

**INSTYTUT BADAWCZY DRÓG I MOSTÓW**  
**Zakład Diagnostyki Nawierzchni**

**SPRAWOZDANIE**  
z realizacji pracy pt.:  
**„Analiza propagacji spękań nawierzchni z wykorzystaniem  
techniki radarowej”.**

---

**SPRAWOZDNIĘ CZĘŚCIOWE**  
Etap II – zadania 7 - 9

Zleceniodawca: Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad

Umowa nr 2192/2008 z dnia 11.08.2008 roku

Opracowali:

mgr inż. Jacek SUDYKA

dr Lech KRYSIŃSKI

mgr inż. Przemysław HARASIM

Eugeniusz MAJEWSKI

Jacek KUSIAK

Kierownik Zakładu

Diagnostyki Nawierzchni

mgr inż. Tomasz MECHOWSKI

Warszawa, listopad 2010

## Spis treści

1	Wstęp .....	5
2	Kontynuacja badań radarowych na wytypowanych odcinkach badawczych. ...	6
2.1	Odcinek A3_S; droga betonowa (DK 22, Czersk) .....	7
2.2	Odcinek A1_S; droga betonowo-asfaltowa (DK 22, na wschód od Gutowca) .....	10
2.3	Odcinek A2_S; droga betonowa (DK 22, na zachód od Gutowca) .....	18
2.4	Odcinek B_S (DK 7, koło Cedrów Małych) .....	21
2.5	Odcinek C_S (DK 9, koło Ilży).....	25
2.6	Odcinek D_S (DK 50, koło Kolbieli).....	29
3	Weryfikacja stanu spękań nawierzchni metodami klasycznymi. ....	31
4	Wstępna analiza porównawcza uzyskanych danych w drugim roku po rozpoczęciu pomiarów. ....	32
5	Podsumowanie .....	33

**Załącznik 1 Wyniki badań radarowych na wytypowanych odcinkach badawczych**

**Załącznik 2 Inwentaryzacja uszkodzeń metodą wizualną odcinków A1\_S, A2\_S, A3\_S, B\_S, C\_S, D\_S; plik: *InwentaryzacjaSpekan.pdf***

**Załącznik 3 Opisy rdzeni (W1\_A1\_S, W2\_A1\_S, W1\_A2\_S, W2\_A2\_S, W1\_B\_S, W2\_B\_S); plik *OpisyRdzeni.pdf***

**Załącznik 4 Korelowanie pozycji spękań obserwowanych wizualnie z przejawami zarejestrowanymi na echogramach; plik: *Korelacje.pdf***

## Spis ilustracji

Rysunek 2.1 Typowy obraz georadarowy szczeliny między płytowej (tzw. dylatacji) betonowej drogi DK 22 (Czersk).....	7
Rysunek 2.2 Typowy obraz georadarowy pionowego, poprzecznego pęknięcia wewnątrz-płytowego betonowej drogi DK 22 (Czersk)..	9
Rysunek 2.3 Echogramy szczelin między-płytowych o większej komplikacji struktury .....	10
Rysunek 2.4 Typowy wygląd uszczelnionego spoiwem nacięcia w warstwie asfaltowej wykonanego nad dylatacją w leżącym niżej betonie.....	11
Rysunek 2.5 Wynik skanowania nawierzchni wzdłuż trzech równoległych profili pokazujący budowę sąsiedztwa odwiertu W1_A1_S. ....	12
Rysunek 2.6 Poskładane (do konfiguracji pierwotnej) fragmenty rdzenia W1_A1_S	13
Rysunek 2.7 Echogram wzdłuż śladu prawego koła z naniesioną interpretacją budowy niecki wykruszeniowej w pobliżu odwiertu W1_A1_S wykonanego na dylatacji.....	15
Rysunek 2.8 Lokalny echogram użyty do wstępnej lokalizacji pęknięcia, na którym zaplanowano odwiert kontrolny W2_A1_S.....	16
Rysunek 2.9 Zestawione echogramy wzdłuż trzech równoległych profili rozpoznające szczegółowo sąsiedztwo zaplanowanego odwiertu W2_A1_S. ....	16
Rysunek 2.10 Sieć zaznaczonych punktów odniesienia użyta przy namierzaniu niewidocznego pęknięcia z precyzją kilkucentymetrową oraz widok otworu i fragmentów rdzenia W2_A1_S zaraz po odwierceniu.....	17
Rysunek 2.11 Uzyskane fragmenty rdzenia W2_A1_S poskładane do konfiguracji pierwotnej oraz spąg warstw asfaltowych widziany od dołu z widocznym asfaltowym odlewem szczytu szczeliny jaka wcześniej powstała w betonie. ....	18
Rysunek 2.12 Wynik skanowania wzdłuż trzech równoległych profili sąsiedztwa dwóch odwiertów sondujących nieckę w stropie betonu w pobliżu dylatacji i typową strukturę tego odcinka.....	19
Rysunek 2.13 Rdzenie uzyskane na odcinku badawczym A2_S .....	20
Rysunek 2.14 Zestawienie echogramu z przeskalowanymi fotografiami rdzeni odwierconych na tym samym profilu. ....	20
Rysunek 2.15 Echogramy uzyskane w sąsiedztwie spękań poprzecznych na odcinku B_S.....	21
Rysunek 2.16 Echogramy lokalne uzyskane na trzech równoległych profilach w sąsiedztwie wiercenia W1_B_S wykonanego na szczelinie (nr. 2) na odcinku B_S; .....	22
Rysunek 2.17 Miejsce wykonania wiercenia W1_B_S .....	23

Rysunek 2.18 Po prawej: górna powierzchnia szczeliny odspojeniowej na granicy warstwy wiążącej i podbudowy asfaltowej, pozbawiona wyraźnych śladów pęknięcia poprzecznego. Po lewej: boczna powierzchnia rdzenia z widocznym odspojeniem między warstwą wiążącą, a podbudową asfaltową oraz wyraźną granicą dolną podbudowy asfaltowej. Na granicy widoczne są znaczne ubytki i wyszczerbienia wskazujące na zachodzący tam proces odspojeniowy.....	23
Rysunek 2.19 Echogram lokalny uzyskany w sąsiedztwie wiercenia W2_B_S wykonanego w miejscu dalekim od szczelin i pozbawionym znamion defektów międzywarstwowych na odcinku B_S.....	24
Rysunek 2.20 Rdzeń W2_B_S pobrany w miejscu pozbawionym spękań i nie wskazującym na obecność odspojień lub innych osobliwości budowy nawierzchni na odcinku B_S (DK 7, Cedry Małe)..	24
Rysunek 2.21 Przykłady silnych <i>choinkowych układów refleksów</i> rozproszeniowych o kształcie hiperbolicznym .....	27
Rysunek 2.22 Przykład silnej <i>grupy pionowej</i> skupionych (o dobrej lokalizacji poziomej) refleksów sugerujących obecność defektów (zaburzeń regularnej, warstwowej struktury ośrodka) położonych jeden nad drugim, czyli niemal pionowo.....	28
Rysunek 2.23 Różnica pomiędzy dwoma sposobami mierzenia pozycji pęknięcia w funkcji położenia (odcinek C_S, DK 9, koło Iłży) .....	29
Rysunek 2.24 Echogramy uzyskane w pobliżu miejsc, gdzie występują spękania na odcinku badawczym D_S (DK 50, koło Kołbieli).....	30

## 1 Wstęp

W drugim roku prac badawczych przeprowadzono badania terenowe mające na celu rozpoznanie możliwości techniki georadarowej w diagnostyce spękań poprzecznych nawierzchni drogowych. W tym celu na wytypowanych wcześniej odcinkach badawczych wykonano półszczegółowe skanowania (o podwyższonej gęstości skanów na jednostkę długości) i wizualną inwentaryzację spękań. Wykonano dalej pierwsze interpretacje echogramów wraz z próbami ich korelacji z katalogiem widocznych spękań. Próby te ujawniły poważne niezgodności pomiędzy różnymi metodami pomiaru położenia wzdłuż drogi. Przeprowadzono także pierwsze próbne wiercenia mające na celu rozpoznanie wglębnej budowy kilku wybranych, prostszych struktur powiązanych z problematyką diagnozy spękań oraz udaną próbę rozpoznania wierceniem pęknięcia niewidocznego na powierzchni. Zadania te wymagały wypracowania specjalnych metod namierzania w terenie pęknięcia manifestującego się jedynie w obrazie georadarowym. Tradycyjne metody mają dużą metrową lub wielometrową niepewność, a próby korelacji wymagają precyzji decymetrowej, zaś wiercenie wymaga lokalizacji z precyzją przynajmniej kilkucentymetrową.. Pomimo zaistniałych trudności prace te doprowadziły do znalezienia kryteriów diagnostycznych opisujących sposób w jaki pęknięcie przejawia się w obrazie georadarowym.

## 2 Kontynuacja badań radarowych na wytypowanych odcinkach badawczych.

Badania georadarowe w terenie polegały na wykonaniu pojedynczych skanowań nawierzchni wzdłuż śladu prawego koła na sześciu wytypowanych wcześniej odcinkach badawczych. Zastosowano tutaj podwyższoną rozdzielczość poziomą 50 skanów na metr, która jest potrzebna z jednej strony do prawidłowego udokumentowania hiperbol rozproszeniowych, a z drugiej strony umożliwia redukcję szumów niekoherentnych, które poważnie utrudniają identyfikację hiperbol mających zwykle bardzo małą amplitudę sygnału. Skanowania te miały charakter rozpoznania wstępnego, którego celem była obserwacja w terenie georadarowych manifestacji spękań w formie hiperbol, a jeśli tak, to czy pozycje wierzchołków tych hiperbol korelują z pozycjami spękań widocznych na powierzchni. Stwierdzenie jakie elementy obrazu georadarowego współwystępują zwykle ze spękaniami wiedzie do sformułowania kryteriów diagnostycznych. Natomiast przypadki braku widocznych spękań w miejscach, gdzie występują ich georadarowe znamiona wskazują na pęknięcia ukryte, które nie pojawiły się jeszcze na powierzchni.

Trzy odcinki dawnej drogi betonowej (A1\_S, A2\_S, A3\_S; DK 22) stanowiły przypadki szczególne. Szczeliny tam występujące nie są typowymi spękaniami, ale manifestują się wyraźnie w obrazie georadarowym i są bardzo dobrym przykładem wstępnym. Trzy pozostałe przypadki (B\_S, C\_S, D\_S) to nawierzchnie asfaltowe powstałe na bazie wcześniejszej konstrukcji asfaltowej. Dwa z tych przypadków (B\_S, D\_S) nie ujawniły oczekiwanych georadarowych manifestacji spękań, wskazując jednak na istotny związek z odspojeniami i komplikacjami układu warstw występującymi w tym samym miejscu, które są obserwowane w obrazie georadarowym i mają dobre potwierdzenia w wierceniach. Trzeci przypadek (C\_S) dostarczył wspaniałej galerii przykładów manifestacji pojedynczych spękań. Przypadek ten wykazał, że do diagnostyki spękań, oprócz podwyższonej gęstości stanów, bardzo potrzebne są przynajmniej trzy skanowania nawierzchni wykonane wzdłuż równoległych biegnących blisko siebie profili (w odległości około 50 cm jeden od sąsiedniego). Zestawienie takich echogramów może dawać potwierdzenie, czy znamiona diagnostyczne występują przy tym samym dystansie na sąsiednich profilach. Takie potwierdzenie poprzecznej rozciągłości bardzo lokalnej struktury jest bardzo dużą pomocą w uzasadnieniu przypuszczenia o pęknięciu, szczególnie w przypadkach o słabej manifestacji.

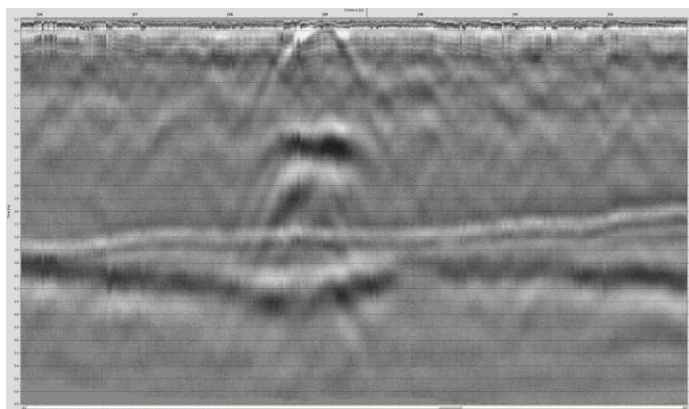
W celu lokalizacji poszukiwanego elementu struktury i rozpoznania otoczenia miejsca wiercenia skanowania georadarowe były przeprowadzane także na bardzo krótkich, kilkumetrowych odcinkach, z użyciem skrajnie wysokiej gęstości 500 skanów na metr, zwykle w trzech równoległych bliskich sobie profilach i tuż przed wykonaniem wiercenia. Warto tu zaznaczyć, że ta eksperymentalna procedura często daje niespodziewane wyniki odsłaniając szczegóły struktury, których interpretator nie stwierdza przy analizie pojedynczego echogramu o mniejszej rozdzielczości.

