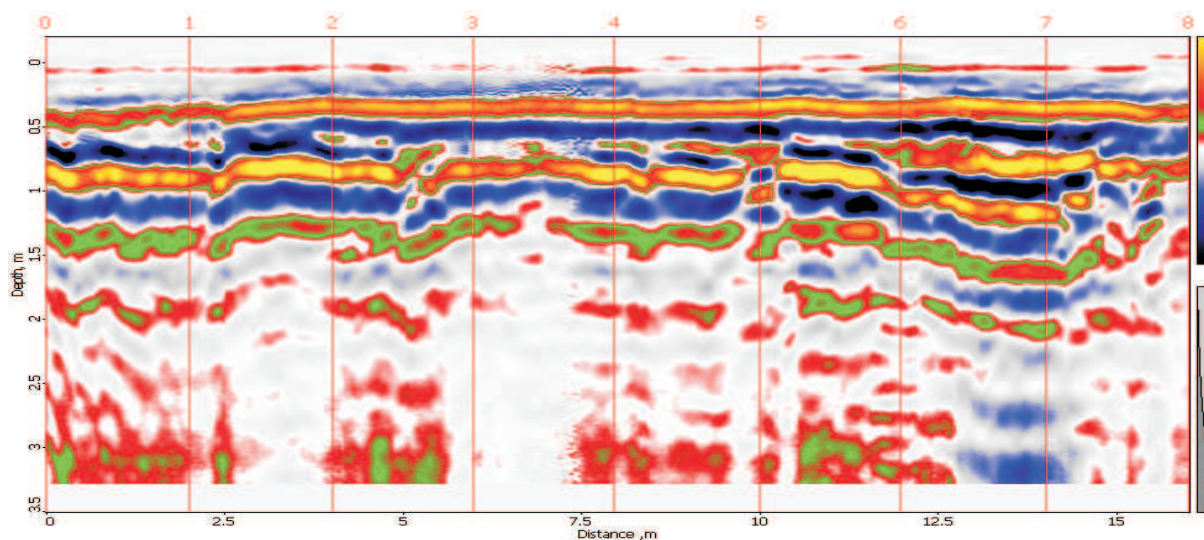
PROFIL sn9,5



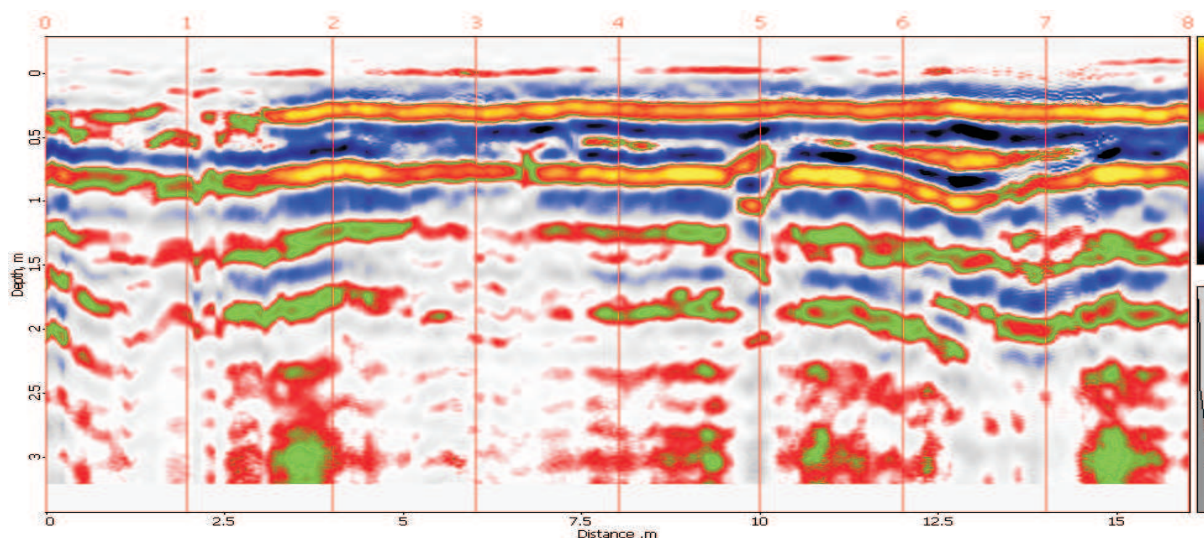
PROFIL sn10,5



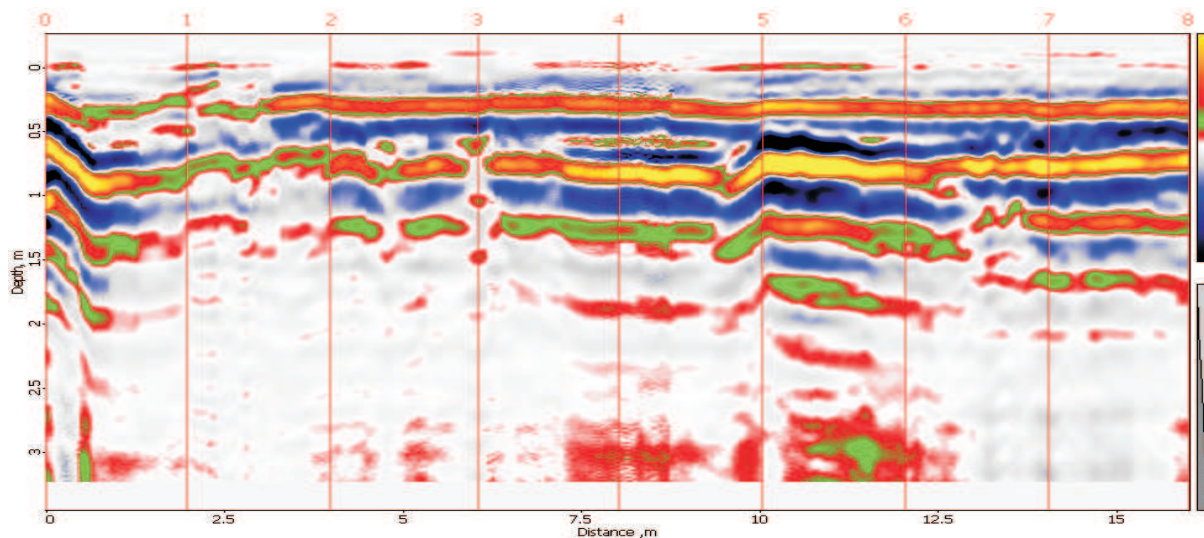
PROFIL sn11,5



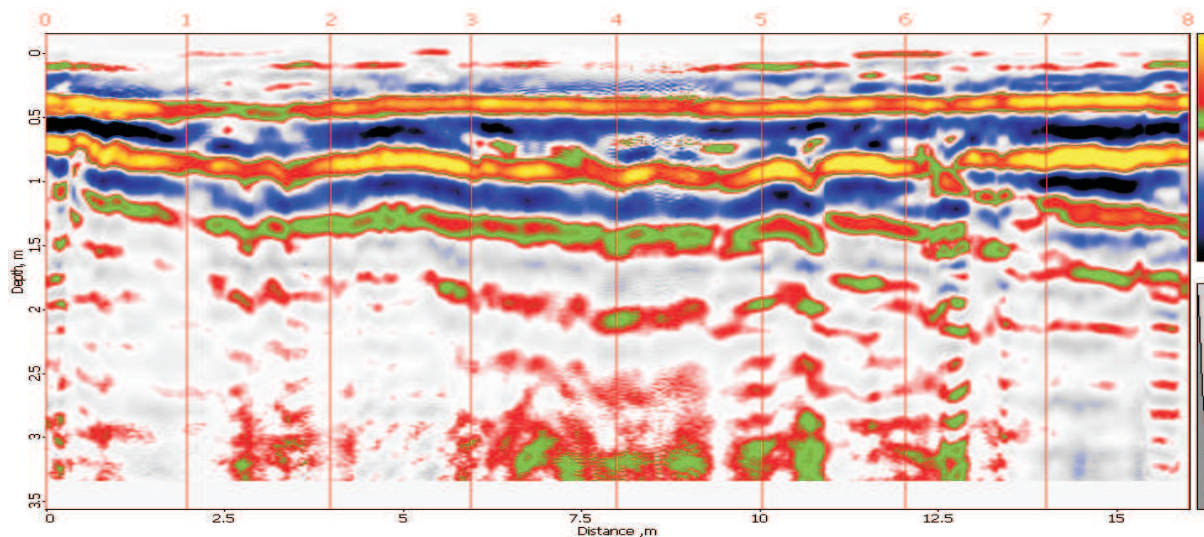
PROFIL sn12,5



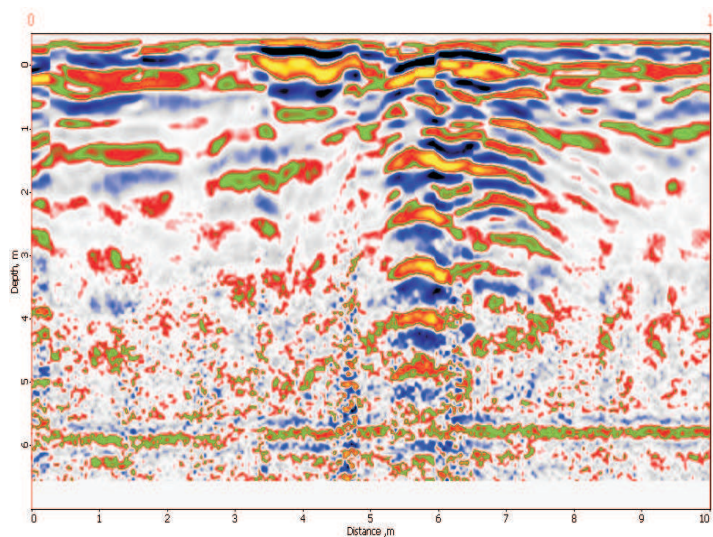
PROFIL sn13,5



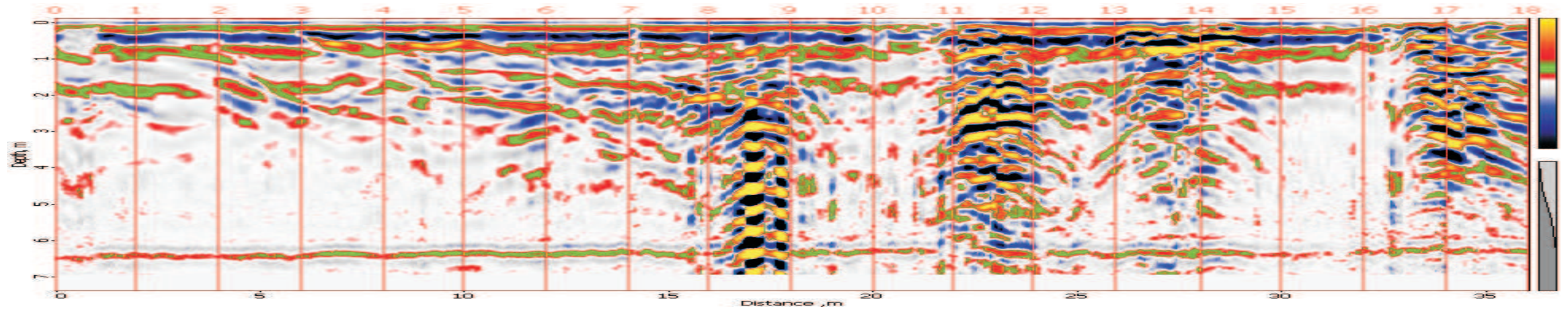
PROFIL sn14,5