## 2.1 Odcinek A3\_S; droga betonowa (DK 22, Czersk)

Odcinki A1\_S (w pobliżu Gutowca po wschodniej stronie, 271+500 do 271+000, lewa strona drogi, ślad prawego koła), A2\_S (w pobliżu Gutowca po zachodniej stronie, 269+000 do 268+500, lewa strona drogi, ślad prawego koła) oraz A3\_S (Czersk, 278+800 do 279+000, prawa strona, ślad prawego koła) należą do drogi DK 22 zbudowanej z płyt betonowych. Na odcinkach A1\_S oraz A2\_S beton został przykryty warstwą asfaltu, zaś na odcinku A3\_S powierzchnia betonu jest odsłonięta i jest dostępna bezpośredniej obserwacji, co umożliwia lokalizację szczelin i pęknięć, które wraz z bardziej rozległymi ubytkami nawierzchni zostały poddane naprawie przez wykonanie łąty z betonu asfaltowego.

Echogram odcinka A3\_S został poddany gruntownym oględzinom. Defekty struktury widoczne na echogramie zostały sklasyfikowane i wykonano ich szczegółową listę. Lista ta, jak się okazuje, pozostaje w ścisłej zgodności z inwentaryzacją spękań widocznych na powierzchni.

Defekty widoczne na echogramie to zasadniczo dwa typy obrazów. Pierwszy typ obrazu zawiera pojedynczą lub wielokrotną hiperbolę rozproszeniową w stropie nawierzchni, wielokrotną replikę (zwykle para hiperbol) na poziomie pośrednim warstwy betonu (głębokość kilkunastu centymetrów) oraz zespół strukturalny w spągu betonu (głębokość dwudziestu kilku centymetrów) (Rysunek 2.1).



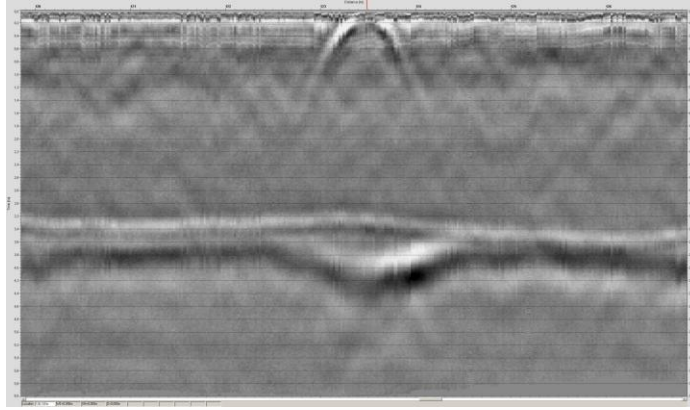
Rysunek 2.1 Typowy obraz georadarowy szczeliny międzypłytkowej (tzw. dylatacji) betonowej drogi DK 22 (Czersk). Widoczna jest pojedyncza hiperbola stropowa, podwójna replika na poziomie pośrednim (typu podwójnej hiperboli) oraz replika w spągu (zapadnięta powierzchnia spągowa z dwoma pochylonymi skrzydłami, zmieniony typ refleksu spągowego pomiędzy podwójnym dodatnim, a wzmocnionym pojedynczym ujemnym oraz słabe ślady hiperbol o wierzchołkach usytuowanych w spągu).

Interpretacja strukturalna takiego obrazu, czyli przetłumaczenie go na opis lokalnej budowy ośrodka, nie jest sprawą prostą. Przypisanie znaczenia tektonicznego poszczególnym elementom obrazu wymaga wykonania wierceń, dysponowania laboratoryjnymi modelami prostych układów tektonicznych z ich obrazami georadarowymi oraz informacjami o prawdopodobnym typowym stylu budowy danej drogi. Warto tutaj zwrócić uwagę na znaczne rozmiary poprzeczne opisywanej struktury. Odległość wierzchołków pary hiperbol tworzących replikę centralną (głębokość

kilkunastu centymetrów) wynosi zwykle kilkadziesiąt centymetrów. Wiadomo, że para hiperbol o wierzchołkach usytuowanych na tej samej głębokości staje się rozróżnialna (jak to pokazują modele laboratoryjne, antena 2 GHz) przy odległości wierzchołków przekraczającej 10 cm. Z kolei niecka zapadnięciowa widoczna w kształcie powierzchni spągowej betonu ma szerokość rzędu metra. Jej dwa pochylone skrzydła schodzą się ku osi pionowej obrazu szczeliny. Taki ich układ sugeruje potencjalną obecność dwóch pionowych poprzecznych pęknięć stowarzyszonych po obu stronach szczeliny, ale nie jest dowodem ich obecności ponieważ pochylenie skrzydeł mogło powstać przy wylewaniu płyty na miejscu. Zmiana typu refleksu spągowego może być skutkiem poważnych zmian na powierzchni stuku betonu z podłożem w pobliżu szczeliny. Podobne zmiany o charakterze degradacyjnym mogą potencjalnie zachodzić na poziomie centralnym, gdzie mamy do czynienia ze stykiem górnego i dolnego betonu, która to powierzchnia uwidacznia się miejscami na echogramie jako bardzo słaby i rozmyty refleks. Jednak w przypadku tej nawierzchni zespół replik na poziomie centralnym jest powodowany przede wszystkim elementami zbrojenia, gdyż w miejscach styku płyt zostały zatopione stalowe rury łącznikowe uniemożliwiające ich względne przesunięcia pionowe. Na taką rurę natrafiło wiercenie na odcinku A1\_S celowo usytuowane na szczelinie między-płytowej. Wiercenie to stwierdziło także obecność nielicznych poziomych prętów zbrojeniowych w spągu, które mogą być odpowiedzialne za zmianę typu refleksu spągowego.

Drugi typ obrazu pionowego defektu struktury warstwowej z jakim mamy do czynienia na tym odcinku odpowiada poprzecznemu pionowemu pęknięciu wewnątrz-płytowemu (Rysunek 2.2.). Zasadniczą różnicą jest w tym przypadku w porównaniu z typem pierwszym brak repliki centralnej. W najprostszym przypadku mamy do czynienia z pojedynczą hiperbolą stropową i odpowiedzią (repliką) w spągu. Termin odpowiedź lub replika jest tutaj używany w sensie strukturalnym podkreślając wzajemny pionowy związek geometryczny taki, że elementy układu leżą niemal dokładnie jedno nad drugim, przez co mamy powody wiązać je bezpośrednio jako elementy struktury i możemy przypuszczać ich wspólną genezę. Występowanie hiperboli stropowej wraz z repliką spągową w praktyce oznacza, że pęknięcie przecina na wskroś całą płytę, aczkolwiek poznanie natury zniszczeń w spągu wymaga dodatkowych badań. Podobnie jak w pierwszym przypadku mamy i tutaj do czynienia z zapadnięciami spągu w kształcie niecki z dwoma pochylającymi się ku sobie skrzydłami oraz ze zmienionym typem refleksu spągowego. Jednak pęknięcia te występują w wewnętrznych obszarach płyt, które mają zwykle regularny (płaski) przebieg powierzchni spągowej i trudno przypuszczać, że niecki powstały w skutek wylewania płyty, a spąg został szczególnie obficie wyposażony w pręty zbrojeniowe właśnie w tych miejscach na długo przed powstaniem pęknięć. Tym samym możliwość występowania dodatkowych pęknięć w miejscach zagięcia powierzchni spągowej jest w tym przypadku bardzo prawdopodobna.

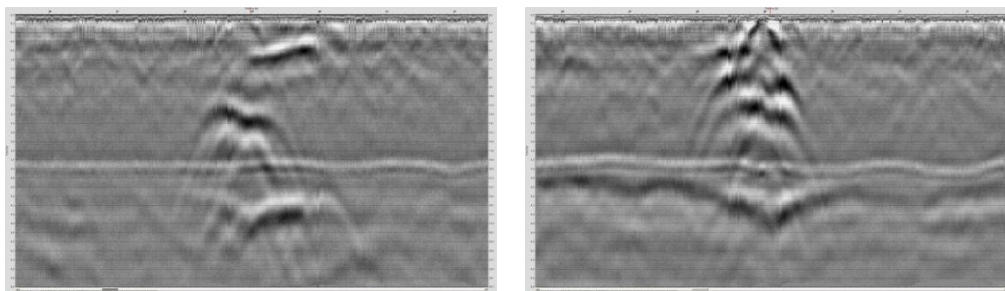




Rysunek 2.2 Typowy obraz georadarowy pionowego, poprzecznego pęknięcia wewnątrz-płytowego betonowej drogi DK 22 (Czersk). Widoczna jest pojedyncza hiperbola stropowa oraz replika w spągu (zapadnięta powierzchnia spągowa z dwoma pochylonymi skrzydłami, zmieniony typ refleksu spągowego z pojedynczego ujemnego na podwójny dodatni oraz słabe ślady pół-hyperbol o wierzchołkach usytuowanych w spągu w miejscu połączenia pochylonych skrzydeł niecki zapadnięciowej).

Występowanie wyraźnych hiperbol stropowych jest w przypadku spękań zjawiskiem wyjątkowym. Znakomita kondycja tych hiperbol bierze się w tym przypadku stąd, że jak to ujawniły wiercenia, szczeliny między płytowe są szerokie (rzędu centymetra) i tworzy je deska przegrody szalunkowej lub materiał obcy naniesiony po jej zniszczeniu. Podobnie pęknięcia wewnątrz-płytowe są szerokie i wypełnia je zmielony (zmylonityzowany) materiał powstały z betonu w trakcie pracy szczeliny. Jak pokazują eksperymenty laboratoryjne z pionowymi płytami będącymi analogowymi modelami pionowych szczelin w procesie generacji obrazu dyfrakcyjnego, górna krawędź szczeliny (lub płyty) jest miejscem odpowiadającym w przybliżeniu wierzchołkowi powstającej hiperboli dyfrakcyjnej. Podobnie dolnej krawędzi odpowiada druga, niżej położona hiperbola, zaś sama powierzchnia pionowej szczeliny (lub płyty) nie manifestuje się jawnie jako wyraźny element obrazu falowego, a jedynie przyczynie się do specyficznego uformowania kształtu pakietów czołowych tworzących hiperbole. Spostrzeżenia te są zgodne z obrazami uzyskiwanymi w badaniach terenowych z tą różnicą, że hiperbola dolna jest bardzo słaba, jeśli w ogóle można ją zaobserwować. Tym bardziej zadziwia bardzo wysoka amplituda hiperboli górnej. Nasuwa się zatem przypuszczenie, że jest ona skutkiem nie tyle obecności samego pęknięcia, ale występowania specyficznych zniszczeń w formie wykruszeń w pobliżu górnej krawędzi szczeliny. Ubytki te mają formę rowka o znacznych rozmiarach rzędu kilku centymetrów szerokości i głębokości wypełnionego materiałem obcym o dużym kontraście prędkości falowej względem materiału nawierzchni, a w procesie generacji obrazu falowego obiekt ten odpowiada prętowi wcielonemu w górną powierzchnię nawierzchni.

Pokazane powyżej przykłady zostały wybrane jako przypadki najprostsze, czyli elementarne. Jednak szczeliny między-płytowe tej betonowej drogi dostarczają mnogości przykładów bardziej złożonych.



Rysunek 2.3 Echogramy szczelin między-płytowych o większej komplikacji struktury

Dwa przykłady pokazane na Rysunku 2.3 odpowiadają miejscom gdzie nastąpiły rozległe zniszczenia powierzchniowe, które wymagały naprawy w formie łąty. W przykładzie po lewej stronie dylatacja między-płytowa występuje na 39 metrze profilu. Tam też zaczyna się łąta, która ciągnie się do 40 metra profilu, a jej spąg jest widoczny na echogramie w postaci połego refleksu na głębokości około 5 cm. Na uwagę zasługuje replika spągowa, która pod krawędzią łąty (na 40 metrze) ma wierzchołek niezbyt silnej dodatkowej hiperboli, która sugeruje, że występuje tam pęknięcie wewnątrz-płytowe.

## 2.2 Odcinek A1\_S; droga betonowo-asfaltowa (DK 22, na wschód od Gutowca)

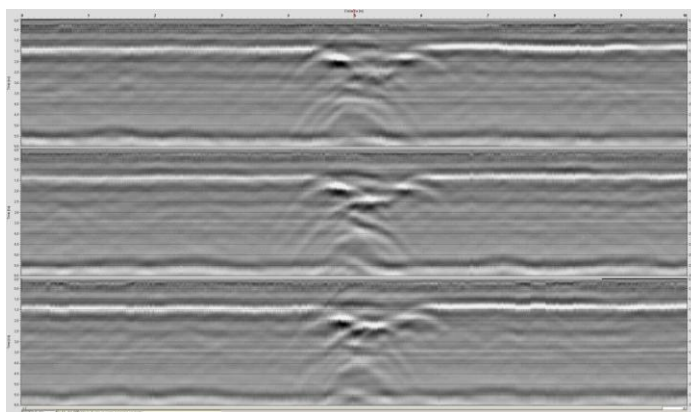
Nawierzchnię odcinka A1\_S (w pobliżu Gutowca po wschodniej stronie, 271+500 do 271+000, lewa strona drogi, ślad prawego koła) stanowią warstwy podbudowy betonowej jak na odcinku A3\_S, przykryte warstwą asfaltową (warstwa ścieralna) o grubości około 3÷4 cm. W miejscach napraw wykonanych przed ułożeniem warstwy ścieralnej zastosowano asfaltową warstwę wyrównującą. Łączna grubość warstw asfaltowych w tych miejscach ma około 5÷7 cm grubości.

Materiał warstw asfaltowych w swej części spągowej stanowi w szczególności wypełnienie niecek na powierzchni betonu, najczęściej w otoczeniu dylatacji i mniejszych rozmiarami ubytków, u szczytu pęknięć wewnątrz-płytowych tam, gdzie pęknięcia te dochodzą do powierzchni płyty betonowej. Wypełnienia te, jak pokazują wiercenia, zostały wykonane wcześniej (być może znacznie wcześniej) przy użyciu mieszanki o bardzo drobnym kruszywie przed położeniem nakładki asfaltowej. Na odcinku A2\_S nakładka przykrywająca beton wraz z wypełnieniami naprawczymi ma postać pojedynczej warstwy ścieralnej, zaś na odcinku A1\_S są to dwie warstwy asfaltowe. W obu przypadkach w wyższej warstwie ścieralnej zostały wykonane liniowe nacięcia poprzeczne o szerokości 1 cm w pobliżu dylatacji między-płytowych, a nacięcia te zostały wypełnione lepiszczem (Rysunek 2.4). Technika ta ma za zadanie zapobieganie rozszerzaniu się strefy spękań powstającej w segmencie asfaltowym w pobliżu aktywnej ze swej natury dylatacji.



Rysunek 2.4 Typowy wygląd uszczelnionego spoiwem nacięcia w warstwie asfaltowej wykonanego nad dylatacją w leżącym niżej betonie. Obok widoczna powstająca niezgodnie szczelina.

Wykonanie wiercenie W1\_A1\_S zaplanowano w miejscu dylatacji między-płytkowej w celu rozpoznania typowej struktury takiej szczeliny i zjawisk odpowiedzialnych za generację nadzwyczaj silnych obrazów rozproszeniowych. Miejsce wybrane jako reprezentatywne na podstawie wcześniejszego, wstępnego i poddanego dokładnemu przeglądowi skanowania, zostało przed wierceniem rozpoznane szczegółowo przez wykonanie wysoko-rozdzielczego skanowania (500 skanów na metr) wzdłuż trzech równoległych profili. Centralny profil biegł wzdłuż śladu prawego koła, przez planowane miejsce wiercenia na dylatacji, zaczynając się 5 metrów przed, a kończąc 5 metrów za dylatacją. Dwa profile flankowe (lewy i prawy) biegły równoległe do centralnego w odległości 50 cm na lewo i 50 cm na prawo od profilu centralnego odpowiednio. Dzięki takiej konfiguracji zsynchronizowane echogramy (Rysunek 2.5) odpowiadające tym trzem profilom dają wgląd w kontynuację badanej struktury w kierunku poprzecznym do osi profili. W szczególności obecność wysoce podobnych obrazów rozproszeniowych, o podobnej kondycji amplitudowej na wszystkich trzech profilach dokładnie w tym samym miejscu i z elementami wierzchołkowymi usytuowanymi na tych samych głębokościach daje potwierdzenia, że mamy do czynienia o osobliwą strefą poprzeczną do osi profili. To, że jest to strefa poprzeczna, a nie obiekt punktowy lub strefa biegnąca podłużnie ma duże znaczenie praktyczne w przypadku sondowania ośrodka za pomocą wiercenia, gdyż dobrze zlokalizowana strefa poprzeczna daje bardzo duże szanse na jej trafienie wierceniem, zaś w innych przypadkach lokalizowanie jest znacznie trudniejsze i wymaga modyfikacji i rozbudowy sieci profili.



Rysunek 2.5 Wynik skanowania nawierzchni wzdłuż trzech równoległych profili pokazujący budowę sąsiedztwa odwiertu W1\_A1\_S (przed jego odwierceniem).

Szczegółowe skanowanie uwidocznilo także w bardziej wyraźny sposób złożoną budowę otoczenia dylatacji. W stropie warstwy betonowej mamy do czynienia z wielo-tarasową niecką (rów poprzeczny) o szerokości niemal 1.5 metra, wypełnioną mieszanką asfaltową, zapewne w trakcie wcześniejszych napraw. Echogram ukazuje zarówno powierzchnie tarasów jak i horyzonty pomiędzy warstwami asfaltowymi. Widać ponadto, że wierzchołkami hiperbol (lub pół-hiperbol) rozproszeniowych są krawędzie tarasów. W strefie osiowej szczeliny mamy do czynienia z licznymi centrami rozproszeniowymi, także na głębokościach odpowiadających segmentowi betonowemu. Liczne z tych obiektów rozproszeniowych muszą mieć rozmiary lub odległości liczone wzdłuż profilu (znaczną rozciągłość wzdłuż profilu) rzędu kilku dziesiątków centymetrów, gdyż przeciwnie skierowane ramiona hiperbol są znacznie rozsunięte i nie mogą należeć do jednej hiperboli o źródle dobrze zlokalizowanym.

Wiercenie rozpoznawcze W1\_A1\_S (Rysunek 2.6) wykonane w śladzie prawego koła ukazało nadzwyczajne bogactwo strukturalne i bogatą historię strefy dylatacji, potwierdzając interpretację echogramów i nadając wielu jej elementom realne znaczenia konstrukcyjne. W budowie rdzenia widoczne jest wypełnione lepiszczem nacięcie górnej warstwy ścieralnej oraz rozwierające się ku dołowi pęknięcie tnące dolną warstwę ścieralną i niżej leżące asfaltowe wypełnienie niecki; górny fragment rdzenia nie rozpadł się jednak wzdłuż szczeliny. U dołu szczelina ta nie trafia dokładnie w dylatację, u góry jednak nacięcie zostało wykonane nad górną krawędzią szczeliny, co wydaje się być praktyką słuszną, gdyż nacięcie znajduje się wtedy dokładnie nad linią aktualnej rzeczywistej aktywności przesuwczej leżącego niżej ośrodka. Szczelina ta otwierała się w trakcie wiercenia utrudniając istotnie wyjęcie rdzenia z wiertła koronkowego, a jej rozwarcie „in situ” mogło być nieznaczne, wręcz mikroskopowe. Ani nacięcie, ani szczelina nie są w tym układzie źródłem sygnału rozproszeniowego o wielkości możliwej do zaobserwowania. Oprócz nie uchwyconych wierceniem krawędzi tarasów niecki inne kluczowe źródła znajdują się niżej i mają znakomitą reprezentację w inwentarzu rdzenia. Jest to przede wszystkim deska stanowiąca między-płytową przegrodę szalunkową wraz ze strukturami towarzyszącymi jej obecności oraz elementy zbrojeniowe. Ustawiona pionowo drewniana deska szalunkowa ma grubość około 1 cm i jej górna bądź dolna krawędź może być źródłem słabego, ale potencjalnie możliwego do wychwycenia



sygnału rozproszeniowego. Jednak w tym przypadku mamy do czynienia z bardzo silnym sygnałem rozproszeniowym, którego źródłem jest osobliwość struktury usytuowana na granicy betonu i asfaltu. Obiekt ten może być przeoczony, jako że uległ niemal całkowitemu wykruszeniu w trakcie wiercenia.



Rysunek 2.6 Poskładane (do konfiguracji pierwotnej) fragmenty rdzenia W1\_A1\_S (widoczny fragment deski szalunkowej, fragment łącznikowej rury zbrojeniowej, skorodowane fragmenty cienkich prętów zbrojeniowych jeden pod rurą, a drugi w spągu betonu, rozwierająca się ku dołowi szczelina w dolnych warstwach asfaltowych, rozległe zniszczenia ze zmianami mineralnymi na połączeniu warstw asfaltowych z warstwą betonową, a zachodzące głównie w stropie betonu), zbliżenie fragmentu górnego (z widoczną szczeliną biegnącą w dół od wypełnionego spoiwem nacięcia w warstwie ścieralnej) i widok na otwór tuż po odwierceniu (widoczny fragment deski szalunkowej w betonowym segmencie ściany otworu).

Jest nim spektakularna strefa zniszczeń w stropie betonu rozciągająca się wzdłuż dylatacji. Na poziomie tym rdzeń jest przerwany i ma znaczny ubytek tworzący połąkę poduszkę w samym stropie warstwy betonowej dokładnie ponad dylatacją. Wysokość tej poduszki przekracza w części centralnej 5 cm, a jej szerokość, jak można szacować, jest rzędu decymetra. Relikty zdegradowanego materiału tworzącego tę liniową poduszkę są przyklejone do spągu warstw asfaltowych i miejscami zachowały się w bezpośrednim sąsiedztwie dylatacji. Degradacja dotknęła przede wszystkim spoiwo betonu i jest związana z permanentną obecnością wody i zapewne także z czynnikami tektonicznymi. Zdegradowane erozyjnie, osłabione spoiwo ma bowiem barwę ciemno szarą w odróżnieniu o jasnej barwy właściwej twardemu niezniszczonemu betonowi w niższej części rdzenia.

Zniszczeniowa osobliwość tej strefy staje się jeszcze bardziej czytelna przy śledzeniu powierzchni odsłonięcia poza strefą wykruszenia. Powierzchnia ta przecina zarówno

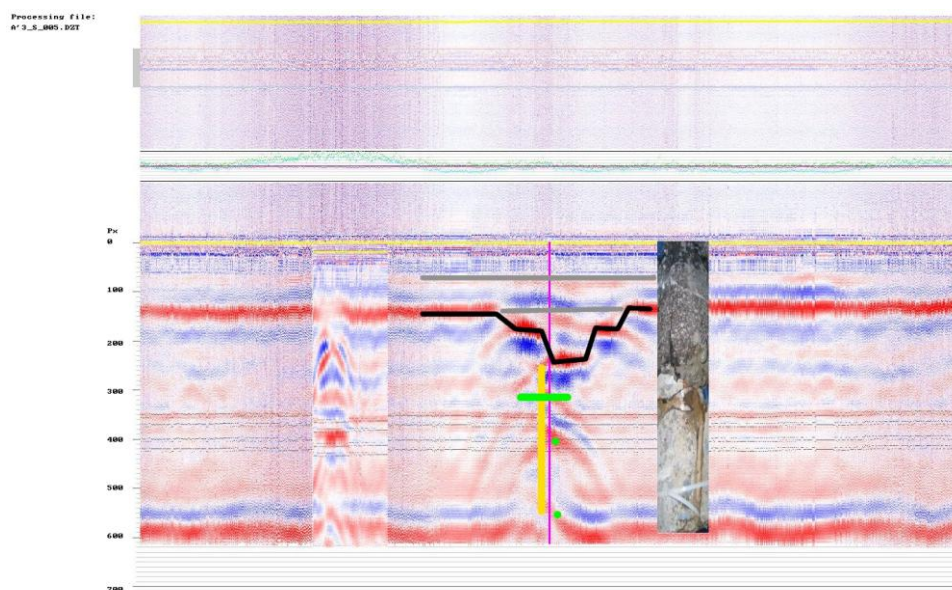
warstwę asfaltową jak i betonową nie sugerując żadnego osłabienia na powierzchni kontaktu warstw. Podobny mocny kontakt z jeszcze wyraźniejszym skropieniem jest widoczny w rdzeniach referencyjnych pobranych na sąsiednim odcinku A2\_S. Zmiany materiałowe w stropie betonu zachodzące w pobliżu dylatacji mogą być także odpowiedzialne za zmianę typu refleksu odpowiadającego granicy pomiędzy betonem i asfaltem. W obszarach wewnątrz-płytowych refleks ten jest pojedynczym refleksem dodatnim, zaś tarasy niecki charakteryzują się wyraźnym refleksem podwójnym dodatnim, co pozostaje w zgodności z przypuszczeniem o istotnej obecności wody (w porach lub wody w minerałach ilastych) na tej granicy. Spostrzeżenia dotyczące budowy otoczenia dylatacji, jakie poczyniono na podstawie echogramów i wiercenia zostały zebrane w formie szkicu na tle echogramu (Rysunek 2.7).

Drugą rodziną źródeł sygnałów rozproszeniowych są elementy zbrojeniowe położone głębiej wewnątrz warstwy betonowej. Najbardziej spektakularne są kotwiczące rury łącznikowe blokujące względne ruchy pionowe stykających się ze sobą krawędzi płyt. Łączniki te biegną poziomo wzdłuż osi drogi, na poziomie odpowiadającym mniej więcej połowie głębokości warstwy betonowej, przebijają drewniane przegrody szalunkowe i zagłębiają się w sąsiadujące płyty na kilkanaście bądź kilkadziesiąt centymetrów. Na taką stalową rurę o średnicy 3 cm natrafiło wiercenie. Właśnie te łączniki są źródłem widocznych na echogramach „replik” na głębokości kilkunastu centymetrów w miejscach dylatacji między-płytowych. Znaczna długość tych łączników sprawia, że repliki mają postać hiperbol podwójnych. Zaś pęknięcia wewnątrz-płytowe są tych replik pozbawione, gdyż łączniki wewnątrz płyt nie występują.

Innym elementem zbrojeniowym są znacznie cieńsze od łączników stalowe pręty zbrojeniowe o średnicy około 5 mm. Wiercenie W1\_A1\_S natrafiło na trzy takie poziome pręty: jeden prostopadły do osi drogi na głębokości 2 cm pod osią łącznika i dwa w spągu betonu (jeden prostopadły i jeden równoległy do osi drogi). Prętów takich nie stwierdzono w trzech pozostałych wierceniach na odcinkach (A1\_S, A2\_S), a wiercenia te były wykonane z dala od dylatacji. Może to oznaczać, że lokalny styl budowy drogi zakładał użycie nielicznych prętów zbrojeniowych jedynie w pobliżu dylatacji. Potencjalnie pręty te mogą być odpowiedzialne za liczne komplikacje rozproszeniowych obrazów georadarowych uzyskiwanych w pobliżu dylatacji. Komplikacje te mogą być potencjalnie także skutkiem procesów degradacyjnych rozwijających się w otoczeniu łączników, czy prętów, bądź też na granicy (słabo widocznej) pomiędzy górnym, a dolnym betonem w miejscu, gdzie granicę przecina dylatacja.