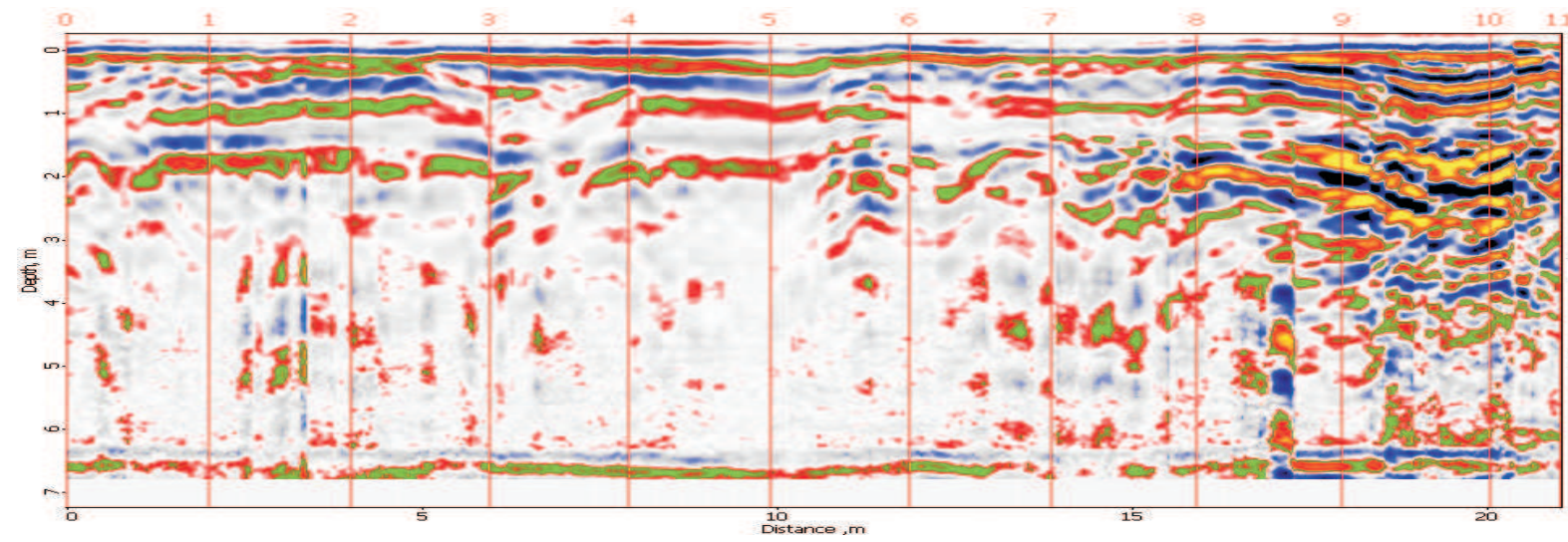
PROFIL sn40



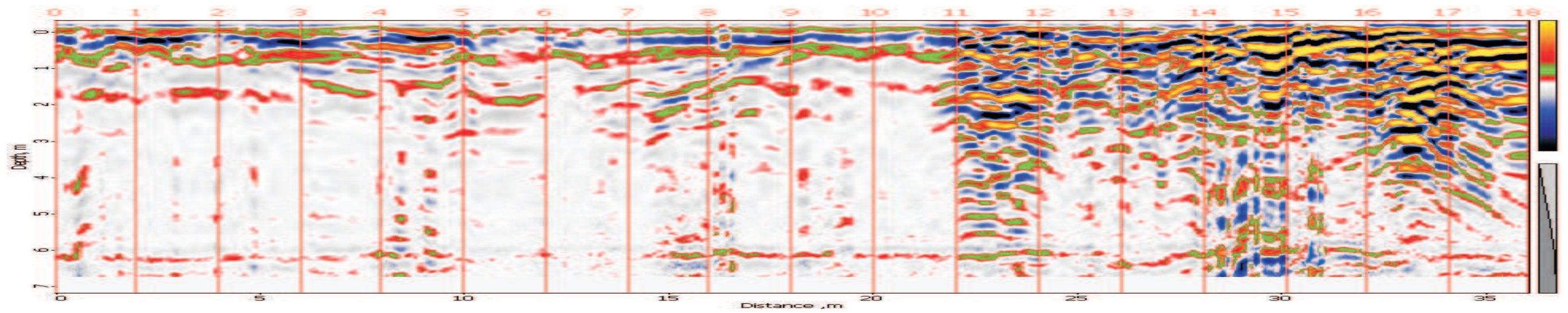
PROFIL msn6 (od 0m do 36m)



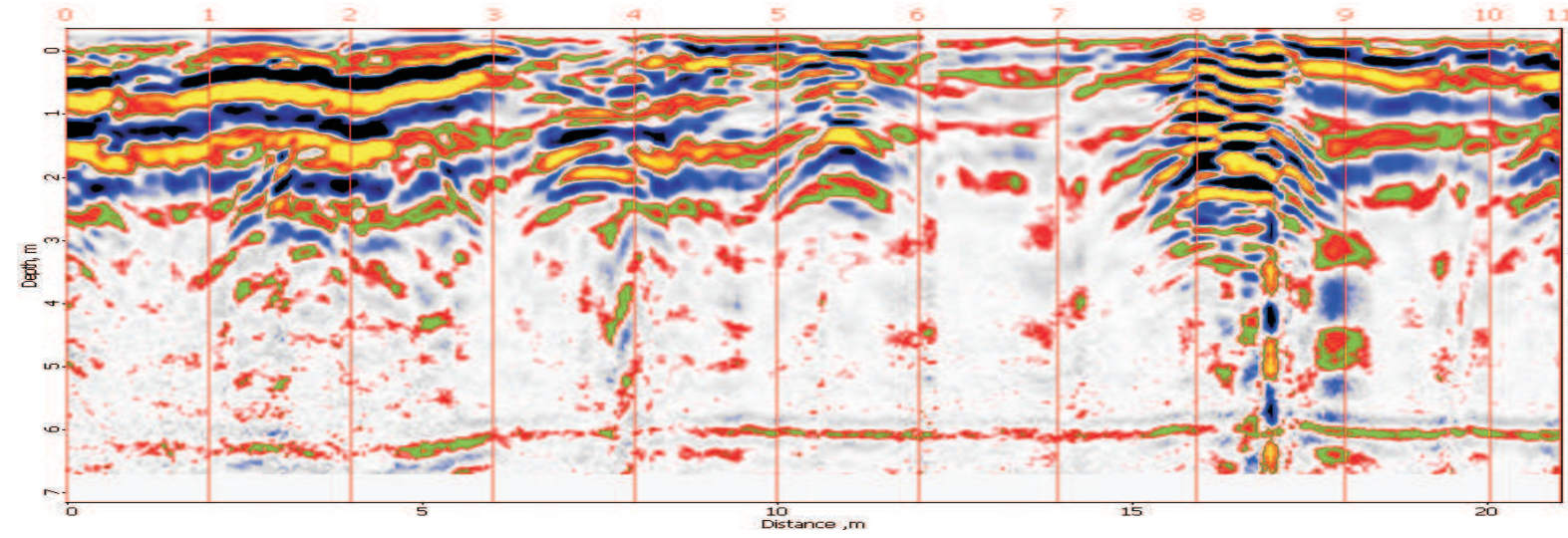
PROFIL msn6 (od 36 m do 57)



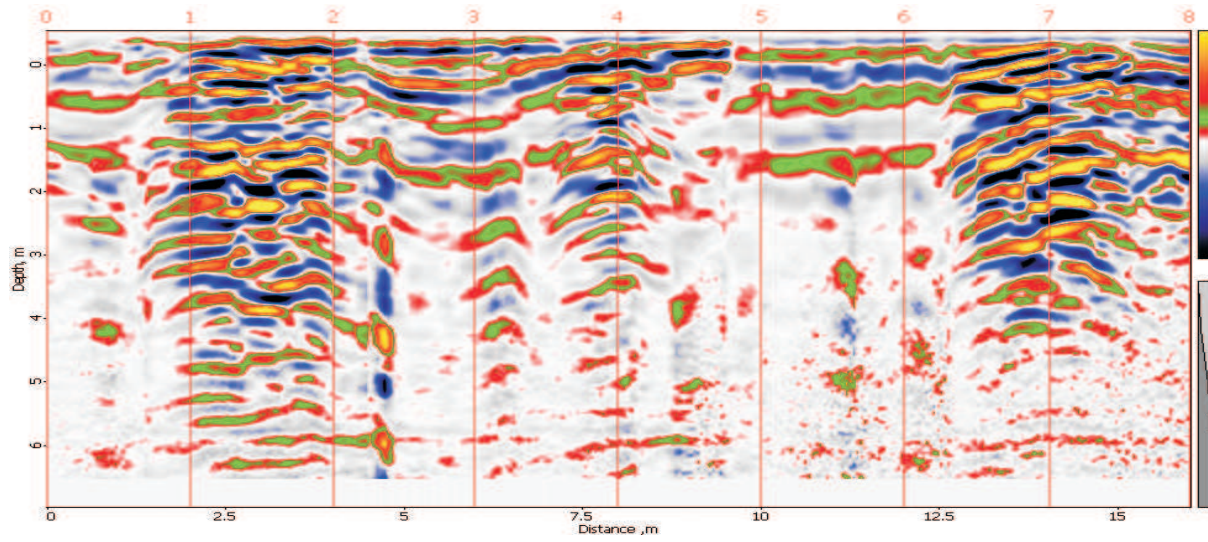
PROFIL msn4 (od 0 m do 36 m)



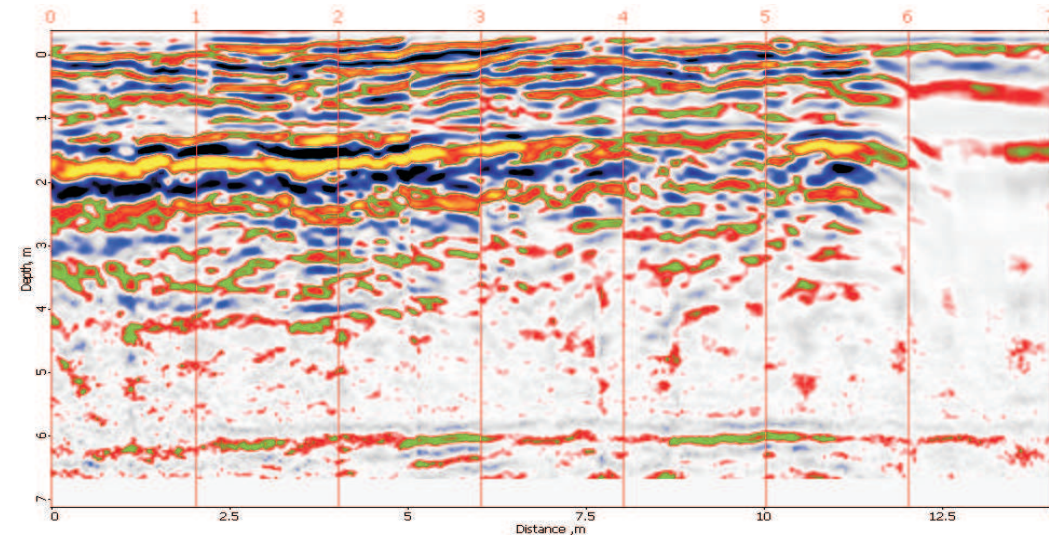
PROFIL msn4 (od 36m do 57m)



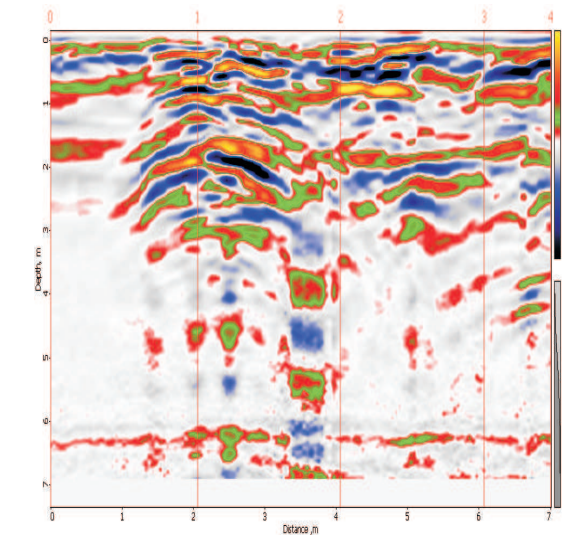
PROFIL msn2 (od 20 m do 36)



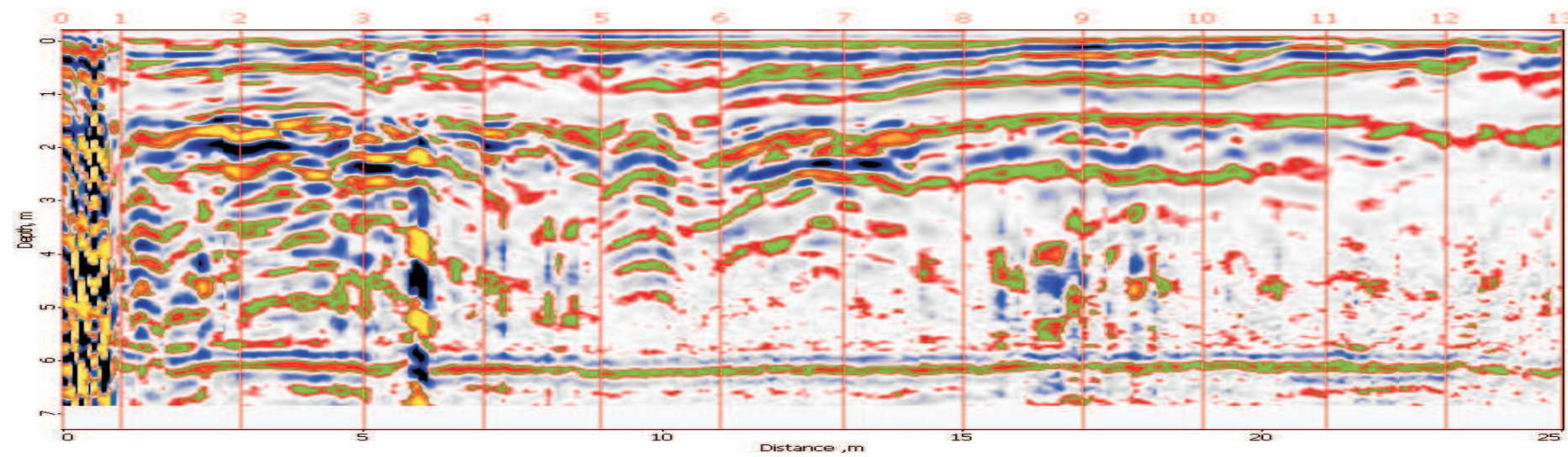
PROFIL msn2 (od 36 m do 50)



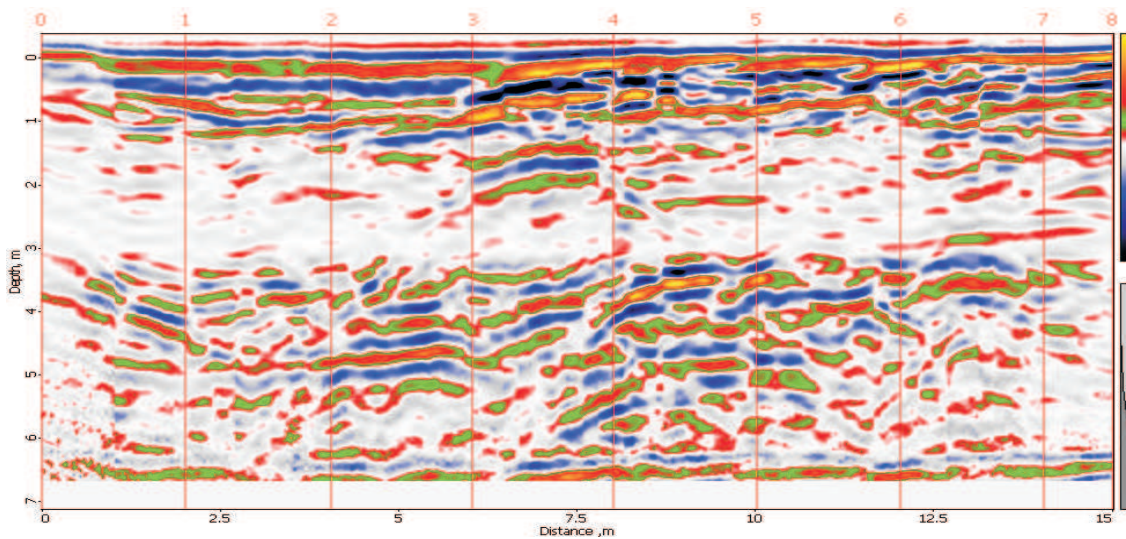
PROFIL msn2 (od 50 m do 57)