Osobną kategorię zjawisk stanowią deformacje kształtu powierzchni spągowej betonu i osobliwości występujące na tej powierzchni w pobliżu dylatacji, które są odpowiedzialne za generację hiperbol spągowych (o wierzchołku usytuowanym w spągu). Uzyskane echogramy kończą się na refleksie spągowym i hiperbole nie są widoczne w tym wypadku. Widoczna jest jedynie prawie punktowa komplikacja kształtu powierzchni spągowej, która może być jednocześnie wierzchołkiem hiperboli. Rdzeń W1\_A1\_S, który zawiera powierzchnię spągową potwierdza, że w tym przypadku możemy mieć do czynienia z sytuacją najprostszą, gdzie dylatacja z deską kończy się

nagle na powierzchni spągowej bez dodatkowych komplikacji struktury w otoczeniu dna szczeliny. Takie proste dno szczeliny jest potencjalnym źródłem jednej słabej hiperboli spągowej. Echogramy uzyskane na drodze DK 22 pokazują jednak, że taka prosta sytuacja chociaż jest spotykana, należy raczej do rzadkości.

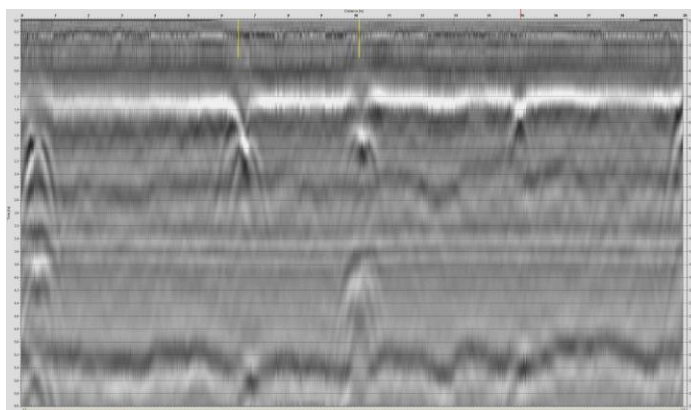


Rysunek 2.7 Echogram wzdłuż śladu prawego koła z naniesioną interpretacją budowy niecki wykruszeniowej w pobliżu odwiertu W1\_A1\_S wykonanego na dylatacji. Pozycja osi odwiertu zaznaczona jest pionową fioletową linią, deska szalunkowa pionową linią żółtą, strop betonu linią czarną, horyzonty pomiędzy warstwami asfaltowymi liniami szarymi, łącznikowa rura zbrojoniowa poziomą linią zieloną, pozycje poprzecznych prętów zbrojeniowych zielonymi kropkami. Obok (w niewłaściwych pozycjach) znajdują się: odpowiednio przeskalowany obraz rdzenia oraz fragment echogramu odpowiadający innej wybranej dylatacji na tym samym odcinku badawczym zestawione w celach porównawczych.

Drugie wiercenie W2\_A1\_S (Rysunek 2.10) na tym odcinku miało za cel próbę precyzyjnej lokalizacji i potwierdzenia obecności pęknięcia wewnątrz-płytowego całkowicie niewidocznego na powierzchni, bo przykrytego warstwą asfaltu bez żadnych widocznych. Pierwszym problemem było odnalezienie właściwej płyty, ponieważ pęknięcie zostało wytypowane na podstawie znacznie wcześniej wykonanego skanowania.

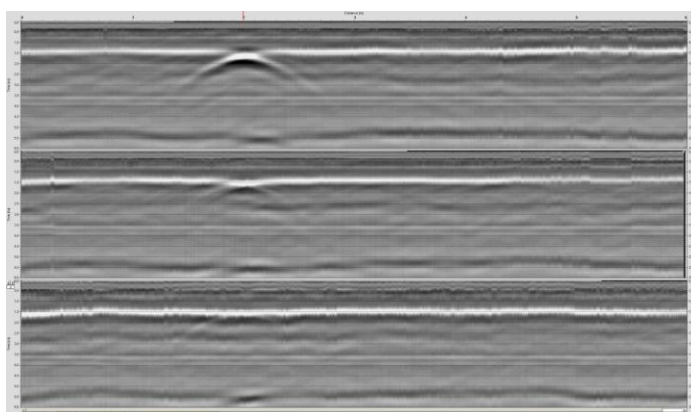
Niska precyzja i poważne niezgodności pomiędzy różnymi sposobami pomiaru pikietażu, niepewność zaznaczeń wykonywanych w trakcie pomiaru z samochodu (możliwość pomylenia zaznaczeń odpowiadających nacięciom i słupkom) powodują, że zachodzi wręcz możliwość pomylenia płyt, zaś znaczniki, dylatacje i słupki nie dają szans na lokalizację wąskiej szczeliny nawet z precyzją metrową. Wykonano zatem najpierw skanowanie wstępne dwudziesto metrowego fragmentu w pobliżu końca odcinka badawczego, gdzie znajduje się wybrane pęknięcie (Rysunek 2.8). Echogram porównano pod względem charakterystycznego układu obrazów pięciu szczelin z wcześniejszym echogramem ogólnym. Wybrane pęknięcie jest widoczne jako czwarte od lewej strony około piętnastego metra od początku lokalnego profilu. Jest to o tyle typowe pęknięcie

wewnątrz-płytowe, że nie posiada repliki na głębokości kilkunastu centymetrów. Jego specyficzną własnością jest niemal punktowy rozmiar w płaszczyźnie przekroju sugerowany jedną jedynie hiperbolą o wierzchołku usytuowanym na granicy asfaltu i betonu. Na echogramie ogólnym został zauważony nieznacznie przesunięty w prawo przejaw repliki spągowej (prawdopodobnie wierzchołka hiperboli spągowej), który oznaczałby, że przypuszczalne pęknięcie którego wierzchołkiem jest wierzchołek hiperboli stropowej tnie warstwę betonu na wskroś, aż do repliki spągowej. Z tych powodów był to interesujący przykład, bo możliwy do uchwycenia za pomocą wiercenia.



Rysunek 2.8 Lokalny echogram użyty do wstępnej lokalizacji pęknięcia, na którym zaplanowano odwiert kontrolny W2\_A1\_S

Po identyfikacji miejsca wykonano precyzyjne namierzenie wraz ze szczegółowym rozpoznaniem najbliższego otoczenia wiercenia, za pomocą wysokorozdzielczego skanowania (500 skanów na metr) w trzech równoległych profilach o długości 6 metrów każdy, z których boczne (flankowe) były oddalone o 50 cm od centralnego biegnącego wzdłuż śladu prawego koła (Rysunek 2.9).



Rysunek 2.9 Zestawione echogramy wzdłuż trzech równoległych profili (środkowy wzdłuż śladu prawego koła, powyżej profil 50 cm na lewo od śladu, a poniżej profil 50 cm na prawo od śladu) rozpoznające szczegółowo sąsiedztwo zaplanowanego odwiertu W2\_A1\_S.

Skanowanie potwierdziło poprzeczną kontynuację badanej struktury. Hiperbole stropowe występują na wszystkich profilach w tych samych pozycjach. Podobnie na każdym profilu występuje replika spągowa, przy czym odsuwa się ona nieznacznie od osi hiperboli stropowej, gdy przesuwamy się w stronę osi jezdni (przechodząc z profilu na



profil). Choć tożsamość struktury jest łatwa do śledzenia przy przechodzeniu z profilu na profil widać, że kondycja amplitudowa znacząco rośnie w kierunku osi jezdni. Zastosowana technika umożliwia lokalizację wierzchołka hiperboli z precyzją kilkucentymetrową wystarczającą do ustawienia miejsca odwiertu.

Odwiert został wykonany w śladzie prawego koła we wskazanym miejscu. Pod warstwą asfaltu natrafił on na przewidywaną szczelinę w betonie.



Rysunek 2.10 Sieć zaznaczonych punktów odniesienia użyta przy namierzaniu niewidocznego pęknięcia z precyzją kilkucentymetrową oraz widok otworu i fragmentów rdzenia W2\_A1\_S zaraz po odwierceniu.

Płytki i wąski rowek ubytkowy u szczytu szczeliny był wypełniony mieszanką asfaltową o drobnym uziarnieniu kruszywa, wyraźnie odmienną od dwóch warstw ściernych leżących powyżej. Niżej szczelina zagłębiająca się w beton miała szerokość zaledwie 1 mm i była wypełniona silnie zmylonityzowanym (zmielonym) materiałem o lekko brunatnym zabarwieniu, wywodzącym się zapewne ze spoiwa betonu, ale zmienionego pod wpływem wody i być może tlenu atmosferycznego. Szczelina została oceniona jako „pracująca” przy przejazdach ciężkich samochodów przez wprawnych uczestników grupy badawczej. Wiercenie zostało przerwane ze względu na trudne warunki w terenie, przez co nie sięgnęło powierzchni spągowej i nie można określić typu struktury powodującej replikę spągową. Stan zachowania wydobytych fragmentów warstwy betonowej nie pozwala na określenie kierunku pochylenia powierzchni pęknięcia. Niemniej fakt, że rdzeń został przerwany na kontakcie betonu i asfaltu oraz, że nastąpiły poważne ubytki betonu zarówno na kontakcie z asfaltem jak i w otoczeniu szczeliny jest dowodem na poważne zmiany materiałowe w betonie właśnie w tych miejscach. Osłabienie to staje się szczególnie wymowne, gdy wyniszczone fragmenty rdzenia zestawimy z solidnymi

pozbawionymi rdzeniami porównawczymi W1\_A2\_S oraz W2\_A2\_S z sąsiedniego odcinka badawczego. Trzeba tu zwrócić uwagę na znaczne rozmiary poprzeczne liniowej strefy tych zmian u szczytu szczeliny w odróżnieniu od jej nieznacznej grubości. Właśnie ta liniowa strefa wydaje się być źródłem rozproszeniowego sygnału hiperboli stropowej (o wierzchołku w stropie betonu), nie zaś wypełnione mieszanką asfaltową zagłębienie w stropie betonu. Przemawiają za tym duża amplituda sygnału tworzącego hiperbolę i jego dodatni znak, który dodatkowo sugeruje, że strefa zniszczeń jest zawilgocona lub zawiera nadwyżkę minerałów ilastych.



Rysunek 2.11 Uzyskane fragmenty rdzenia W2\_A1\_S poskładane do konfiguracji pierwotnej oraz spąg warstw asfaltowych widziany od dołu z widocznym asfaltowym odlewem szczytu szczeliny jaka wcześniej powstała w betonie. Szczyt szczeliny wypełnia mieszanka o najdrobniejszym kruszywie (zbliżenia) użyta zapewne przy wcześniejszej naprawie nawierzchni betonowej.

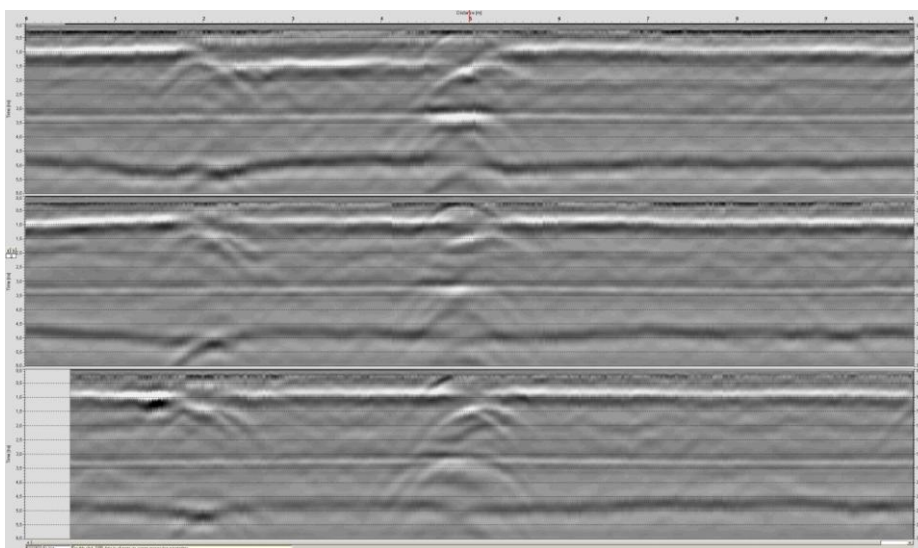
Podobnie jak w poprzednim przykładzie (rdzeń W1\_A1\_S) pojawia się i tutaj przypuszczenie, że źródłem wyraźnego sygnału rozproszeniowego w formie hiperboli jest liniowa strefa poważnych zmian w materiale ośrodka, występujących wzdłuż linii przecięcia powierzchni granicznej warstw przez szczelinę.