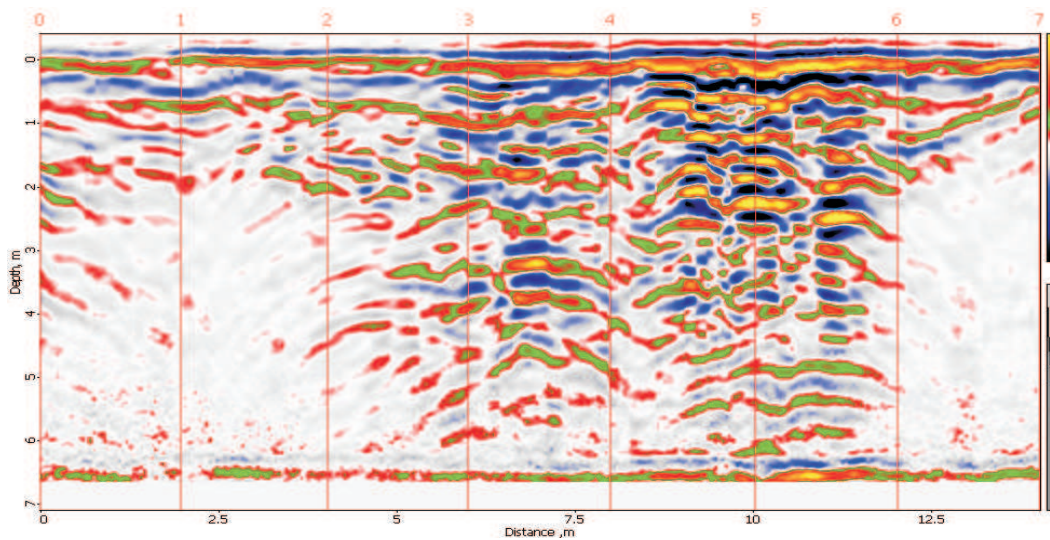
PROFIL fns



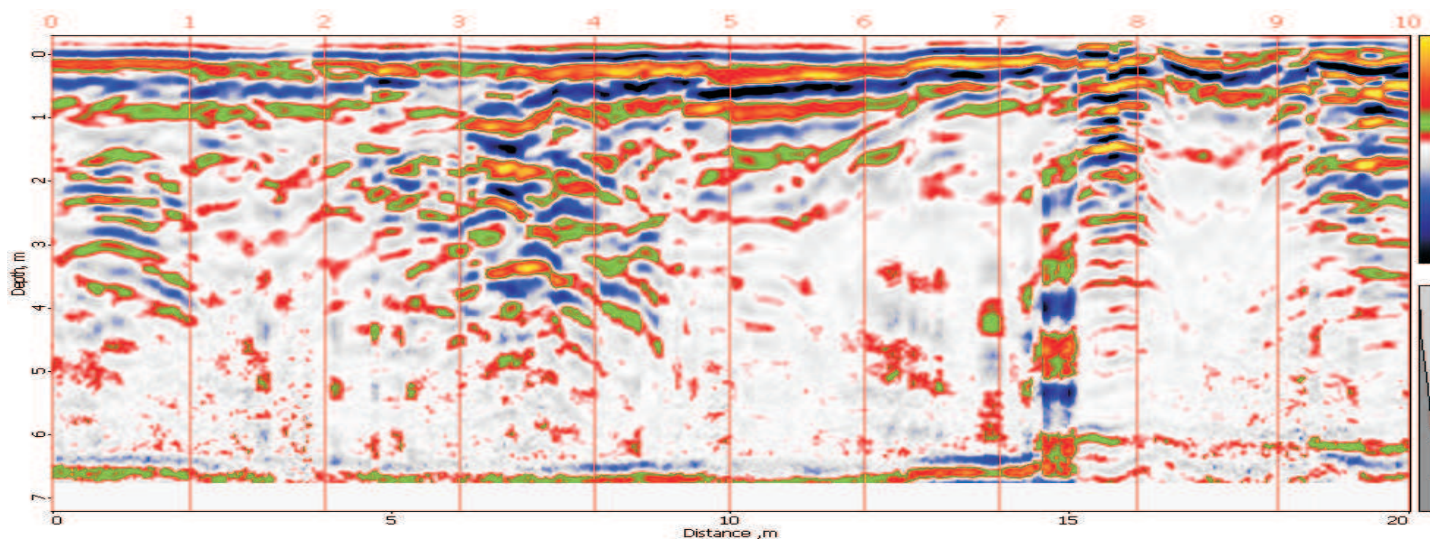
PROFIL we-3



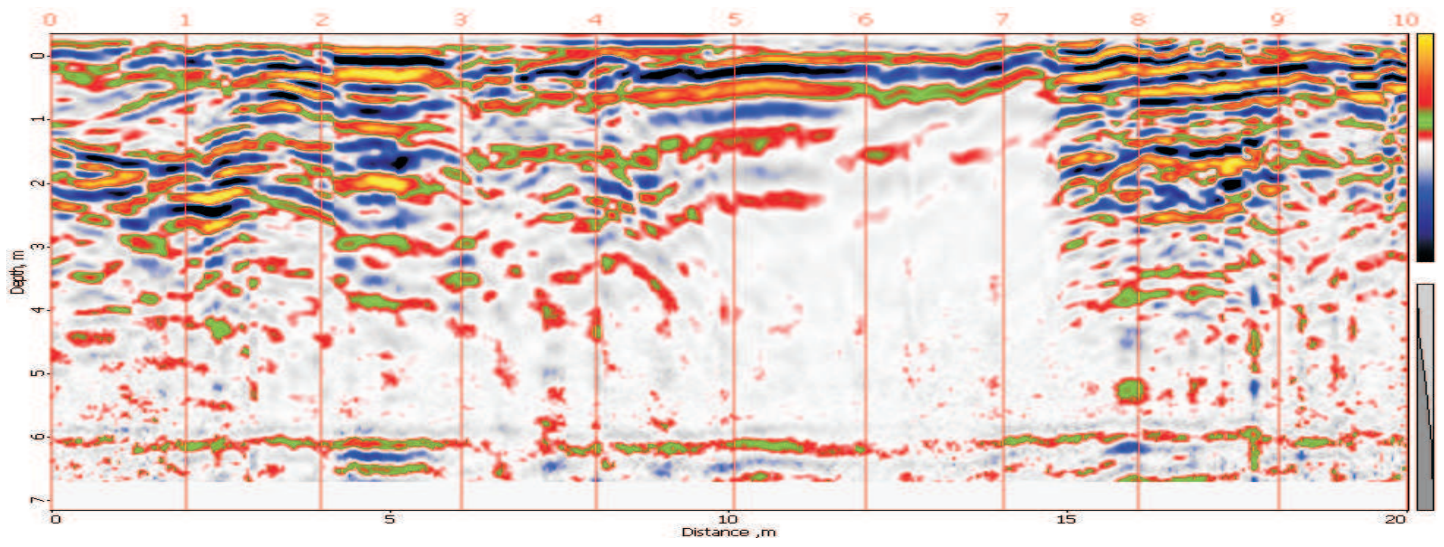
PROFIL we-1



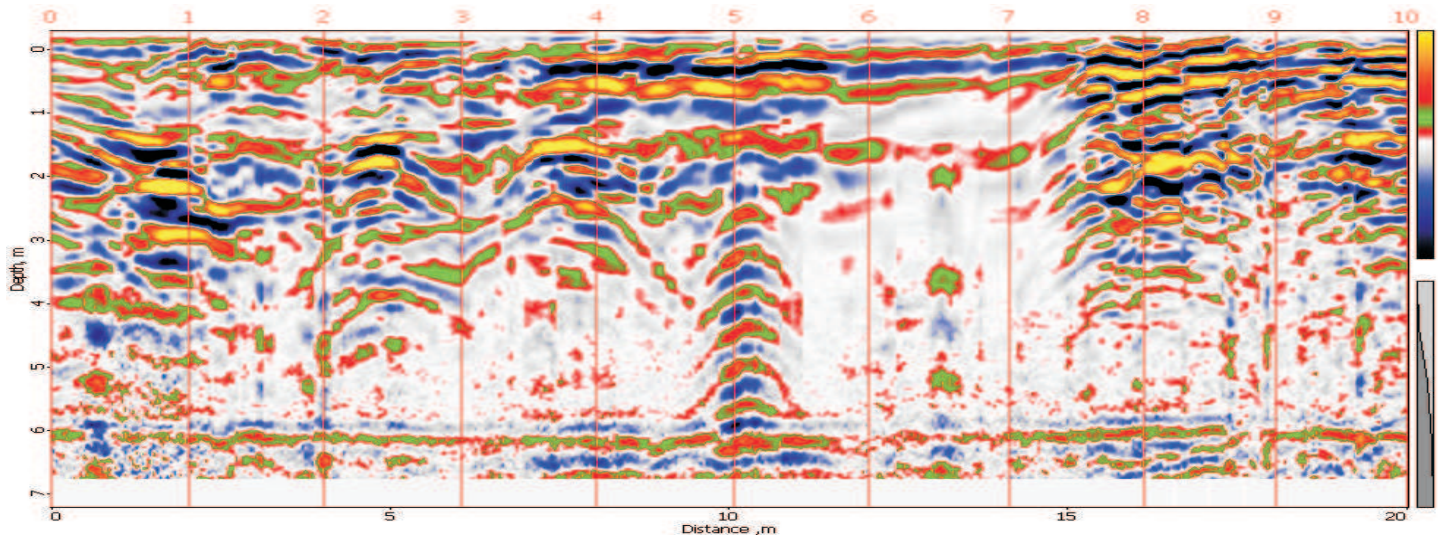
PROFIL we0,5



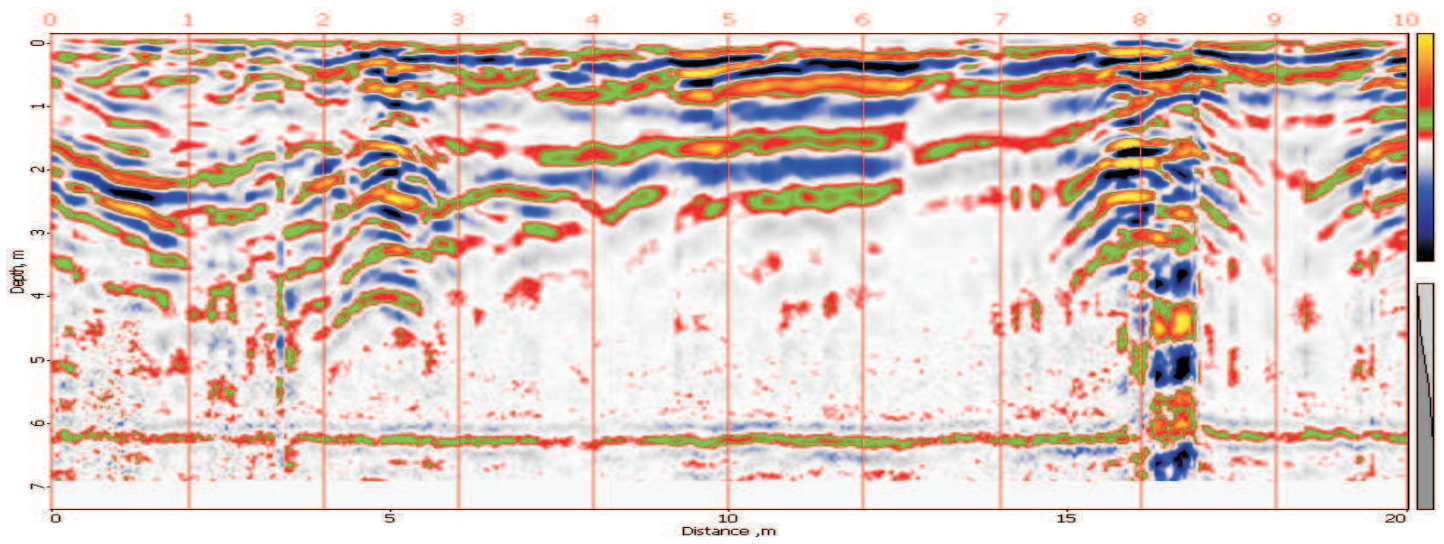
PROFIL we1,5



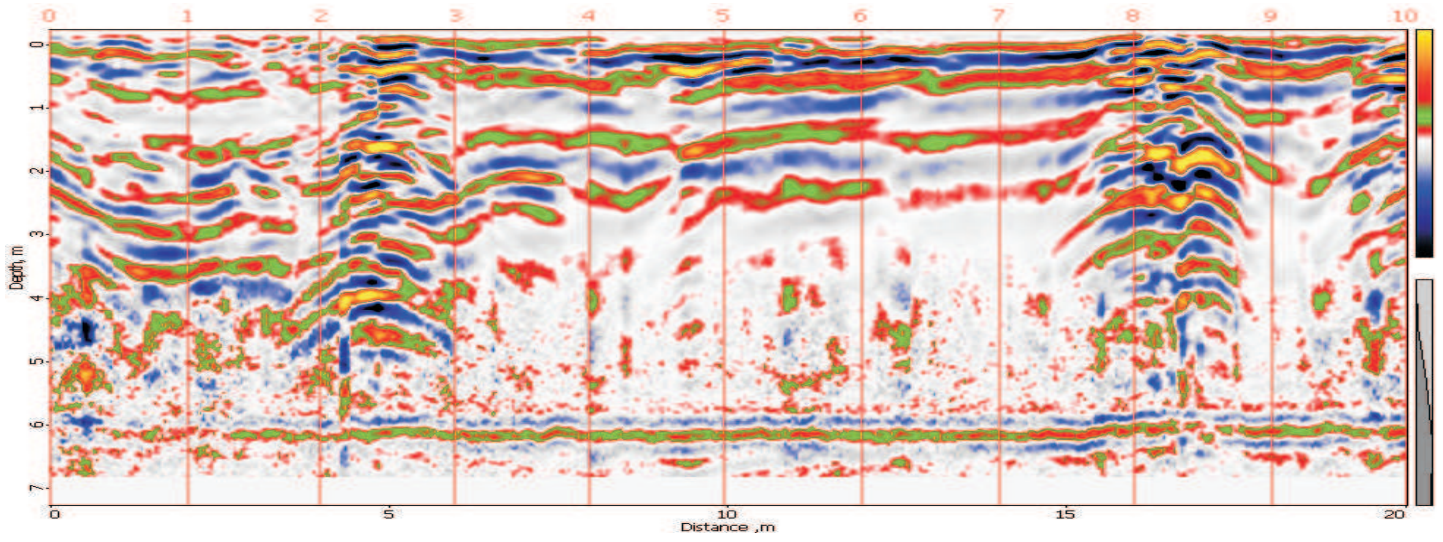
PROFIL we2,5



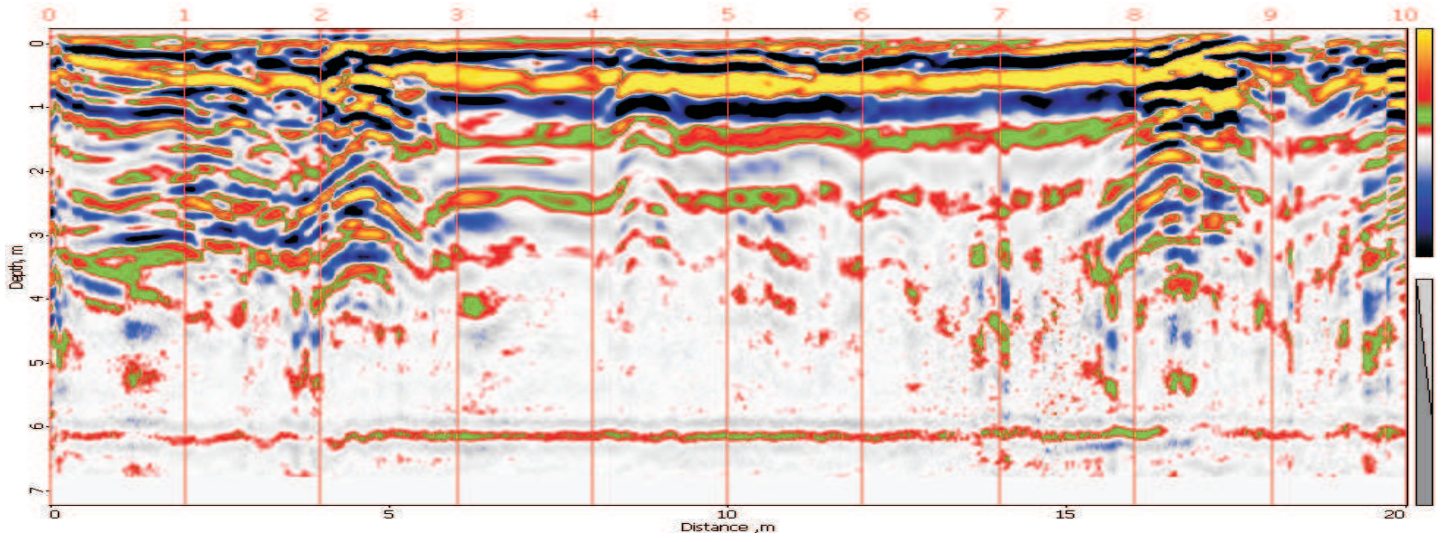
PROFIL we3,5



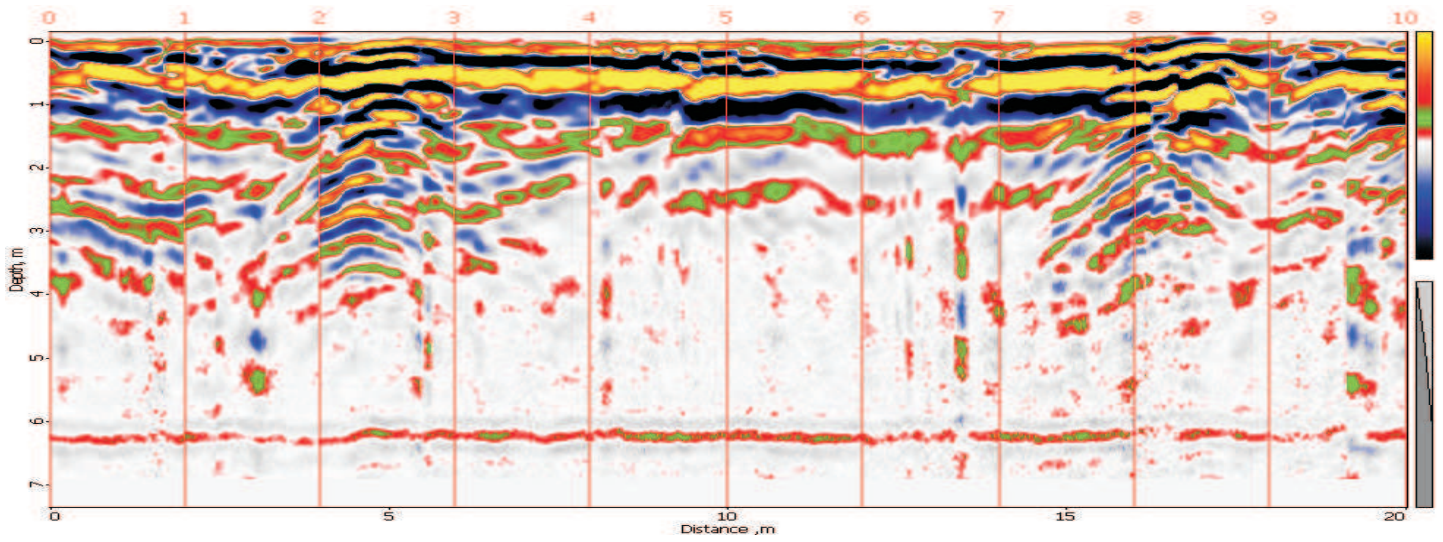
PROFIL we4,5



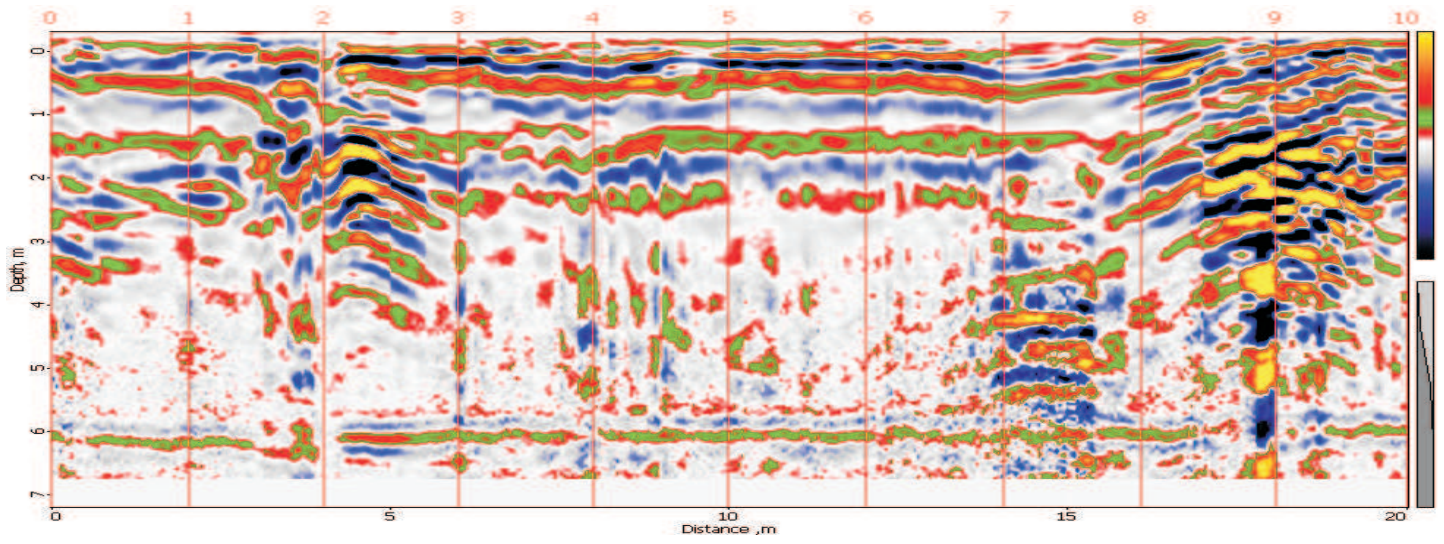
PROFIL we5,5



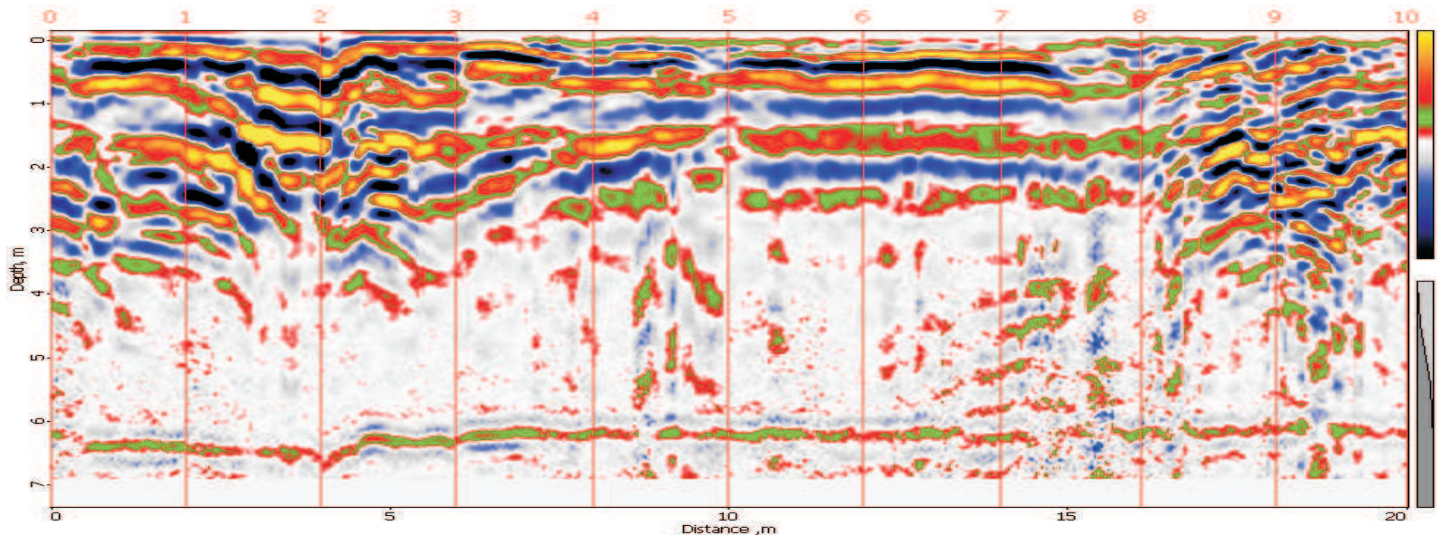
PROFIL we6,5



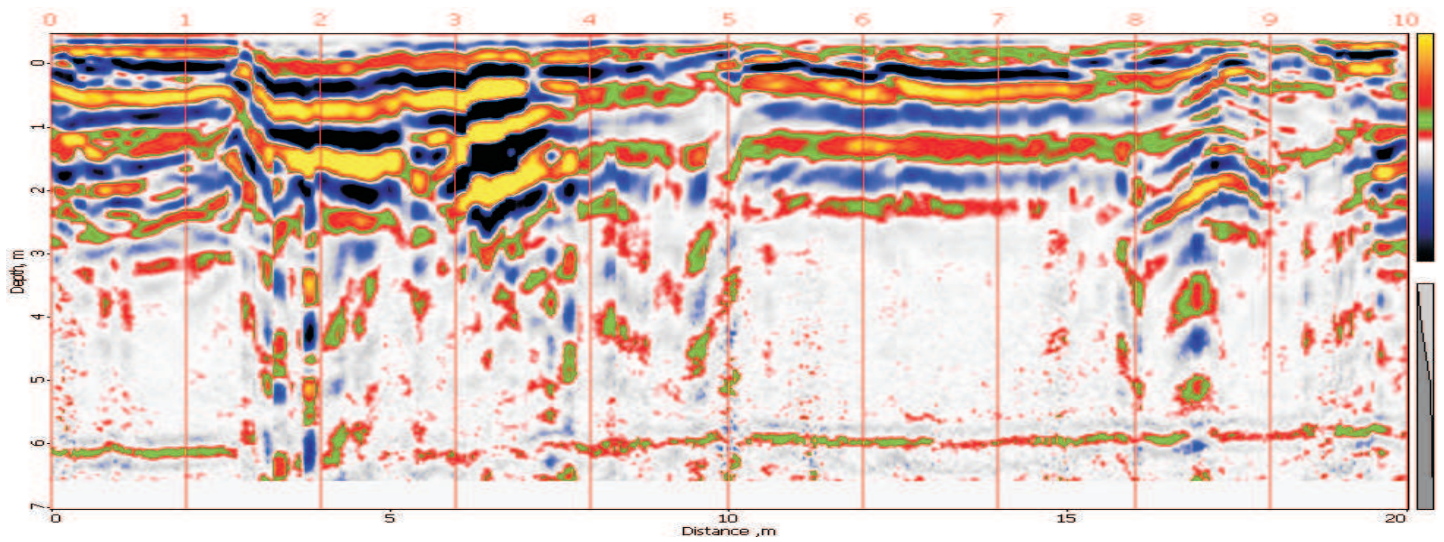
PROFIL we7,5



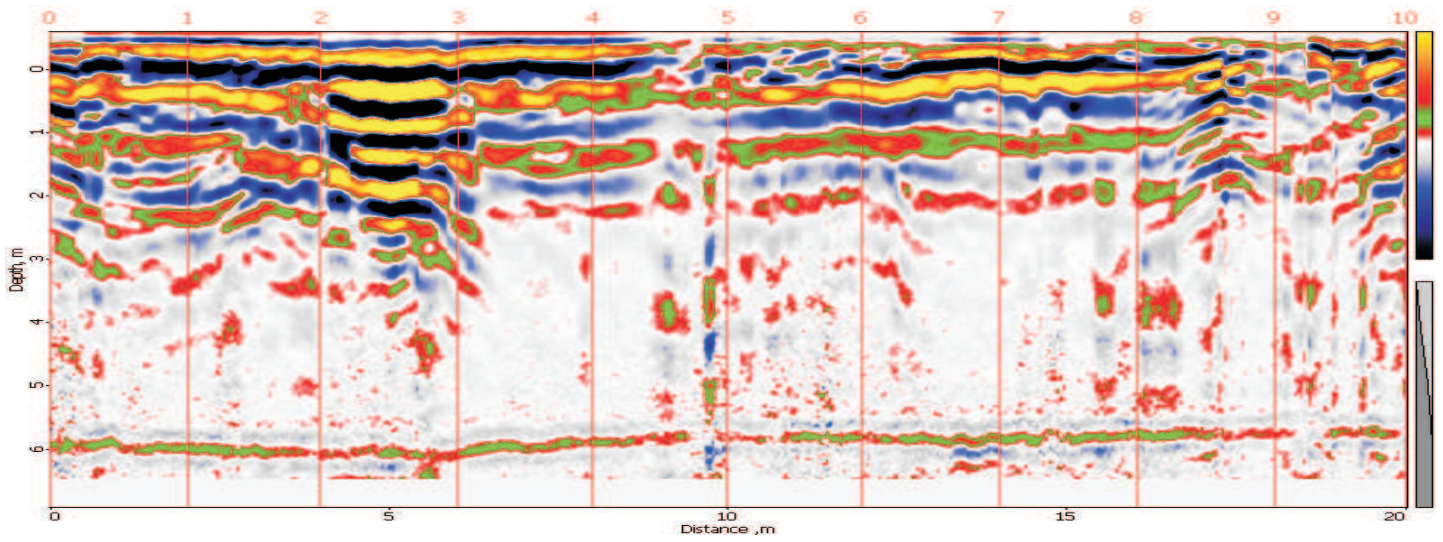
PROFIL we8,5



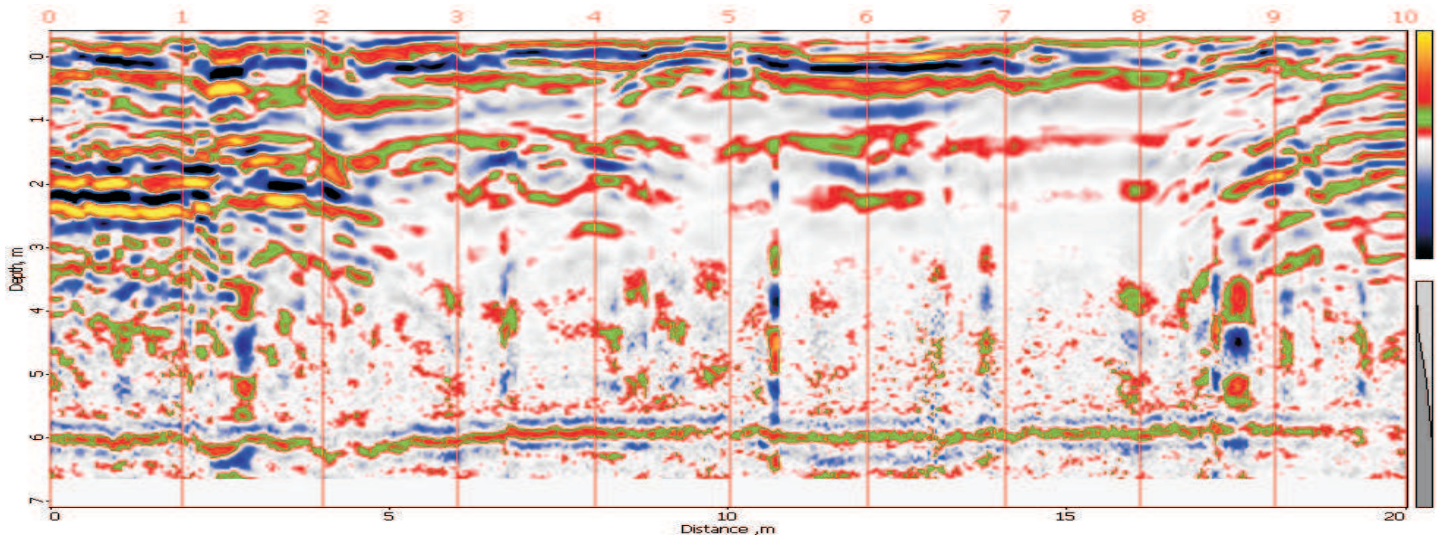
PROFIL we9,5



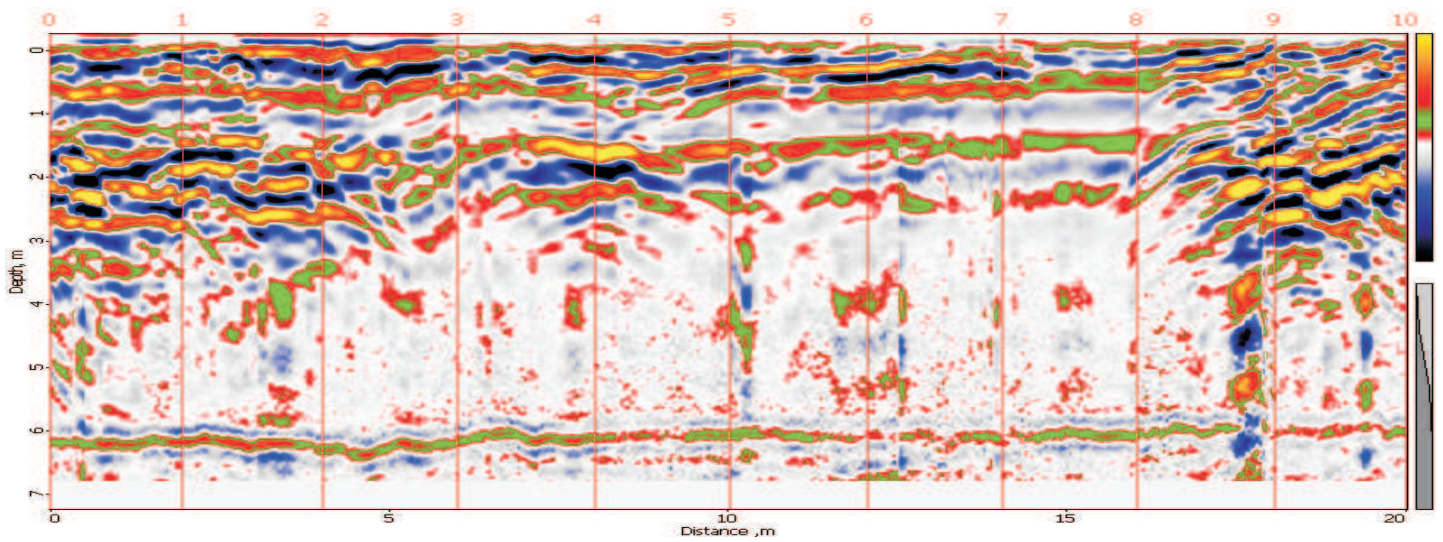
PROFIL we10,5



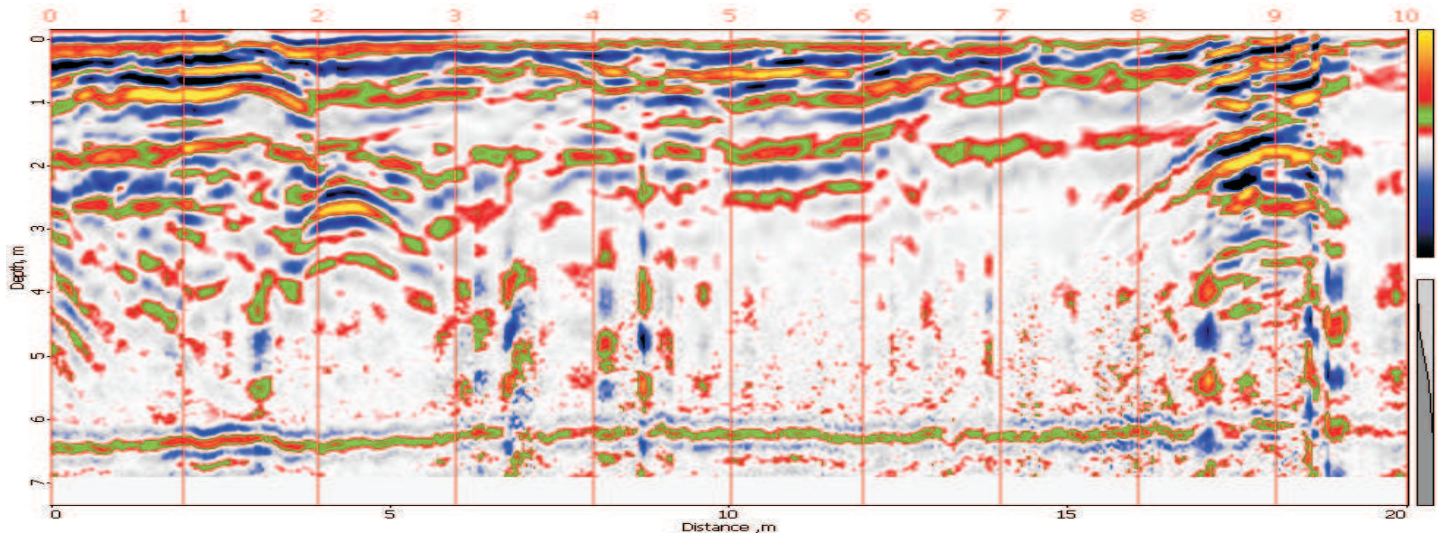
PROFIL we11,5



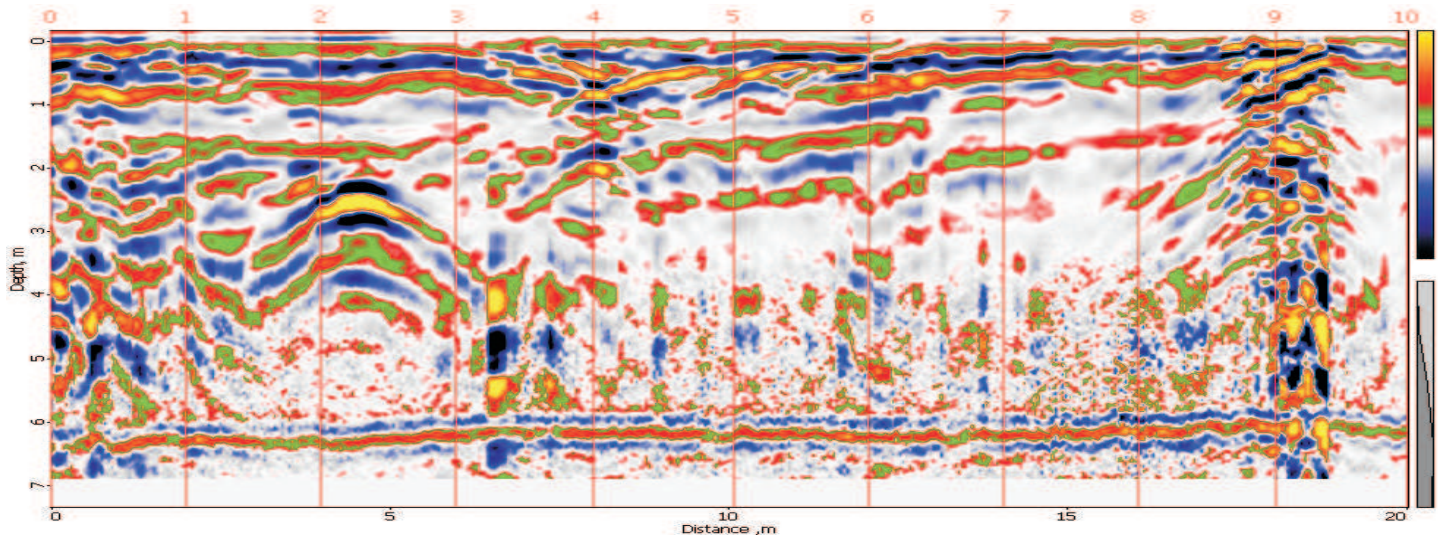
PROFIL we12,5



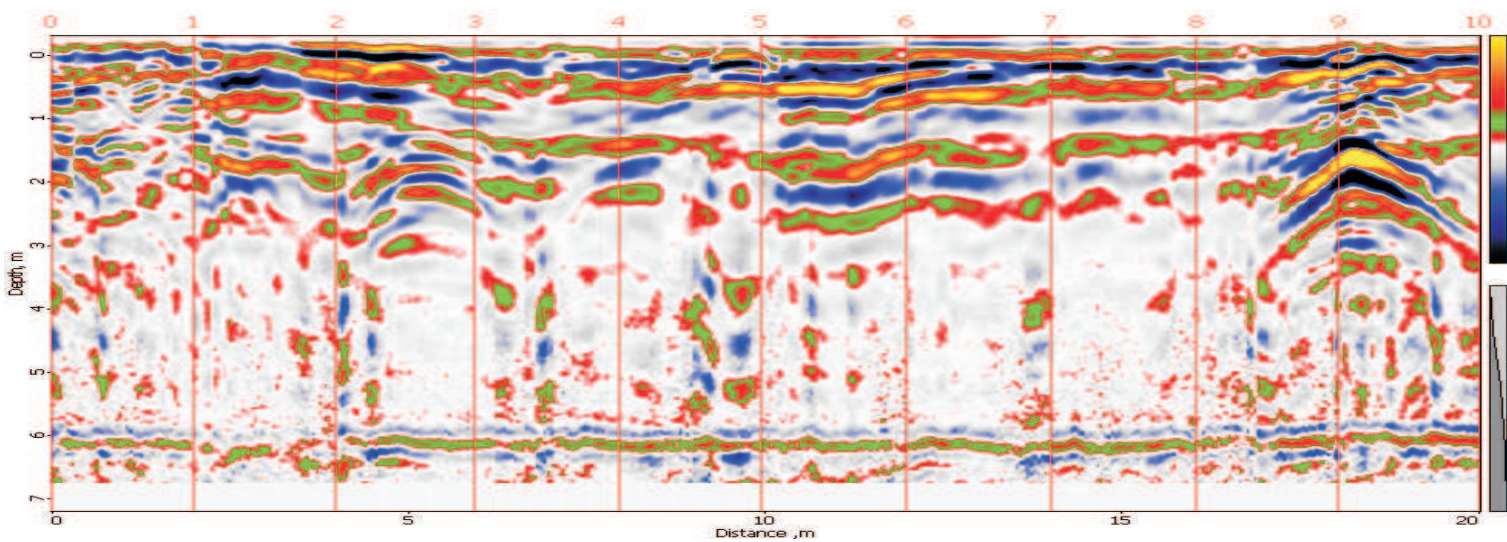
PROFIL we13,5



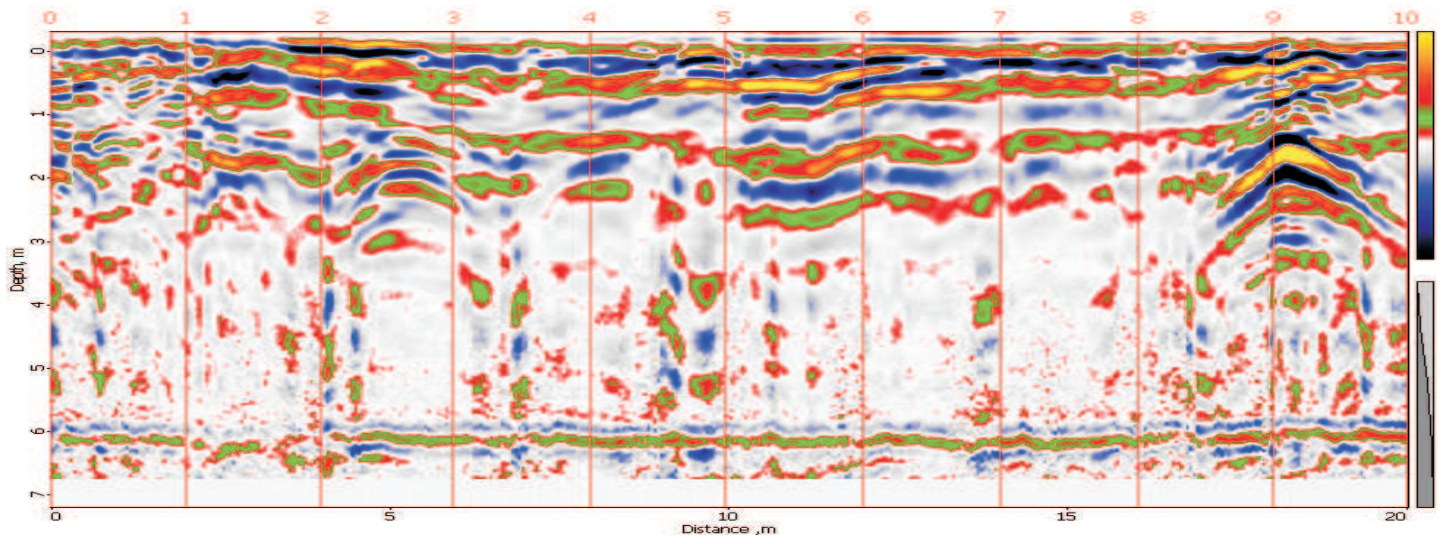
PROFIL we14,4



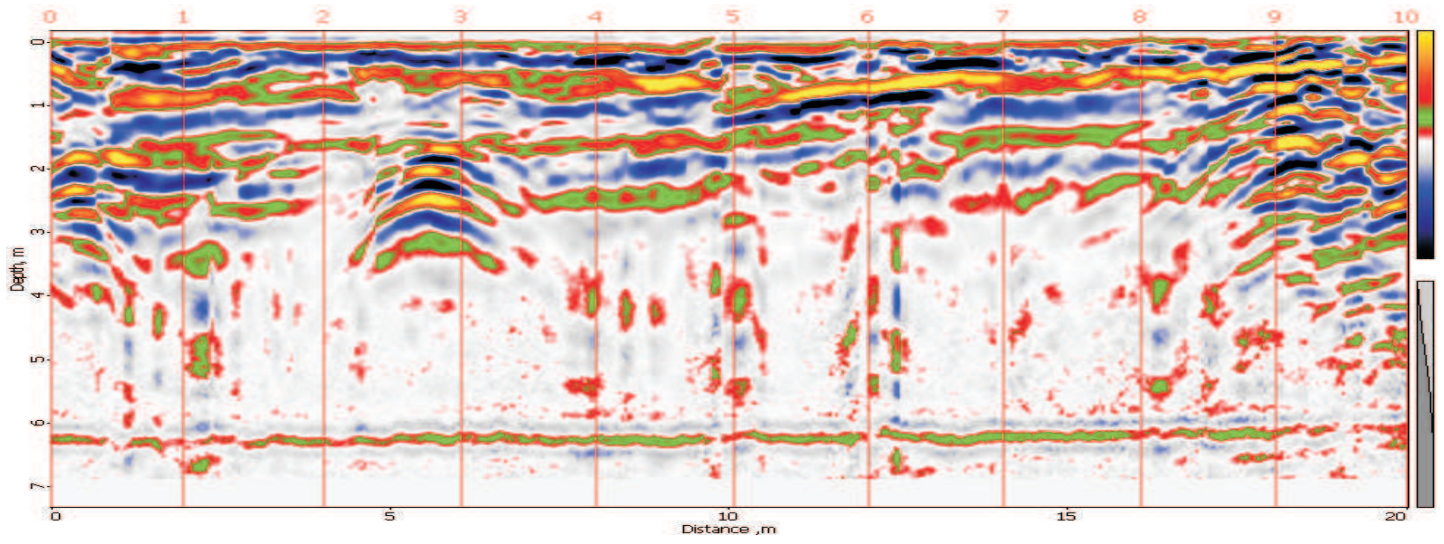
PROFIL we17



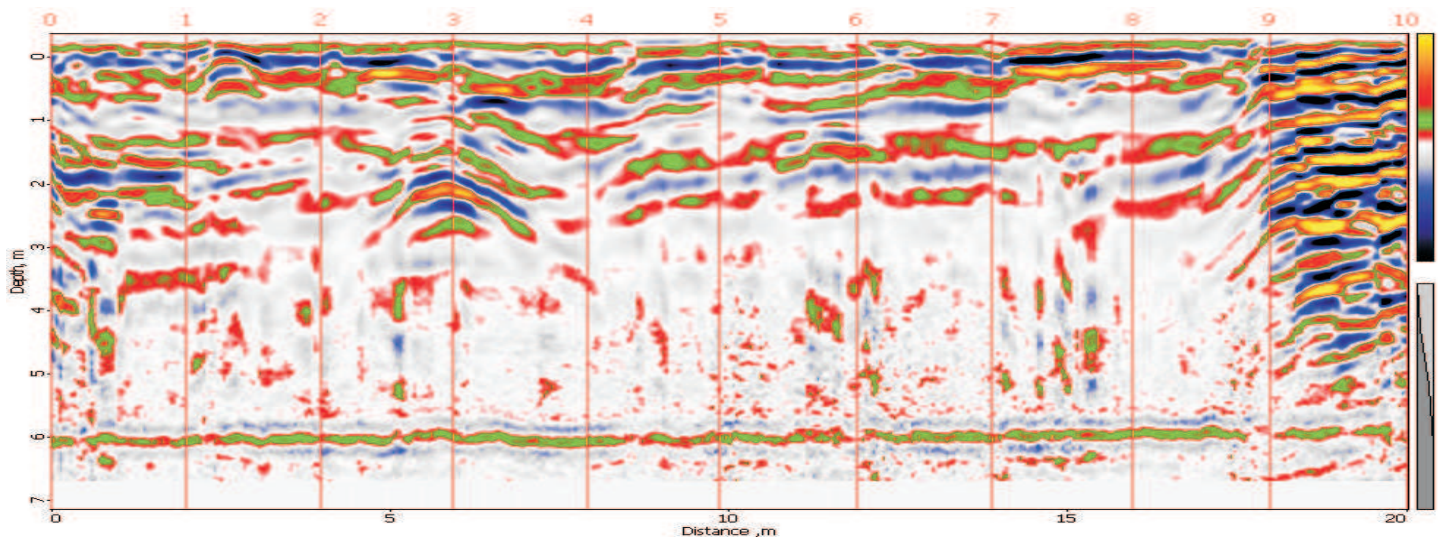
PROFIL we20,5



PROFIL we22,5



PROFIL we24,5

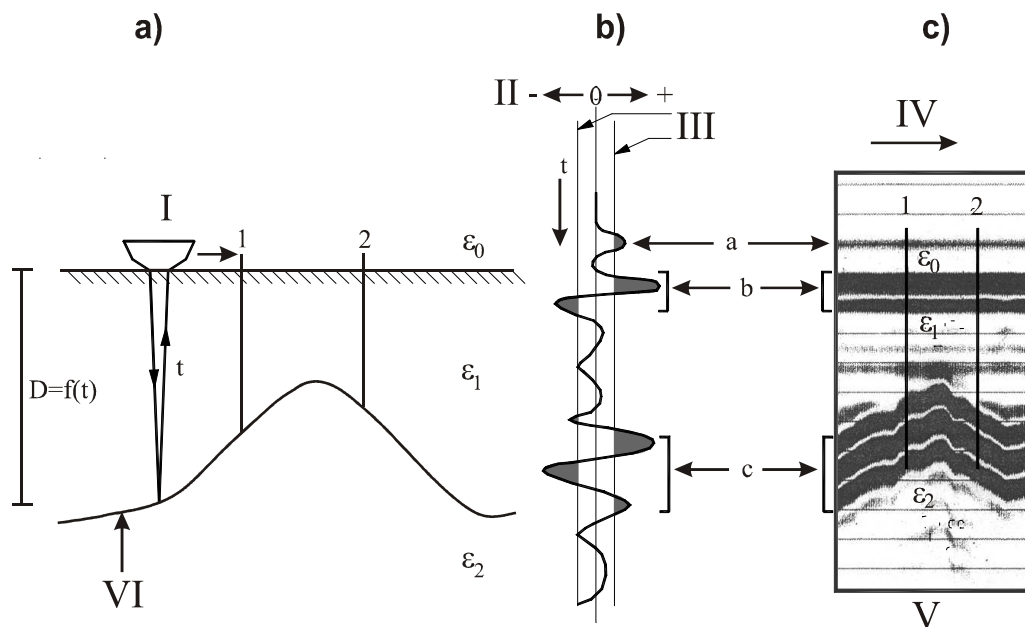


OPIS METODY GEORADAROWEJ

Pomiar metodą georadarową polega na przesuwaniu anteny wzdłuż wyznaczonego profilu. Antena nadawcza i odbiorcza przemieszczane są równocześnie. Istotę pomiaru przedstawiono na rys.1. Na badanym obiekcie antenę przemieszczano pomiędzy przyjętymi w terenie punktami, które na rysunku 1a oznaczono są cyframi 1 i 2. Z anteny wysyłany jest impuls fali elektromagnetycznej o określonej częstotliwości i amplitudzie. Fala ta odbija się na granicy dwóch ośrodków i wraca do aparatury, gdzie jest elektronicznie przetwarzana i rejestrowana.

Impulsy fal wysyłane w trakcie przemieszczeń anteny, skanują podłoże i tworzą jego obraz w postaci tzw.echogramu. Rys.1b przedstawia oscyloskopowy obraz pojedynczego skanu utworzony przez odbicia fali elektromagnetycznej. Impuls fali *a* odbija się częściowo od powierzchni terenu, powraca do anteny odbiorczej i jest rejestrowany jako sygnał *b*. Nieodbita część fali elektromagnetycznej przechodzi dalej w głąb ośrodka i odbija się od kolejnej granicy zmiany własności dielektrycznych.

Analizowany impuls oznaczono na rysunku 1 symbolem *c*. Zazwyczaj obrazuje się on w postaci trzech lub więcej wzmocnień sygnału. W ten sposób może wędrować w głąb badanego ośrodka, aż do całkowitego zaniku. Aparatura rejestruje zmiany amplitudy natężenia powracających odbitych w różnym czasie sygnałów. Graficzne przedstawienie następujących kolejno po sobie skanów tworzy barwny lub czarno-biały echogram zmian natężenia odbitych impulsów (porównaj rys.1c).