### 2.3 Odcinek A2\_S; droga betonowa (DK 22, na zachód od Gutowca)

Odcinek A2\_S (w pobliżu Gutowca po zachodniej stronie, 269+000 do 268+500, lewa strona drogi, ślad prawego koła) charakteryzuje się analogicznym układem warstw z tą różnicą, że beton został przykryty na całej długości jedną warstwą ścieralną, ponacinaną

poprzecznie wyłącznie w pobliżu dylatacji. Na odcinku A1\_S nacięcia wykonano jak się wydaje nie tylko w miejscach dylatacji, ale także tam, gdzie znajdują się czynne pęknięcia wewnątrz-płytowe. Być może jest to powodem istotnej różnicy w stanie nawierzchni obserwowanym wizualnie na jej powierzchni. Na odcinku A2\_S powstały liczne spękania poza nacięciami, podczas gdy Odcinek A1\_S jest niemal pozbawiony dodatkowych spękań. Zasadniczo jednak odcinki te są podobne, co do konstrukcji nawierzchni, a ponieważ struktury osobliwe zostały skutecznie opróbowane na odcinku A1\_S, wiercenia na odcinku A2\_S dedykowano badaniu nawierzchni typowej, udokumentowaniu struktury niecki i badaniu efektów rozproszeniowych powstających w pobliżu krawędzi niecki.

Jako przedmiot badania wybrano jedną z dwóch szczególnie długich niecek na tym odcinku. Otoczenie tej struktury zostało rozpoznane opisaną wcześniej techniką trzech skanów na profilach równoległych o długości 10 m (Rysunek 2.12).



Rysunek 2.12 Wynik skanowania wzdłuż trzech równoległych profili sąsiedztwa dwóch odwiertów sondujących nieckę w stropie betonu w pobliżu dylatacji (dystans 5 metrów w lokalnym pikietażu) i typową strukturę tego odcinka.

Osobliwością tej struktury we wcześniejszym skanowaniu ogólnym było to, że chociaż krawędzie niecki manifestowały się poprzez hiperbole to dno niecki było całkowicie niewidoczne, podczas gdy należy oczekiwać jego przejawu w formie silnego refleksu dodatniego. Trzy skany równoległe pokazują, że prawy profil flankowy (na dole rysunku) biegnie poza niecką, chociaż obie szczeliny (lewa, wewnątrz-płytowa i prawa, dylatacyjna, odległe od siebie o 3 metry) są na nim dobrze widoczne. Lewy profil flankowy (na górze rysunku) przebiega ponad niecką (obniżony refleks asfalt-beton; dno niecki). Natomiast profil centralny (środkowy na rysunku) przebiega wzdłuż prawej krawędzi niecki, w pobliżu tejże krawędzi, która biegnie tutaj mniej więcej wzdłuż osi drogi. Refleks odpowiadający nieobniżonej powierzchni betonu jest na tym centralnym profilu osłabiony szczególnie od strony przejazdu przy pierwszej szczelinie (lokalny pikietaż 2m, po lewej stronie rysunku), a dalej odzyskuje swoją kondycję, co oznacza, że profil oddala się od krawędzi niecki. Wynika stąd, że efekt maskowania refleksu jest tutaj wynikiem przejazdu w pobliżu bliskiej krawędzi biegnącej wzdłuż profilu.

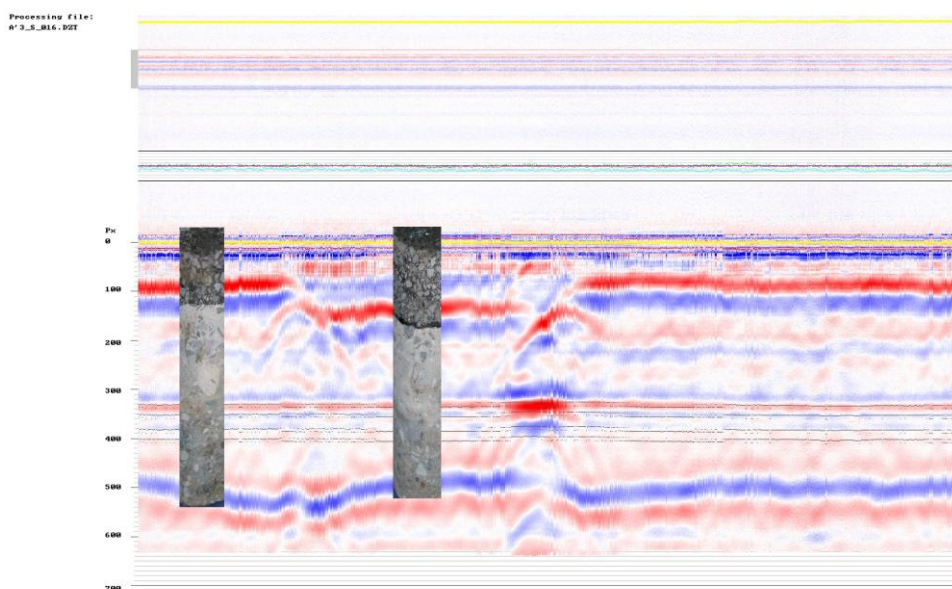


Dwa rdzenie pobrano w miejscach o niezaburzonej budowie (lokalny pikietaż 0.5 m i 3.5 m) w celu udokumentowania niecki oraz typowej stratygrafii odcinka badawczego (Rysunek 2.13). Pobrania dokonano na lewym profilu flankowym, gdyż jak się wydaje, profil centralny biegnie bardziej poza niecką.



Rysunek 2.13 Rdzenie uzyskane na odcinku badawczym A2\_S

Rdzenie te znakomicie potwierdzają obecność niecki. Rdzeń W2\_A2\_S pod warstwą ścierną zawiera także asfaltowe wypełnienie niecki.



Rysunek 2.14 Zestawienie echogramu z przeskalowanymi fotografiami rdzeni odwierconych na tym samym profilu.

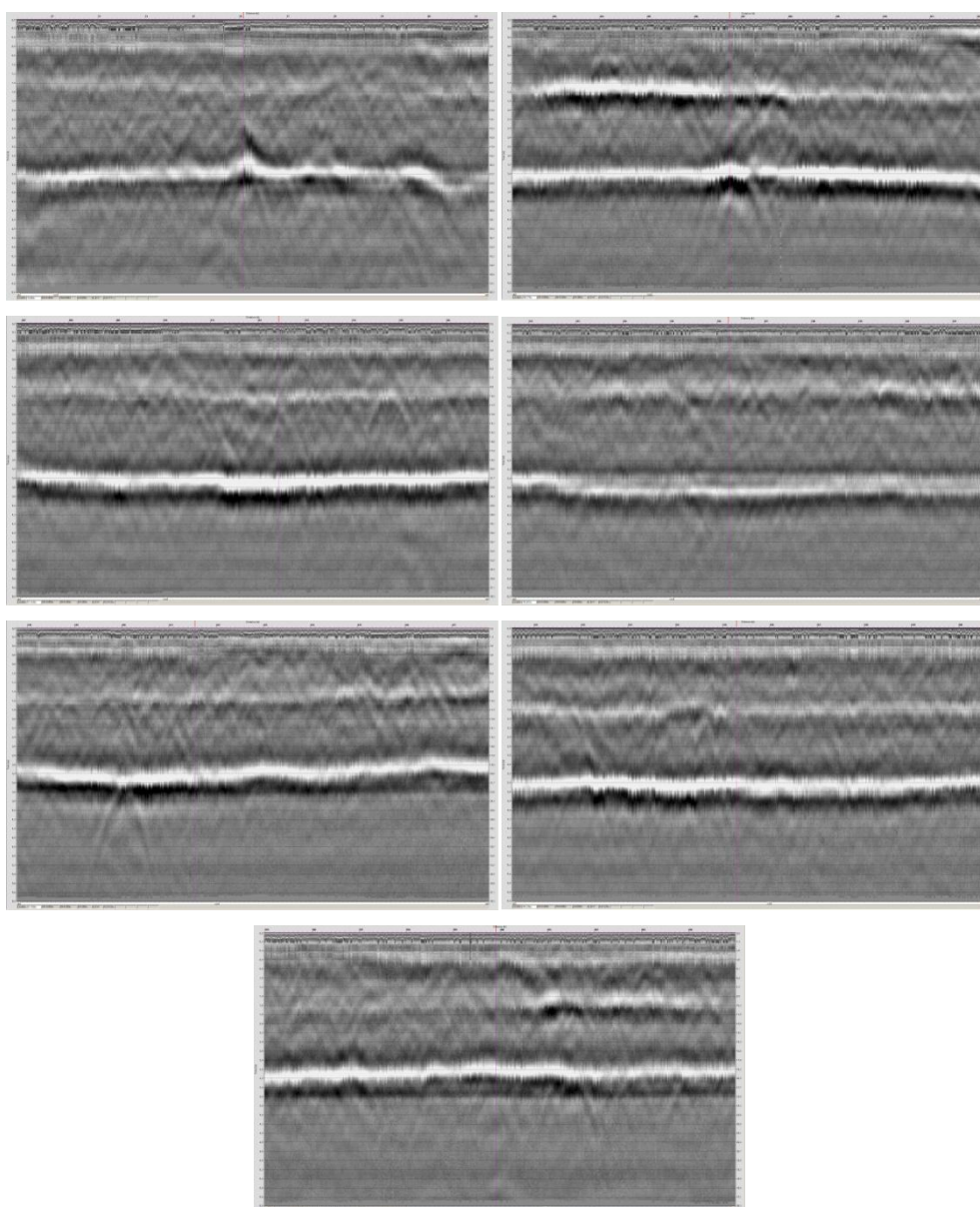
Oba rdzenie pokazują obfite skropienie betonu lepiszczem. W odróżnieniu od opisanych wcześniej rdzeni sondujących osobliwości strukturalne, kondycja tych rdzeni nie budzi zastrzeżeń i są one odniesieniem dokumentując typową nawierzchnię na tych odcinkach.

Warto także zauważyć, że lokalne skanowanie z dużą gęstością skanów w pobliżu miejsca odwiertów sprawiło (Rysunek 2.14), że ujawniła się tutaj słaba hiperbola powierzchniowa (o wierzchołku zlokalizowanym na powierzchni, lokalny pikietaż 5 m,

widoczna w przedziale czasu do 1.5 ns), związana z nacięciem w warstwie ścieralnej. Jest to jedyny przypadek takiej rejestracji na odcinkach należących do drogi DK 22. Pokazuje on duże możliwości gęstego skanowania, które dzięki post-stackingowi umożliwia redukcję poziomu szumów niekoherentnych. Pokazuje on też granice możliwości detekcyjnych w warunkach terenowych, gdyż ta słaba hiperbola odpowiada bardzo szerokiej szczelinie (1 cm) wypełnionej ośrodkiem o znacznym kontraście względem mieszanki warstwy ścieralnej. Stąd należy wnosić, że manifestacje szczelin o mikroskopowych rozmiarach i często zabliznionych, będą zazwyczaj niemożliwe do zaobserwowania, już choćby z powodu obecności strukturalnego tła maskującego.

## 2.4 Odcinek B\_S (DK 7, koło Cedrów Małych)

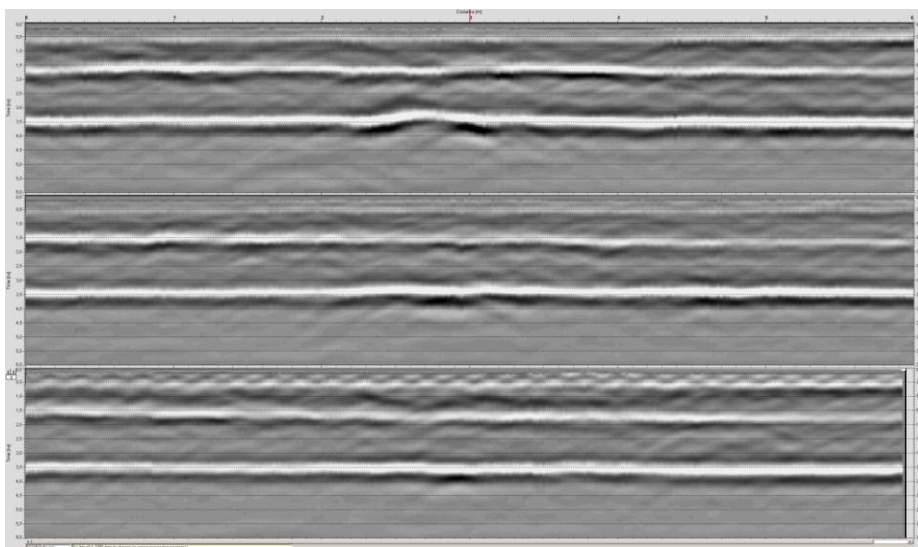
Odcinek B\_S (38+000 do 39+000; prawa strona, prawy ślad) należy do drogi DK 7.



Rysunek 2.15 Echogramy uzyskane w sąsiedztwie spękań poprzecznych na odcinku B\_S

Wstępne ogólne skanowanie odcinka (Rysunek 2.15) nie ujawniło żadnych wyraźnych objawów, które mogłyby wskazywać na pęknięcia w konkretnych miejscach. Niezależnie od braku silnych objawów diagnostycznych, wygląd echogramów bynajmniej nie wyklucza obecności pęknięć. Obserwacja wizualna wskazała siedem pęknięć na powierzchni przechodzących przez ślad prawego koła. Fragmenty echogramów odpowiadające sąsiedztwu tych siedmiu lokalizacji zostały poddane wnikliwemu oglądowi. Powtarzającym się cechę jest obecność odspojień w sąsiedztwie tych spękań. Najbardziej typowe jest odspojenie pomiędzy podbudową asfaltową, a podbudową MCE (głębokość około 20 cm), manifestujące się jako dodatni refleks podwójny zamiast refleksu dodatniego pojedynczego. W dwóch wypadkach mamy do czynienia także z odspojeniem pomiędzy warstwą wiążącą, a podbudową asfaltową. Inne defekty występujące na granicach między-warstwowych mają charakter bardzo lokalny.