Rys.1 Schemat pomiaru

a – impuls wyjściowy

b – impuls odbicia od powierzchni terenu

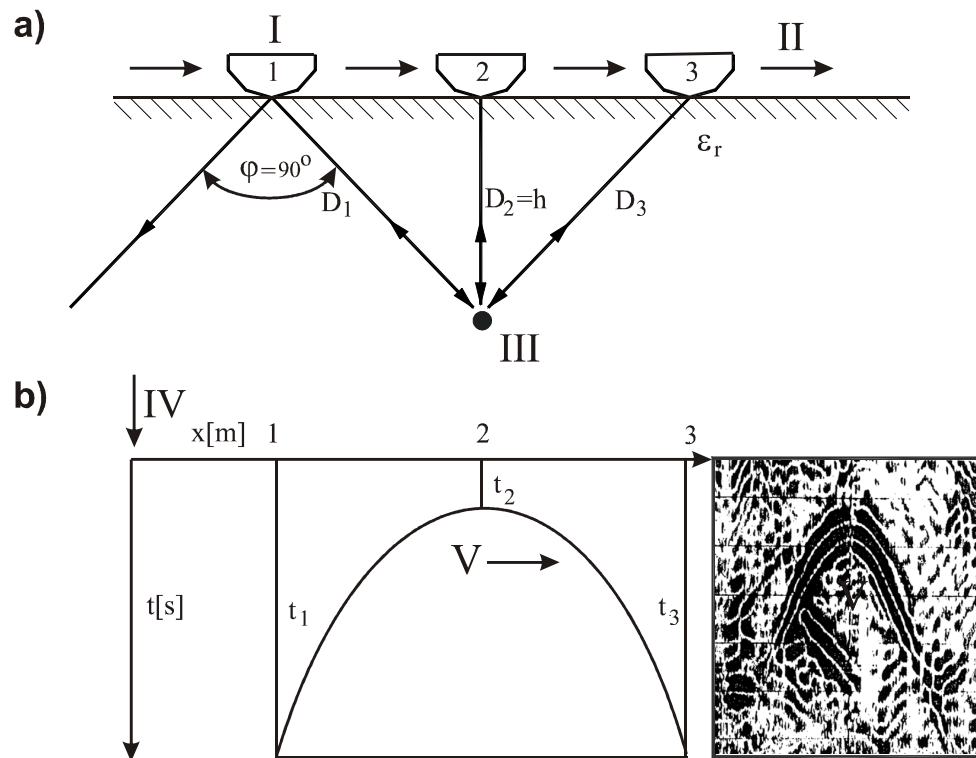
c – impuls odbicia od granicy podpowierzchniowej

$D=f(t)$ – głębokość jako funkcja czasu

ϵ_1, ϵ_2 – stała dielektryczna ośrodków

I – antena, II – amplituda odbieranego sygnału, III – zakres rejestracji sygnału,

IV – kierunek przemieszczania anteny, V – echogram, VI – granica podpowierzchniowa



Rys.2 Schemat poglądowy powstania echogramu obiektu liniowego o niewielkim przekroju

I – antena, II – kierunek przemieszczania anteny, III – przewód podziemny, IV – linia profilu, V – krzywa zmian odległości anteny od przewodu

Na rozdzielczość utworzonego obrazu ma wpływ częstotliwość fal elektromagnetycznych i budowa anteny. Im większa jest stosowna częstotliwość fali tym mniejsze elementy możemy zarejestrować. Ze wzrostem częstotliwości fali wzrasta jej tłumienie w ośrodku, w którym się rozchodzi i tym samym maleje głębokość jej penetracji. Jeżeli częstotliwość fali jest mniejsza to głębokość penetracji rośnie, w konsekwencji rejestrowane mogą być tylko większe objekty.

Fala elektromagnetyczna wysyłana jest w podłoże w formie kolistej, a nie równoległej wiązki. Zatem otrzymany echogram obiektu podziemnego nie pokazuje jego rzeczywistego kształtu.

Przykładem jest model powstawania obrazu obiektu liniowego o niewielkim przekroju. Wymaga on przyjęcia następujących założeń:

- ośrodek, w którym rozchodzi się impuls fali elektromagnetycznej z georadaru będzie nieograniczony, liniowy, izotropowy, jednorodny i bezstratny,
- linia profilu pomiarowego jest prostopadła do osi obiektu liniowego,
- rozmiary przekroju poprzecznego obiektu nie powinny wpływać na kształt echogramu.

Dla powyższych założeń obraz rozpatrywanego obiektu ma kształt hiperboli. Schemat poglądowy jego tworzenia zawiera rys.2.

Głębokość granicy odbijającej falę obliczamy ze wzoru:

$$D = \frac{c \cdot t}{2\sqrt{\epsilon_r}} \quad [\text{m}] \quad (1)$$

gdzie:

c – prędkość światła w próżni [m/s]

ϵ_r - stała dielektryczna ośrodka nad granicą, której głębokość jest określana

Fale elektromagnetyczne wysyłane z anteny rozchodzą się w przestrzeni. Impuls elektromagnetyczny wysyłany z anteny w punkcie 1 pokonuje drogę D_1 do przewodu, odbija się i wracając do anteny pokonuje tę samą drogę (rys.2). Wysłany i powracający pokona drogę $2D_1$ w czasie t_1 . Przesuwając antenę do punktu 2, czas przebycia drogi przez falę elektromagnetyczną do przewodu jest krótszy. Antena oddalając się w kierunku punktu 3 rejestruje obraz na podobnej zasadzie.