Pierwszy rdzeń (Rysunek 2.17) został pobrany na spękaniu numer 2, występującym ponad przypuszczalnym odspojeniem pomiędzy warstwą wiążącą, a podbudową asfaltową i ponad przypuszczalnym odspojeniem pomiędzy podbudową asfaltową, a podbudową MCE, gdzie występuje także komplikacja kształtu tej powierzchni granicznej, w celu zbadania stanu połączeń między warstwowymi, propagacji wgłębnej pęknięcia i jego rzeczywistej kondycji. Sąsiedztwo miejsca odwiertu zostało wcześniej rozpoznane za pomocą trzech skanów równoległych (Rysunek 2.16), które zasugerowały jedynie, że odspojenia mają złożony rozkład powierzchniowy i miejscami ulegają zanikowi.



Rysunek 2.16 Echogramy lokalne uzyskane na trzech równoległych profilach w sąsiedztwie wiercenia W1\_B\_S wykonanego na szczelinie (nr. 2) na odcinku B\_S; górny (po lewej stronie śladu prawego koła w odległości 80 cm od tego śladu), środkowy (wzdłuż śladu prawego koła) i dolny (80 cm na prawo od prawego śladu).

Uzyskany rdzeń (W1\_B\_S) był odspojony na kontakcie warstwy wiążącej z podbudową asfaltową. Kontakt podbudowy asfaltowej z podbudową MCE nie był odspojony w sposób jawny, ale w pobliżu tego kontaktu nastąpiły poważne ubytki materiałowe, wskazujące na niezbyt dobry stan tego kontaktu. Podwójny refleks dodatni obserwowany miejscami na echogramach wskazywałby na to, że domniemane lokalne odspojenia są zawilgocone. Refleks ten nie jest wyraźnie poszerzony, a materiał



podbudowy MCE ma postać bardzo zwięzłą, zaś powierzchnia kontaktu nie wydaje się być bardzo pofalowana. Wszystko to nie wskazuje na ewentualną obecność refleksu typu zerowego (często towarzyszącego spągowi pakietu asfaltowego bardziej typowych nawierzchni), który może być pomyłony z refleksem podwójnym. Lokalne występowanie odspojenia w spągu pakietu asfaltowego jest tu zatem bardzo prawdopodobne.



Rysunek 2.17 Miejsce wykonania wiercenia W1\_B\_S (po lewej, trzy kreski oznaczają kierunki i pozycje trzech równoległych profili, a na środkowej w miejscu jej przecięcia z pęknięciem zostało wykonane wiercenie) oraz uzyskany rdzeń (po prawej)

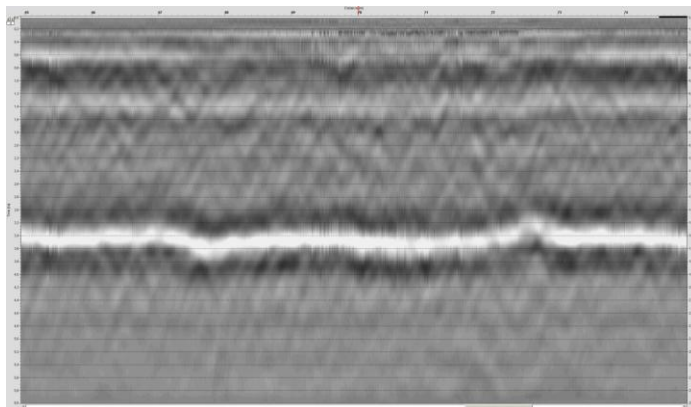
Szczelina pęknięcia wydaje się być dobrze zablizniona, gdyż górny fragment rdzenia nie uległ rozpadowi na tej szczelinie. Może ona być śledzona na powierzchni bocznej rdzenia, aż do powierzchni odspojenia, ale na górnej powierzchni odspojenia jest ona identyfikowalna z dużym trudem. Poniżej odspojenia nie zauważono żadnych śladów kontynuacji spękania w głąb nawierzchni.



Rysunek 2.18 Po prawej: górna powierzchnia szczeliny odspojeniowej na granicy warstwy wiążącej i podbudowy asfaltowej, pozbawiona wyraźnych śladów pęknięcia poprzecznego. Po lewej: boczna powierzchnia rdzenia z widocznym odspojeniem między warstwą wiążącą, a podbudową asfaltową oraz wyraźną granicą dolną podbudowy asfaltowej. Na granicy widoczne są znaczne ubytki i wyszczerbienia wskazujące na zachodzący tam proces odspojeniowy.

Pęknięcie to jest zatem ograniczone jedynie do górnych warstw asfaltowych. Przez swoje mikroskopijne rozmiary nie powinno być wykrywalne w obrazie georadarowym.

W przypadku odcinka B\_S występuje dodatkowo szczególnie, konieczna do odnotowania okoliczność wybitnie utrudniająca zaobserwowanie ewentualnych przejawów obecności pęknięcia. Poniższy rysunek pokazuje fragment echogramu, na którym nie widać żadnych wyraźnych objawów odspojień, a miejsce to jest dalekie od obserwowanych na powierzchni pęknięć. Mimo to fragment ten charakteryzuje się nadzwyczaj silnym tłem strukturalnym w formie kratki złożonej z dwóch rodzin ukośnych, wzajemnie się przecinających linii.



Rysunek 2.19 Echogram lokalny uzyskany w sąsiedztwie wiercenia W2\_B\_S wykonanego w miejscu dalekim od szczelin i pozbawionym znamion defektów międzywarstwowych na odcinku B\_S. Widoczna jest kratka złożona z dwóch rodzin ukośnych linii będąca sygnałem reprezentującym strukturę ośrodka, zapewne jego granulację o dużej skali. Kratka ta stanowi sygnał maskujący utrudniający poważnie detekcją szczelin.

Tło to ma charakter strukturalny w tym rozumieniu, że jest to sygnał generowany przez strukturę ośrodka, a bynajmniej nie zakłócenie zewnętrzne, czy artefakt aparaturowy. Użycie stackingu, czy powtarzanie pomiaru prowadzi do zasadniczo identycznego wyniku. Sygnał ten w sposób nadzwyczaj skuteczny maskuje słabe przejawy pęknięć w obrazie georadarowym.



Rysunek 2.20 Rdzeń W2\_B\_S pobrany w miejscu pozbawionym spękań i nie wskazującym na obecność odspojień lub innych osobliwości budowy nawierzchni na odcinku B\_S (DK 7, Cedry Małe). Reprezentuje on typową, zdrową nawierzchnię tego odcinka. Dobrze widoczne nowe warstwy asfaltowe, podbudowa MCE, a pod nią relikty dawnej nawierzchni zaczynający się warstwą ścieralną i wiążącą.



Miejsce odpowiadające środkowi odcinka pokazanego na tym echogramie zostało wybrane do wykonania odwiertu referencyjnego (Rysunek 2.20). Odwiert ten miał udokumentować typową, niezaburzoną strukturę nawierzchni na tym odcinku badawczym i jednocześnie sprawdzić, czy obecność specyficznego sygnału maskującego może być kojarzona z własnościami materiałowymi, bądź strukturą tamtejszego ośrodka. Wspólną właściwością obu rdzeni jest gruboziarniste kruszywo warstwy wiążącej (grubość 5cm), i podbudowy asfaltowej, przy czym kruszywo należałoby określić jako skrajnie gruboziarniste (największy wymiar kruszywa w warstwie wiążącej 3,2cm!), gdzie rozmiary największych ziaren stają się porównywalne z długością ćwierćfalową fali 2 GHz w ośrodku. Budowa ta ma odpowiedniość we własnościach kratki maskującej, która pojawia się poniżej warstwy ścierniczej, a szczególnie nasila poniżej warstwy wiążącej. Mamy zatem podstawy do wiązania tego silnego sygnału maskującego z pseudo-okresową budową ośrodka i wysoką efektywnością rozpraszania fali na ziarnach w związku z ich dużym rozmiarem.

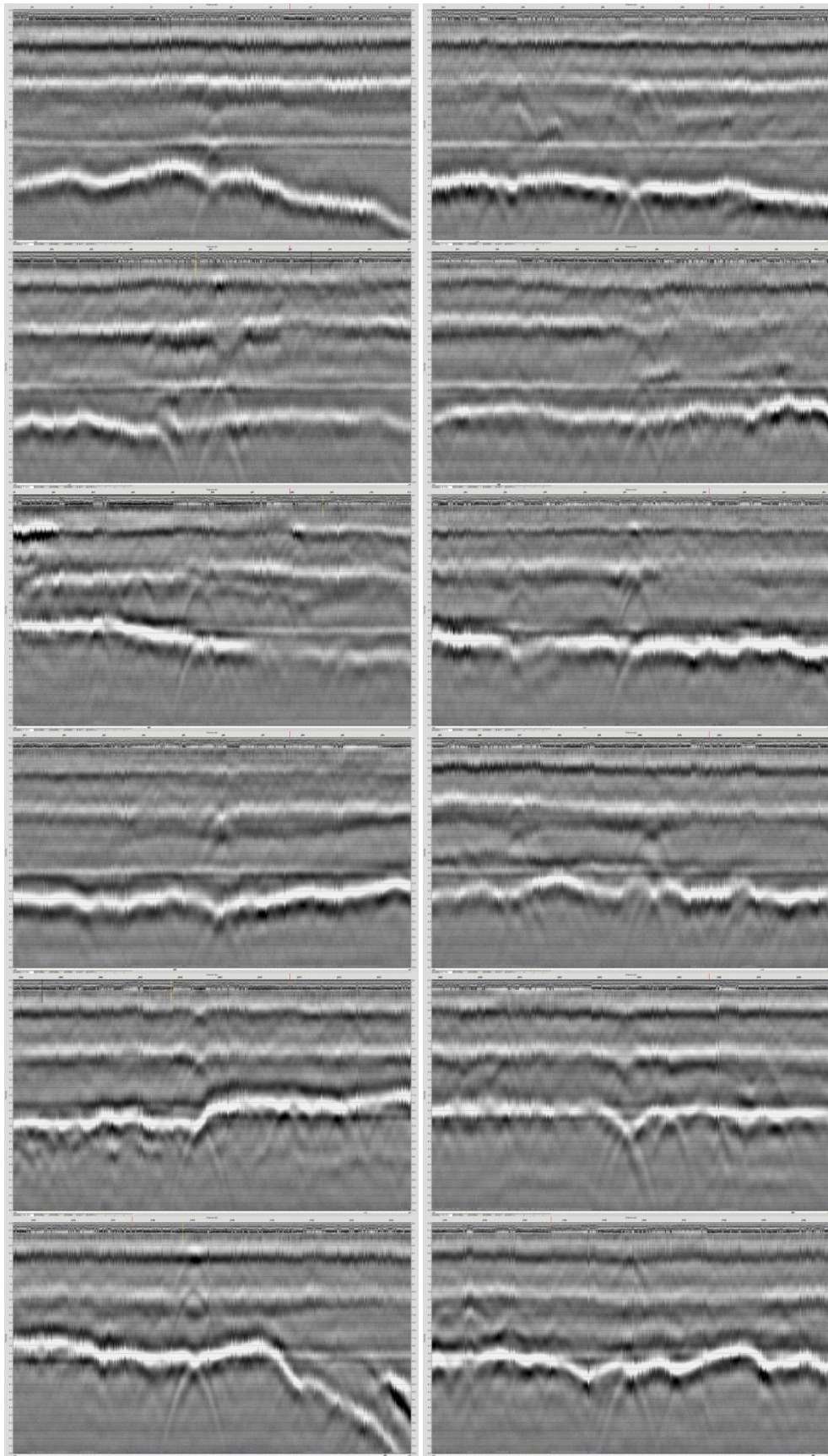
## 2.5 Odcinek C\_S (DK 9, koło Iłży)

Odcinek C\_S (30+000 do 28+800, w pobliżu Iłży; lewa strona, ślad prawego koła) należy do drogi DK 9. Odcinek ten dostarczył wspaniałej galerii przykładów sygnałów georadarowych znamionujących obecność pojedynczych spękań, a analiza statyczna ich korelacji ze spękaniem obserwowanym na powierzchni pozwoliła na sformułowanie odpowiedniego kryterium diagnostycznego.

Podobnie jak w przypadku innych odcinków także echogram ogólny odcinka C\_S został poddany szczegółowemu przeglądowi w poszukiwaniu elementów obrazu georadarowego, które mogą znamionować spękania (wybrane fragmenty na Rysunku 2.21). Przegląd wstępny był przeprowadzany w dwóch trybach. Sposób pierwszy polegał na próbie odnalezienia na echogramie miejsc, które odpowiadają lokalizacjom widocznych na powierzchni spękań i na próbie znalezienia znamion lokalnych defektów. Znamiona te to przede wszystkim **hiperbole rozproszeniowe** generowane przez osobliwości struktury ośrodka mające postać obiektów prawie punktowych, liniowych, czy poziomych krawędzi ustawionych pionowo płaszczyzn (ten ostatni przypadek jest analogiem spękania). W dalszej kolejności należy mieć na uwadze **lokalne, dobrze zlokalizowane w poziomie odspojenia** oraz szczególne, **lokalne osobliwości kształtu powierzchni między-warstwowych** (najczęściej spotyka się zapadnięcia i zagięcia powierzchni spągowej pakietu warstw asfaltowych). Sposób drugi polega na przeglądaniu całego echogramu bez jakichkolwiek wstępnych uprzedzeń, co do przewidywanego położenia spękań, w poszukiwaniu wymienionych wyżej znamion zlokalizowanych osobliwości strukturalnych, ale nie pojedynczych lecz występujących w **grupach pionowych**. Przez grupę pionową należy rozumieć układ przynajmniej dwóch lub lepiej więcej niż dwóch znamion lokalnego defektu występujących jeden nad drugim w nieznacznej odległości poziomej od siebie, nie większej niż połowa grubości nawierzchni. Taka bliskość pozioma defektów występujących na różnych głębokościach daje podstawy do przypuszczenia, że defekty te są przejawami jednej struktury (w domyśle szczeliny spękaniowej) i zapewne mają wspólną genezę. W praktyce

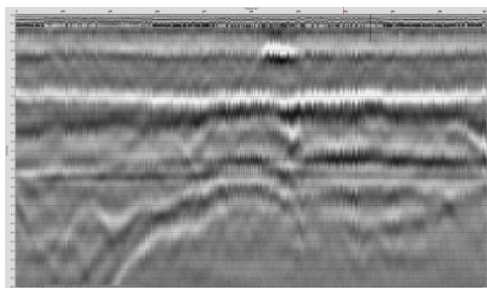
diagnostycznej wstępnej analizy echogramu w przypadku hiperbol za miejsce lokalizacji lokalnego defektu przyjmujemy jej wierzchołek nie rozstrzygając z góry o typie geometrycznym i naturze obiektu, który odpowiada za jej generację (jest to odrębny problem badawczy). Przy identyfikacji hiperbol bardzo pomocne jest dopasowywanie hiperboli o kształcie przewidywanym przy użytej odległości anteny od nawierzchni (pewien wpływ na ten kształt ma także stała dielektryczna ośrodka). Metoda ta pozwala podejmować rozstrzygnięcia, co do liczby i typu centrów dyfrakcyjnych, a w przypadku hiperbol słaby pozwala je odróżnić od artefaktów interferencyjnych.

Jak się okazało już przy pierwszych przeglądach, na echogramach praktycznie nie występują hiperbole powierzchniowe, czyli takie, które mają wierzchołek usytuowany na powierzchni. Na odcinku C\_S znaleziono jedną taką hiperbolę i to w miejscu gdzie nie odnotowano spękania na powierzchni. Hiperbole powierzchniowe znane są z nawierzchni betonowych (szerokie dylatacje i poważne ubytki u szczytu pęknięć), a jedną udało się zarejestrować na asfaltowej nakładce nawierzchni betonowej w miejscu nacięcia o szerokości 1 cm. Poza sześcioma odcinkami badawczymi w trackie pomiarów pomocniczych. Udało się zaobserwować hiperbole powierzchniowe w nawierzchni asfaltowej tylko w przypadku rozstępów o szerokości kilku centymetrów, zaś typowe nierozwinięte spękania pozostawały niewidoczne w obrazie georadarowym anteny 2 GHz. We wszystkich znanych przypadkach szczeliny odpowiedzialne za generację hiperbol powierzchniowych są bardzo szerokie (rzędu centymetrów). Pojawiają się tutaj dwa ważne wnioski: detekcja szczelin o szerokości mikroskopowej może być zadaniem nadzwyczaj trudnym, bądź niewykonalnym w warunkach terenowych, natomiast zauważalne hiperbole odpowiadają osobliwościom struktury o znacznych, wielocentymetrowych rozmiarach, czyli zaawansowanym uszkodzeniom. To ostatnie spostrzeżenie wydaje się być potwierdzane przez pierwsze wiercenia na szczelinach w nawierzchniach betonowych. Chociaż spękania zwykle nie obfitują w hiperbole powierzchniowe przeglądy wstępne pokazały, że spękania obserwowane na powierzchni mają wybitną korelację ze spektakularnymi układami hiperbol, których centra występują jedno nad drugim niemal dokładnie w pionie. Ze względu na dobitną wymowę obraz taki został nazwany *układem choinkowym*. Silna, dobrze rozwinięta choinka powinna zawierać przynajmniej trzy dobrze odróżnialne od tła hiperbole, o wierzchołkach wyraźnie układających się wzdłuż pionowej linii. Hiperbole te powinny być potwierdzone dopasowaniem przewidywanego kształtu wraz z dyskusją pozycji wierzchołka, który powinien się wyróżniać wysoką amplitudą, co pozwala odróżnić hiperbolę od bardzo częstych artefaktów interferencyjnych, do których nie można skutecznie dopasować przewidywanego kształtu. Szczególnym akceptowalnym przypadkiem jest *struktura chi*, złożona z dwóch przecinających się pół-hiperbol z wyraźnymi wierzchołkami. Poniższa galeria choinek prezentuje ich najbardziej wymowne przykłady znalezione na odcinku C\_S



Rysunek 2.21 Przykłady silnych *choinkowych układów refleksów* rozproszeniowych o kształcie hiperbolicznym

Defekty odpowiedzialne za generację hiperbol występują najczęściej na powierzchniach między-warstwowych. W szczególnych przypadkach zamiast hiperboli obserwujemy wyróżniający się, lokalny defekt o znamionach odspojenia w miejscu oczekiwanego wierzchołka hiperboli. W skrajnym przypadku możemy mieć do czynienia samymi ułożonymi jeden nad drugim defektami lokalnymi przy braku wyraźnych hiperbol. Obraz taki został nazwany *grupą pionową defektów*.



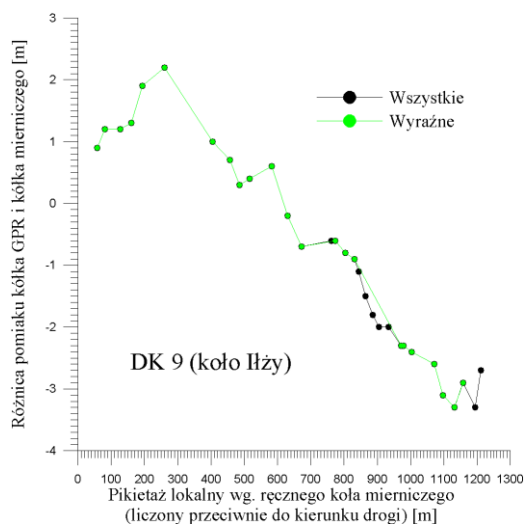
Rysunek 2.22 Przykład silnej *grupy pionowej* skupionych (o dobrej lokalizacji poziomej) refleksów sugerujących obecność defektów (zaburzeń regularnej, warstwowej struktury ośrodka) położonych jeden nad drugim, czyli niemal pionowo.

Być może grupa pionowa jest szczególnym przykładem układu choinkowego wynikającym z odmiennego stylu przebiegu linearnych defektów które są źródłem znamienych sygnałów. Częste są także przypadki, w których zamiast oczekiwanej hiperboli albo zlokalizowanego defektu mamy do czynienia z rozległym odspojeniem. Rozległe odspojenie jest okolicznością nakłaniającą do rozważania obecności spękania, gdyż współwystępowanie spękań i odspojen jest wyraźną cechą badanych odcinków nawierzchni asfaltowych. Jednak rozległe odspojenie bez wyróżniającego się, dobrze zlokalizowanego centrum nie jest traktowane jako cecha diagnostyczne spękania.

W związku ze znalezieniem przejrzystych kryteriów diagnostycznych pozwalających na przypuszczanie obecności spękania w konkretnej lokalizacji na podstawie analizy echogramu wykonano żmudne testy statystyczne korelacji znamion diagnostycznych ze spękaniami obserwowanymi na powierzchni. Dokonano wielokrotnego przeglądu echogramu odnotowując pozycje i typy obrazów mogących sugerować obecność spękania. Na 32 zaobserwowane spękania przechodzące przez badany ślad prawego koła, 23 okazało się mieć znamiona diagnostyczne wystarczające na stwierdzenie spękania na podstawie samego echogramu, z czego 14 było silnych, nie budzących wątpliwości (w tym jedna grupa pionowa), zaś pozostałe 9 (w tym 3 grupy pionowe) miały znamiona diagnostyczne na tyle wyraźne, że wystarczyły one na stwierdzenie spękania na podstawie samego echogramu. Pośród rejestracji, którym nie odpowiadały widoczne pęknięcia w badanym śladzie 7 (w tym jedna choinka silna, 4 choinki wyraźne i 2 wyraźne grupy pionowe) okazało się być odpowiedziami na pęknięcia, których manifestacje powierzchniowe nie dochodziły do badanego pasa, natomiast 8 nie miało żadnych manifestacji na powierzchni (5 choinek silnych, 1 choinka wyraźna i 2 wyraźne grupy pionowe) i mogą być to zatem spękania oddolne, nie dochodzą do powierzchni. Pośród 10 spękań na badanym śladzie, które nie miały na tyle wyraźnych manifestacji w obrazie georadarowym, aby zapostulować na tej podstawie obecność spękania 7 miało w pobliżu odpowiednich miejsc echogramu słabe bądź pojedyncze manifestacje dobrze

zlokalizowane, które umożliwiały alternatywne wyznaczenie ich pozycji na podstawie pomiaru koła georadaru, zaś jedynie jedno pęknięcie nie miało żadnych interpretowalnych znamion georadarowych.

W ten sposób 31 jeden spękań miało pozycję wyznaczoną dwiema metodami: za pomocą kółka mierniczego i za pomocą koła georadaru. Poniższy rysunek pokazuje jak zmienia się różnica pomiędzy dwoma sposobami pomiaru wzdłuż odcinka.



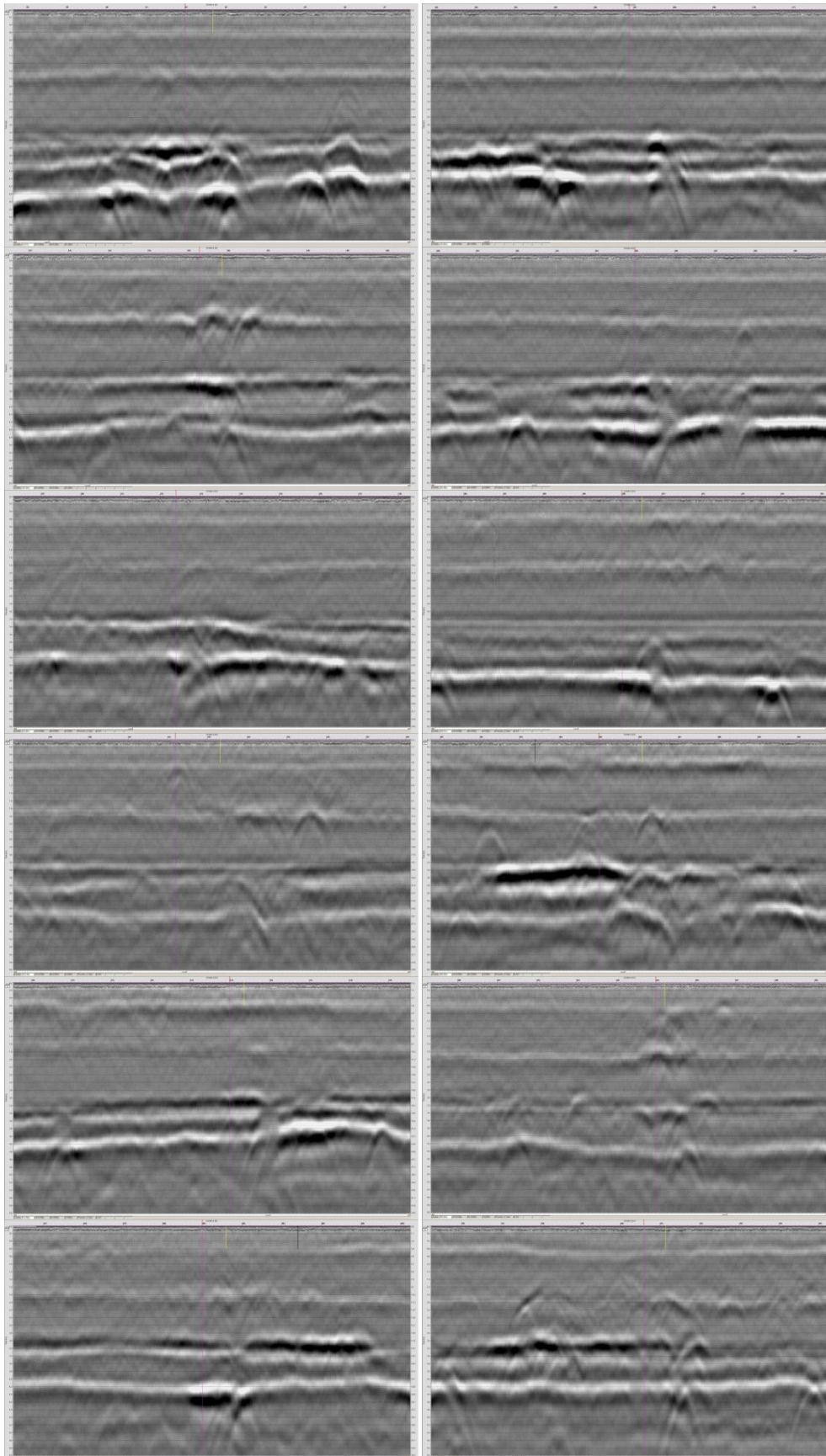
Rysunek 2.23 Różnica pomiędzy dwoma sposobami mierzenia pozycji pęknięcia w funkcji położenia (odcinek C\_S, DK 9, koło Iłży)

Początkowy fragment wykresu odpowiada zakrętowi (w lewo), jaki występuje na początku odcinka. Jednak różnica trendów (między tym fragmentem, a dalszą częścią odcinka) jest przedmiotem kontrowersji, bo nie zgadza się co do znaku z prostym przewidywaniem geometrycznym. Rysunek ten ilustruje pewien poważny problem techniczny występujący przy tych relatywnie precyzyjnych badaniach. Tradycyjne metody lokalizacji nie są wystarczająco precyzyjne, gdy idzie o próby korelacji obserwacji wizualnych i georadarowych. W trakcie żmudnych korelacji na bieżąco trzeba było wprowadzać lokalną poprawkę na różnicę obu pomiarów. Problem ten jest jeszcze bardziej skomplikowany w terenie, gdzie przy lokalizowaniu niewidocznego pęknięcia potrzebna jest jeszcze wyższa kilkucentymetrowa precyzja. Dlatego na potrzeby przedsięwzięcia zostały opracowane metody namierzania z dokładnością kilku centymetrową i kilkumilimetrową, które są jednak dosyć pracochłonne. Warto tu zaznaczyć, że z powyższych powodów pozycja spękania odnotowana w terenie może być niewystarczająca do jego odnalezienia za pomocą pomiaru po pewnym czasie lub przez inną grupę badawczą. Zazwyczaj będzie potrzebne wtedy namierzanie do pobliskich punktów odniesienia, korelacja z odnotowanym wcześniej układem spękań.

## 2.6 Odcinek D\_S (DK 50, koło Kołbieli)

Odcinek D\_S (193+800 do 193+000, w pobliżu Kołbieli; lewa strona, ślad prawego koła) należy do drogi DK 9. Pośród 12 spękań odnotowanych na powierzchni tego odcinka, jedynie w dwóch przypadkach można się dopatrzeć wyraźnych grup pionowych.





Rysunek 2.24 Echogramy uzyskane w pobliżu miejsc, gdzie występują spękania na odcinku badawczym D\_S (DK 50, koło Kołbieli).

Jednak w większości tych przypadków identyfikacja spękania lub nawet zasugerowanie jego pozycji na podstawie echogramu nie jest możliwe. Przybliżona pozycja została zaznaczona żółtą kreską (dokładność rzędu pół metra), jeśli spękanie było zauważone w trakcie pomiaru przez obserwatora w samochodzie, zaś przybliżona pozycja określona na podstawie pomiaru kółkiem mierniczym (dokładność rzędu metra) została zaznaczona fioletową linią. Sytuację komplikuje tutaj złożony obraz segmentu spągowego, odpowiadającego pozostałościom dawnej nawierzchni na jakich leży nowa nakładka. Segment ten jest (podobnie jak w przypadku C\_S) nadzwyczaj bogaty w rozległe odspojenia, bardziej lokalne defekty i deformacje powierzchni między-warstwowych. To bogactwo komplikacji strukturalnych segmentu spągowego nie jest jednak równie powszechne na całej długości odcinka. Przegląd fragmentów echogramu ogólnego, które odpowiadają miejscom zaobserwowanych spękań pokazuje wyraźnie, że miejscach tych występują silne refleksy odspojeniowe w segmencie dolnym. Sugerując się zaznaczeniami w trakcie pozycjami spękań i skorygowanymi pomiarami ich pikietażu nie trudno zauważyć, że w miejscach tych systematycznie występują zaburzenia przebiegu horyzontów segmentu dolnego. Liczne są też przypadki przebijania się tych zaburzeń do warstwy górnej, gdzie można zauważyć zlokalizowane defekty. W ten sposób można się dopatrzeć grup pionowych w większości tych przypadków, jednak nie są to grupy, które by spełniały warunki kryterium diagnostycznego, a analogiczne układy występują licznie na tym odcinku także w miejscach, gdzie spękań nie odnotowano. Możliwe jest jednak także że układy te odpowiadają spękanom, które nie dotarły jeszcze do powierzchni. Proces spękania jest na tym odcinku, jak się wydaje, w fazie intensywnego rozwoju, bowiem większość odnotowanych spękań pojawiła się w czasie ostatniego roku.

Odcinek ten jak widać zawiera liczne znamiona poszlakowe, sugerujące obecność spękań poprzez obraz georadarowy, trudnych jednak do przekształcenia w bardziej precyzyjne wnioski bądź sugestie interpretacyjne. Część trudności interpretacyjnych być może dałaby się rozwiązać przez wykonanie skanów równoległych. Zaś do wykonania korelacji echogramu z obserwacjami wizualnymi potrzebne jest lokalne precyzyjne namierzenie.

### **3 Weryfikacja stanu spękań nawierzchni metodami klasycznymi.**

Na wszystkich sześciu odcinkach badawczych przeprowadzono inwentaryzację spękań widocznych na powierzchni (plik: *InwentaryzacjaSpekan.pdf*). Tam gdzie było to możliwe wykonano korelację z zauważalnymi przejawami lokalnych zaburzeń regularnej struktury warstwowej ośrodka, widocznymi na echogramach (plik: *Korelacje.pdf*). Ta bardzo żmudna procedura doprowadziła do sformułowania kryteriów diagnostycznych pozwalających na identyfikację (lub stawianie hipotez obecności) spękań w drodze analizy echogramu. Tak zostały umotywowane pojęcia „układu choinkowego” i „grupy pionowej” (Rozdział 2.5).

Jak wcześniej wspomniano tak jak i w poprzednim roku przeprowadzono ocenę spękań metodą wizualną. Jej wyniki wraz z porównaniem danych z 2009 roku przedstawiono poniżej

Intensywność spękań oceniono obliczając wskaźnik IS zgodnie z zaleceniami Katalogu<sup>1</sup>, w którym podano kryteria oceny tj.  $IS \leq 1$  oznacza nawierzchnie niespękane,  $1 < IS \leq 3$  oznacza nawierzchnie średnio spękane, a  $IS > 3$  oznacza nawierzchnie bardzo spękane. Klasyfikacja odcinków pod względem intensywności spękań przedstawia się następująco:

Rok 2009	Rok 2010
odcinek A1_S – IS=0 (odcinek niespękany)	odcinek A1_S – IS=0 (odcinek niespękany)
odcinek A2_S – IS=0 (odcinek niespękany)	odcinek A2_S – IS=3 (odcinek średnio spękany)
odcinek A3_S – IS=10 (odcinek bardzo spękany)	odcinek A3_S – IS $\geq$ 10 (odcinek bardzo spękany)
odcinek B_S – IS=1 (odcinek niespękany)	odcinek B_S – IS=3 (odcinek średnio spękany)
odcinek C_S – IS=1 (odcinek niespękany)	odcinek C_S – IS $\geq$ 10 (odcinek bardzo spękany)
odcinek D_S – IS=0 (odcinek niespękany)	odcinek D_S – IS $\geq$ 10 (odcinek bardzo spękany)

Jak widać na większości odcinków przyrost liczby pęknięć jest bardzo duży. Należy pamiętać, że do badań wytypowano tak zwane „odcinki trudne”, mając nadzieję, że intensywność przyrostu liczby pęknięć będzie znaczna.

#### **4 Wstępna analiza porównawcza uzyskanych danych w drugim roku po rozpoczęciu pomiarów.**

Z uwagi na zmianę metodyki pomiarowej analiza porównawcza danych uzyskiwanych w kolejnych seriach pomiarowych będzie możliwa dopiero na końcowym etapie pracy.

<sup>1</sup> Katalog Wzmocnień i Remontów Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych



## 5 Podsumowanie

Przeprowadzone badania dostarczyły wiele przykładów sygnałów georadarowych znamionujących obecność pojedynczych spękań, a analiza statyczna ich korelacji ze spękaniami obserwowanymi na powierzchni pozwoliła na sformułowanie odpowiedniego kryterium diagnostycznego. To z kolei pozwoliło na gruntowne zweryfikowanie dotychczasowej metodyki pomiaru, której efekty przedstawiono w niniejszym sprawozdaniu.

W celu lokalizacji poszukiwanego elementu struktury i rozpoznania otoczenia miejsca wiercenia skanowania georadarowe były przeprowadzane na bardzo krótkich odcinkach, z użyciem skrajnie wysokiej gęstości 500 skanów na metr. Skanowania te wykonywano w trzech równoległych bliskich sobie profilach i tuż przed wykonaniem wiercenia. Zestawienie takich echogramów może dawać potwierdzenie, czy znamiona diagnostyczne występują przy tym samym dystansie na sąsiednich profilach. Takie potwierdzenie poprzecznej rozciągłości bardzo lokalnej struktury jest bardzo dużą pomocą w uzasadnieniu przypuszczenia o pęknięciu, szczególnie w przypadkach o słabej manifestacji. Należy podkreślić, że ta zmiana w procedurze pomiarowej często daje niespodziewane wyniki odsłaniając szczegóły struktury, których interpretator nie stwierdza przy analizie pojedynczego echogramu o mniejszej rozdzielczości.

Duże znaczenie diagnostyczne ma występowanie na echogramie „pionowych grup defektów”. Znamionami tych defektów są przede wszystkim hiperbole rozproszeniowe, a w dalszej kolejności lokalne, dobrze zlokalizowane w poziomie odspojenia oraz szczególne, lokalne osobliwości kształtu powierzchni między-warstwowych. Przez grupę pionową należy rozumieć układ przynajmniej dwóch lub lepiej więcej niż dwóch znamion lokalnego defektu występujących jeden nad drugim w nieznacznej odległości poziomej od siebie, nie większej niż połowa grubości nawierzchni.

Trzy odcinki zlokalizowane w ciągu DK 22, której nawierzchnie stanowią warstwy płyt betonowych, stanowiły przypadki szczególne. Szczeliny tam występujące nie są typowymi spękaniami, ale manifestują się wyraźnie w obrazie georadarowym i są bardzo dobrym przykładem wstępnym. Spostrzeżenia poczynione na przykładzie nawierzchni betonowych mają ważne konsekwencje o charakterze ogólnym: obiektem geometrycznym odpowiedzialnym za generację hiperbol w obrazie georadarowym niekoniecznie jest sama szczelina, ale jest nim zapewne liniowa strefa zniszczeń powstała na pewnym poziomie w pobliżu szczeliny. Ponadto powstaje ważna sugestia dotycząca tego, jakiego typu obrazów należy poszukiwać jako znamionujących obecność pionowych spękań poprzecznych. Powinny to być przede wszystkim pionowe układy hiperbol lub lokalnych, skupionych defektów ośrodka. Pionowość układu oznacza, że wierzchołki tych hiperbol i wyróżniające się z otoczenia defekty powinny być usytuowane w pobliżu jednej pionowej linii (w odległości nie większej niż pół grubości nawierzchni), tak żeby przypuszczenie o ich wzajemnym bezpośrednim powiązaniu było zasadne.

Pozostałe przypadki to nawierzchnie asfaltowe wykonane w formie wzmocnień istniejących konstrukcji. Dwa z tych przypadków (odcinki B\_S i D\_S) nie ujawniły oczekiwanych georadarowych manifestacji spękań, wskazując jednak na istotny związek z odspojeniami i komplikacjami układu warstw występującymi w tym samym miejscu. Należy zaznaczyć, że komplikacje te są obserwowane w obrazie georadarowym i mają dobre potwierdzenia w wierceniach. Trzeci przypadek (C\_S) dostarczył dużo przykładów manifestacji pojedynczych spękań. Przypadek ten wykazał, że do diagnostyki spękań, oprócz podwyższonej gęstości stanów, bardzo potrzebne są przynajmniej trzy skanowania nawierzchni wykonane wzdłuż równoległych biegnących blisko siebie profili.

Analiza wniosków pozwala określić potrzeby dalszych kierunków badań:

- potrzeba wykonania skanów równoległych (odcinki C\_S, D\_S)
- potrzeba precyzyjnego namierzania pojedynczych spękań na echogramie (odcinek D\_S)
- potrzeba obserwacji zachowania drogi w kolejnym sezonie zimowym (odcinki C\_S, D\_S)
- potrzeba szczegółowej dyskusji nad właściwą lokalizacją wierceń (odcinki C\_S, D\_S)
- wiercenia na spękaniach mogą pomóc odpowiedzieć na pytanie jakie zmiany fizyczne zachodzące na połączeniach między-warstwowych w miejscu przecięcia ze spękaniem prowadzą do powstania linii rozproszeniowych.

W ramach Etapu I pracy przeprowadzono następujące prace:

- kontynuację badań radarowych na wytypowanych odcinkach badawczych.
- kontynuację weryfikacji stanu spękań nawierzchni metodami klasycznymi.
- wstępną analizę porównawczą uzyskanych danych

W następnym etapie pracy planuje się:

- kontynuację badań radarowych na wytypowanych odcinkach badawczych.
- weryfikację stanu spękań nawierzchni metodami klasycznymi.
- ocenę parametrów mających wpływ na jakość uzyskiwanych danych z pomiarów radarowych w warunkach terenowych.
- analizę porównawczą uzyskanych danych w okresie trzech lat od rozpoczęcia pomiarów.
- analizę parametrów wejściowych w istniejących modelach degradacji nawierzchni pod kątem spękań i ich porównanie z uzyskanymi wynikami badań