Na obrazie radarowym droga ta będzie odpowiadała czasowi, w jakim została przebyta przez falę. Przekształcając wzór (1) i otrzymamy postać równania przy pomocy, którego obliczymy czas przebiegu fali.

Zatem:

$$t = \frac{2D\sqrt{\epsilon_r}}{c} \quad [\text{s}] \quad (2)$$

gdzie:

$$D = \sqrt{x^2 + h^2}$$

czyli:

$$t = \frac{2\sqrt{x^2 + h^2}}{c} \cdot \sqrt{\epsilon_r} \quad (3)$$

gdzie:

x - odległość anteny od punktu na profilu leżącym nad obiektem [m]

h głębokość obiektu [m]

Wysyłane impulsy fali elektromagnetycznej rejestrowane są po ich odbiciu od przewodu po czasie $t_1, \dots, t_2, \dots, t_3$, tworząc krzywą obrazującą instalację (rys.2).

Rozpatrywany model echogramu dla zadanego obiektu jest wykresem równania (3), określającego czas przejścia fali elektromagnetycznej do odbijającego ją obiektu i jej powrotu.

Kształt i rozmiary obrazu obiektu liniowego o przekroju koła, z echogramu zależą od:

- głębokości położenia obiektu,
- stałej dielektrycznej ośrodka, w którym rozchodzi się fala elektromagnetyczna,
- skali pionowej i poziomej echogramu.

Mapa sytuacyjno-wysokościowa Zamku
Biskupów Krakowskich w Bodzentynie
Skala 1:500

stan na dzień 09.09.2019r.
wykonał:

