

WKŁAD BADAŃ GEOFIZYKI POWIERZCHNIOWEJ W ROZPOZNANIE BUDOWY GEOLOGICZNEJ NIECKI WARSZAWSKIEJ

UKD 550.834.3/.5 + 551.831 + 550.838].05:551.243:551.735/762(438 – 191.2 niecka warszawska)

Dotychczas obszarem niecki warszawskiej zajmowało się niewielu geofizyków. Wkład badań geofizycznych w rozpoznanie geologiczne niecki warszawskiej był już wcześniej tematem opracowania A. Dąbrowskiego (1), wykonanego w 1969 r., a więc na podstawie znacznie uboższego niż obecnie obrazu geofizycznego. Zadaniem niniejszego artykułu jest scharakteryzowanie wyników badań geofizyki powierzchniowej pod kątem uzyskania informacji o budowie geologicznej tego obszaru, jak również dla naświetlenia możliwości metodycznych pełniejszej interpretacji danych z poszczególnych metod.

REFLEKSYJNE BADANIA SEJSMICZNE

Charakterystykę strukturalną rozpatrywanego obszaru otrzymujemy głównie dzięki badaniom sejsmicznym. Lokalizację profilów sejsmicznych i wierceń (z uwzględnieniem pomiarów sejsmicznych) przedstawia ryc. 1. Prace sejsmiczne prowadzone były przez Przedsiębiorstwo Poszukiwań Geofizycznych (na zlecenie Instytutu Geologicznego) i w większym zakresie przez przedsiębiorstwa górnictwa naftowego. Wyniki z badań wykonanych w latach 1970–75 na zlecenie IG omawia zbiorcze opracowanie zrealizowane pod kierunkiem S. Marka (7).

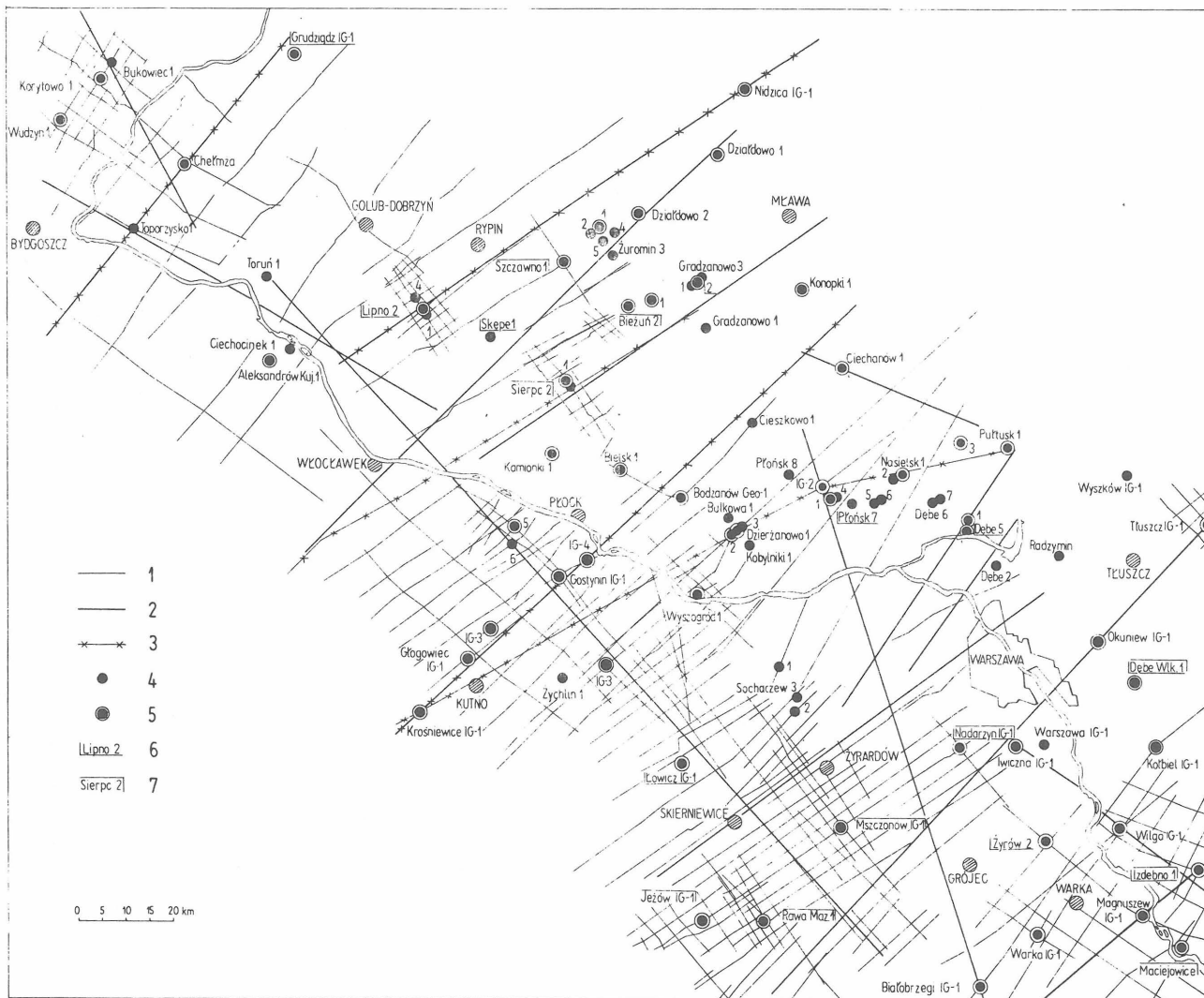
Przestrzenną orientację w uzyskanych wynikach (do 1979 r.) przedstawia ryc. 2, na której wyznaczono kontury wszystkich antyklin i podniesień lokalnych, osie synklin oraz uskoki z podziałem na poziomy śledzenia. Do zestawienia tego wykorzystano szkice głębokościowe sporządzone przez H. Jankowskiego i S. Młynarskiego dla dwu najlepiej śledzących się poziomów: Jo i Z_1 . Do sporządzenia mapy poziomu Jo został wybrany refleks o największej dynamice, który odpowiada granicy refleksyjnej w oksfordzie. Z kompleksu permiego otrzymano odbicia związane z granicą podsolną Z_1 . Dla triasu korzystano ze szkiców znajdujących się w poszczególnych dokumentacjach sejsmicznych. Na większości obszaru refleks wyróżniający się dynamiką otrzymujemy od jednej z granic w pstrym

piaskowcu. Informacje o utworach podpermskich pochodzą głównie z opracowania J. Zagórskiego (14).

Wykonane badania sejsmiczne wykazują ogólne zapadanie podłoża podsolnego w kierunku S–W przy jednoczesnym narastaniu miąższości utworów od jury do cechsztynu włącznie. Pozwoliły one także wykryć tu wiele form strukturalnych, część z nich wiąże się (głównie w rejonie SW) z tektoniką solną. Niewystarczająco przedstawiony na przekrojach sejsmicznych kompleks triasu i górnego cechsztynu pozwala tylko na jakościową ocenę tych form, natomiast poziom Z_1 na ogół nie bierze udziału w tworzeniu struktur. Jak wynika z materiałów sejsmicznych utwory głębszych partii kompleksu cechsztyńsko-mezozoicznego są zazwyczaj zdyslokowane z większą intensywnością, i to częściej niż utwory płytsze.

Przechodząc do szczegółowej analizy uzyskanych wyników badań należy podkreślić, iż głównym celem prac sejsmicznych prowadzonych w niecce warszawskiej jest zbadanie tektoniki mezozoiku i paleozoiku. Na obecnym etapie poszukuje się, a raczej opracowuje szczegółowo struktury antyklinalne oraz bada przebieg dyslokacji. Analizę materiałów rozpoczęto od NW stwierdzając istnienie regionalnej strefy dyslokacyjnej Korytowo–Chełmża – Lipno o kierunku NW–SE (z przedłużeniem na SE). Dzieli ona obszar niecki warszawskiej na 2 części: NE, gdzie występuje tektonika platformowa i SW, gdzie wyraźnie zaznacza się wpływ tektoniki solnej. W części SW obserwuje się dużą niezgodność kątową (różne upady) między granicami stwierdzonymi w osadach młodszych a granicą Z_1 . Strefa ta stanowi jeden z podstawowych elementów tektonicznych kształtujących budowę geologiczną niecki warszawskiej, oddzielając strefę brzeżną rozmieszczoną na skłonie platformy prekambryjskiej od niecki *sensu stricto*.

Na tle tej regionalnej dyslokacji zaznaczają się 3 ciągi struktur. Struktury Korytowo i Chełmża tworzą I ciąg o bardzo dużej amplitudzie, należący już do synklinorium pomorskiego. Struktura Chełmży ograniczona jest od



Ryc. 1. Szkic sytuacyjny prac sejsmicznych i wiertniczych.

Fig. 1. Location of seismic surveys and boreholes.

1 – profile sejsmiczne refleksyjne, 2 – refrakcyjne. 3 – interpretowane kompleksowo; 4 – otwory wiertnicze bez pomiarów sejsmicznych, 5 – z pomiarem prędkości średnich, 6 – z profilowaniem akustycznym, 7 – z pomiarem pionowego profilowania akustycznego.

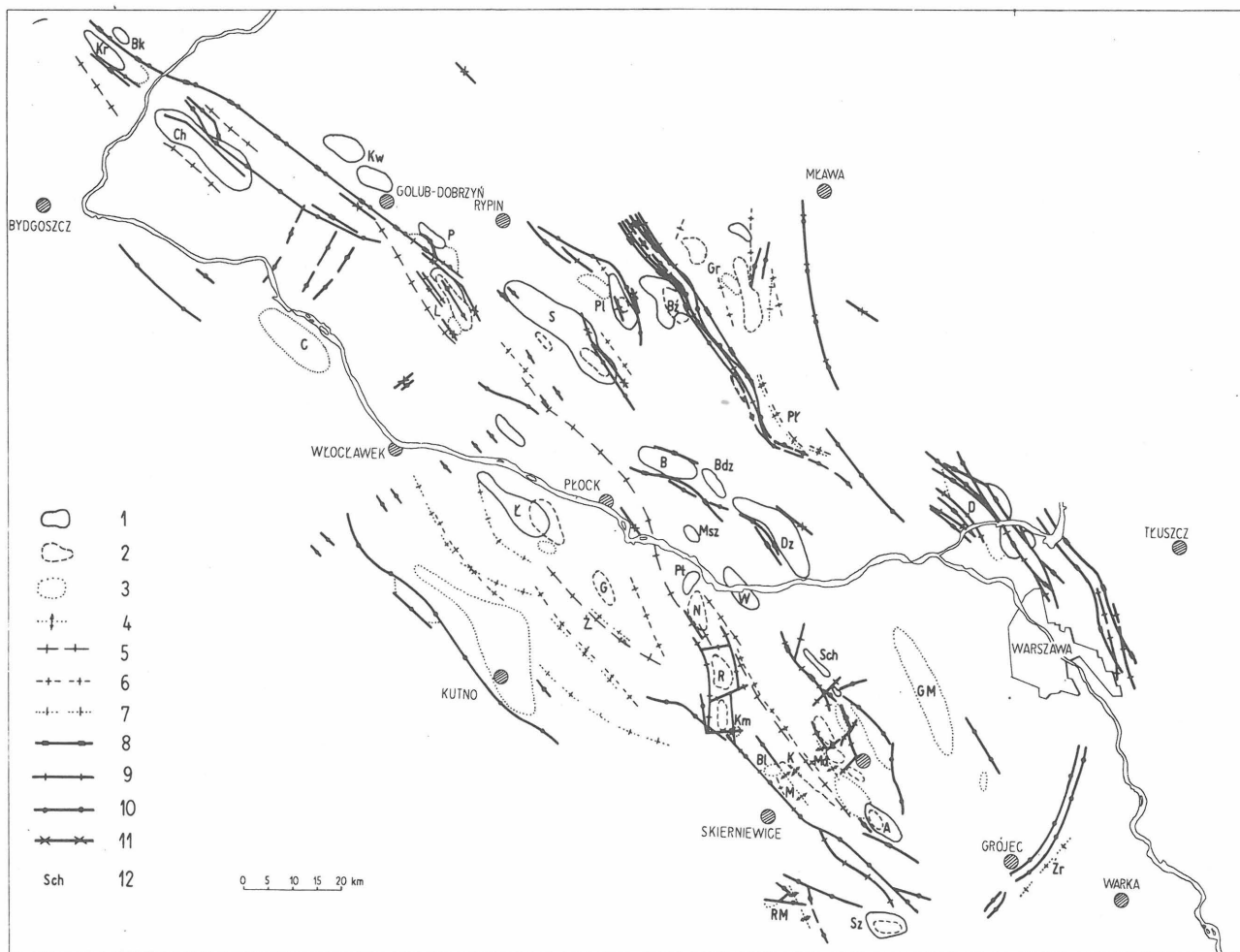
1 – reflection seismic profiles. 2 – refraction profiles. 3 – profiles covered by complex interpretation, 4 – boreholes without seismic measurements, 5 – boreholes with measurements of mean velocities, 6 – with acoustic profiling, 7 – with measurements of vertical acoustic profiling.

NE i SW głębokimi synklinami. Struktura Lipna należy do II ciągu, jest to asymetryczna antyklina o kierunku osi podłużnej NW–SE; od SW ogranicza ją depresja. Na NW od struktury Lipna znajduje się III ciąg o bardzo małej amplitudzie, do którego należą – podniesienie lokalne Kowalewo rozbite na 2 kulminacje oraz podniesienie Piórkowo. W obrazie horyzontu Z_1 wyniesienia zanikają tworząc w rejonie podniesienia Piórkowa tylko niewielki „nos strukturalny”.

Następną rysującą się na mapach sejsmicznych jest struktura Sierpca – antyklina o osi podłużnej NW–SE. Jest to prawdopodobnie forma poduszkowa, wykształcona nad dyslokacją podłoża przedpermskiego. Dyslokacja Sierpca posiada również kierunek NW–SE i jej amplituda w utworach starszego paleozoiku jest co najmniej taka jak w cechszynie. Wykrycie dyslokacji na NE skrzydłach struktur Lipna i Sierpca jest bardzo istotne, gdyż wskazuje na regionalny charakter stref dyslokacyjnych w rejonie Korytowa i Bielska–Bodzanowa–Dzierżanowa. Z tą ostatnią dyslokacją związane są asymetryczne antykliny Bielska i Bodzanowa słabo rozpoznane sejsmicznie (tylko

w obrębie kredy i jury) oraz lepiej poznana antyklina Dzierżanowa.

Na NE od struktury Sierpca uwidacznia się na mapach podniesienie Polik. W utworach podpermskich rozpadła się ona na 2 bloki strukturalne; jeden z nich posiada nieduże zamknięcie przyskokowe. Bardzo istotnym elementem tektonicznym jest także strefa dyslokacyjna Żuromin–Raciąż–Płońsk o kierunku NNW–SSE, w postaci dużego i wąskiego rowu tektonicznego ograniczonego uskoki. Strefa ta obejmuje utwory od jury górnej do podłoża krystalicznego włącznie. W jej obrębie istnieje wiele płaskich form, jak Żuromin, Raciąż oraz synklina Płońska. Od W przylega do niej lokalne wyniesienie przydyslokacyjne Biezuń. W rejonie na E od rowu na ogół ułożenie utworów płytszych jest zgodne z ułożeniem poziomów głębszych, co widać na przykładzie występującej tu struktury Gradzanowa. Wymieniona strefa dyslokacyjna oddziela strefę tektoniki blokowej od strefy brzeżnej tektoniki solnej. Jeszcze dalej na SE widoczna jest przy dyslokacji antyklina Dębe o przebiegu NNW–SSE. Tak przedstawia się obraz strukturalny na N od Wisły.



Ryc. 2. Mapa elementów strukturalnych wyznaczonych w wyniku badań sejsmicznych refleksyjnych.

Fig. 2. Map of structural elements found in result of reflection seismic surveys.

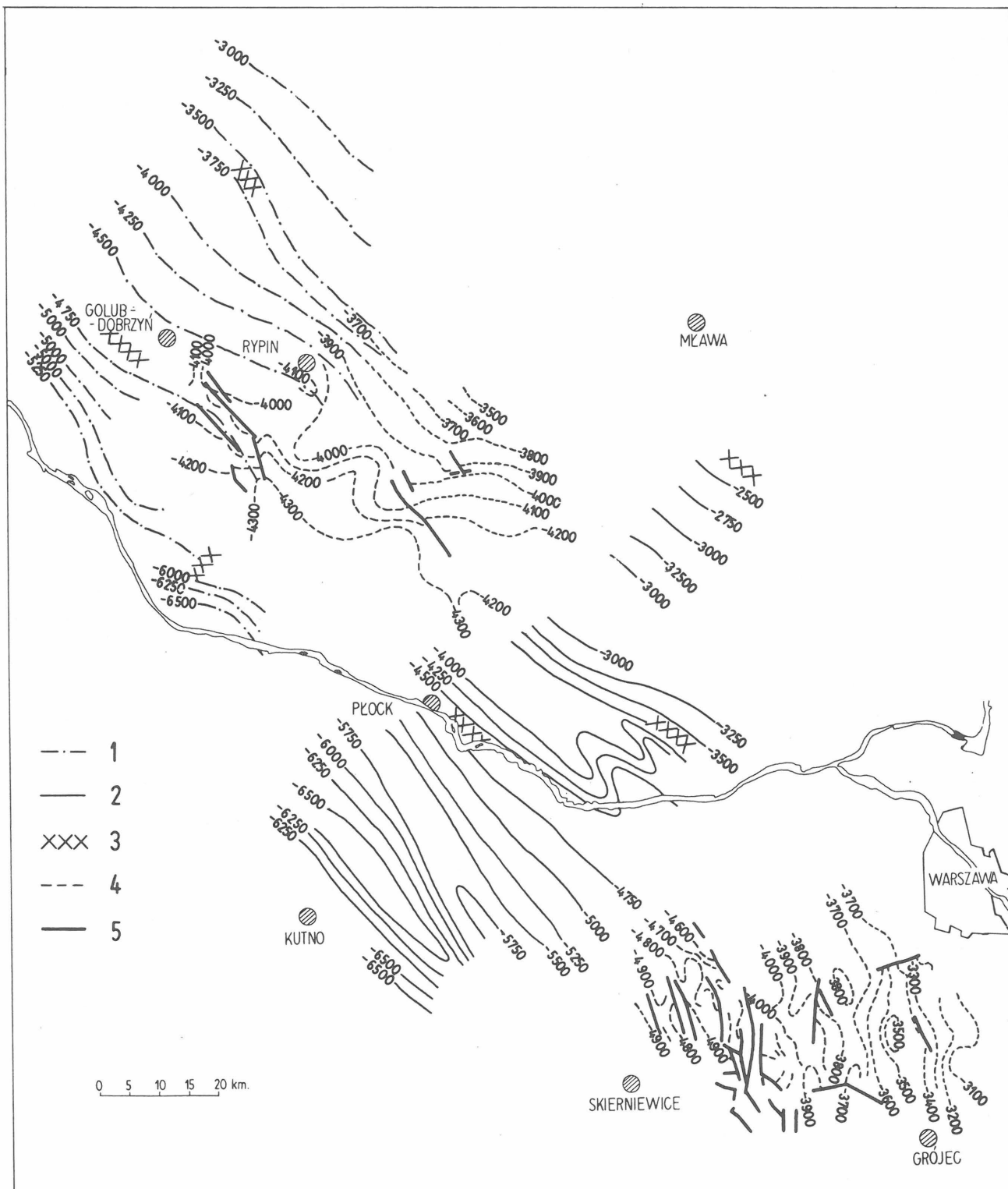
1 – kontury antyklin w stropie jury, 2 – w triasie, 3 – w horyzoncie podsolnym; 4 – podniesienie lokalne w horyzoncie podsolnym; 5 – osie synklin w stropie jury, 6 – w triasie, 7 – w horyzoncie podsolnym; 8 – uskoki w stropie jury, 9 – w triasie, 10 – w horyzoncie podsolnym, 11 – w utworach podpermicznych; 12 – nazwy struktur; Bk – Bukowiec, W – Wyszogród, Kr – Korytowo, Ch – Chełmża, Kw – Kowalewo, P – Piórkowo, C – Ciechocinek, Ł – Lipno, S – Sierpc, Pl – Polik, Bz – Biezuń, Gr – Gradzanowo, Pl – Płońsk, D – Dębe, B – Bielsk, Bdz – Bodzanów, Dz – Dzierzanowo, Ł – Łąck, G – Gąbin, Msz – Miszewo, Pt – Piotrkówek, N – Niedzielska, R – Różyce, Km – Kampina, GM – Grodzisk Maz., Sch – Sochaczew, M – Mogiły, Md – Miedniewice, A – Adamowice, Sz – Szwejki, R. M. – Rawa Maz., Żr – Żyrów, Ż – Żychlin, K – Kurabka, Bl – Bolimów.

1 – contours of anticlines in top of Jurassic, 2 – in Triassic, 3 – in sub-salinary horizon, 4 – local elevations in sub-salinary horizon, 5 – axes of synclines in top of Jurassic, 6 – in Triassic, 7 – in sub-salinary horizon, 8 – faults in top of Jurassic, 9 – in Triassic, 10 – in sub-salinary horizon, 11 – in sub-Permian rocks, 12 – names of structure: Bk – Bukowiec, W – Wyszogród, Kr – Korytowo, Ch – Chełmża, Kw – Kowalewo, P – Piórkowo, C – Ciechocinek, Ł – Lipno, S – Sierpc, Pl – Polik, Bz – Biezuń, Gr – Gradzanowo, Pl – Płońsk, D – Dębe, B – Bielsk, Bdz – Bodzanów, Dz – Dzierzanowo, Ł – Łąck, G – Gąbin, Msz – Miszewo, Pt – Piotrkówek, N – Niedzielska, R – Różyce, Km – Kampina, GM – Grodzisk Mazowiecki, Sch – Sochaczew, M – Mogiły, Md – Miedniewice, A – Adamowice, Sz – Szwejki, R. M. – Rawa Mazowiecka, Żr – Żyrów, Ż – Żychlin, K – Kurabka, Bl – Bolimów.

Na S od Wisły w obrębie wału Gostynina rejestruje się w badaniach sejsmicznych struktura Łąck w utworach jury i triasu oraz struktura Gąbin w triasie. W horyzoncie Z_1 struktury te się nie zaznaczają. Widoczne dalej na E podniesienia Miszewo i Piotrkówek oraz „nos strukturalny” Niedzielska (w horyzoncie J) układają się w jeden ciąg o kierunku S. Amplituda tych form w jurze nie jest wielka, jednak analiza przekrojów sejsmicznych wykazuje, iż w głębszych poziomach można spodziewać się większych amplitud. Jeszcze dalej na E w utworach jury rejestruje się wydłużona asymetryczna forma strukturalna – antyklina Wyszogrodu. Można przypuszczać na podstawie materiałów sejsmicznych, że istnieje ona również w triasie.

Bardzo istotnym elementem tektonicznym są również rysujące się w południowej części niecki warszawskiej w wynikach badań sejsmicznych dwie strefy dyslokacyjne: Nowe Miasto – Skierniewice – Łowicz – Żychlin o ogólnym kierunku NW – SE i Mszczonów – Żyrardów – Sochaczew o ogólnym kierunku NNW – SSE. Powstałe na wglębnych precechsztyńskich założeniach miały one zasadnicze znaczenie dla wykształcenia obserwowanych form geologicznych. Pierwsza z nich ogranicza od NE obszar wysadów i wałów solnych, a druga rozdziela strefę brzeżną tektoniki solnej i strefę tektoniki blokowej podobnie jak ww. dyslokacja Żuromin – Raciąż – Płońsk.

Utwory kredy i jury na całym tym obszarze charak-



Ryc. 3. Szkic elementów strukturalnych w utworach podpermiankich (odrys z mapy J. Zagórskiego oraz ze szkicu strukturalnego granicy refrakcyjnej o V_g 5500–5900 m/s A. Wojasa).

1 – izobaty granicy śródsylurskiej na podstawie refrakcji, 2 – utworów młodopaleozoicznych na podstawie refrakcji, 3 – strefy dyslokacyjne na podstawie refrakcji, 4 – izoliny granicy refrakcyjnej, 5 – uskoki na podstawie sejsmiki refleksyjnej.

teryzują się spokojną budową. Natomiast styl budowy utworów permsko-triasowych zmienia się na E i W od tej II dyslokacji. Na E obserwuje się na przekrojach sejsmicznych spokojne zaleganie utworów triasu i permu, zgodne

Fig. 3. Sketch map of structural elements in sub-Permian rocks (after J. Zagórski's map and A. Wojas's structural sketch map of refraction boundary with V_g 5500–5900 m/s).

1 – isobaths of intra-Silurian boundary after refraction data, 2 – Upper Paleozoic rocks after refraction data, 3 – dislocation zones after refraction data, 4 – isolines of reflection boundary, 5 – faults after reflection seismic data.

na ogół z planami strukturalnymi jury i kredy. Natomiast na W obserwuje się spokojną budowę kredy i jury, a pozostałe utwory są silnie zaburzone. Widać tu inwersję planów strukturalnych kompleksów: podsolnego (Z_1) i juraj-

skiego (J), uwidocznioną w postaci zmian miąższości cechsztynu. Często strefom wyniesienia w horyzoncie Z_1 odpowiadają strefy synklijalne w horyzoncie J (np. podniesienia Miedniewice, Mogiły, Kurabka). Struktura Grodziska Mazowieckiego, występująca w postaci płaskiej formy o niewielkiej amplitudzie, leży już po stronie wschodniej wspomnianej dyslokacji.

Na obszarze zachodnim uwidacznia się inny typ struktur – są to struktury antyklinalne asymetryczne występujące w postaci ciągów. Ze strefą dyslokacyjną Sochaczewa wiąże się struktura Sochaczewa, podłoże cechszyńskie leży tu na głębokości ok. 4000 m, wyraźnie zapadając w kierunku wału kujawskiego. W związku z tym antyklina Sochaczewa wykazuje asymetrię, podobnie jak sąsiednia antyklina Wyszogrodu oraz wymienione już wcześniej antykliny ciągu Bielsk – Bodzanów. Wspomniane już struktury Miedniewice i Mogiły, zanotowane w formie wyniesień w horyzoncie Z_1 , zaznaczają się również w utworach triasu. Utwory triasu ponadto tworzą w tym rejonie ciąg strukturalny Niedzielska – Różyce – Kampina ograniczony ze wszystkich stron dyslokacjami, również poprzecznymi. Najbardziej wysunięte na S struktury, to: Adamowice, Szwejki (o kierunku osi WE) i Rawa Mazowiecka. Jako ostatni element trzeba wymienić obserwowaną na linii Nowe Miasto nad Pilicą – Warszawa IG-1 strefę dyslokacyjną w postaci rowu o kierunku NNE – SSW. Po SE stronie tej dyslokacji (w utworach permskich) obserwuje się wydłużony równoległy do niej element strukturalny Żyrowa.

Tak więc niecka warszawska jest rejonem, w którym zdecydowanie przeważają struktury antyklinalne układające się w wydłużone ciągi strukturalne równoległe do osi niecki mającej kierunek NW – SE, czyli do brzegu prekambryjskiej platformy wschodnioeuropejskiej. Antykliny i przeguby antyklinalne występują najczęściej przy strefach dyslokacyjnych, a uskoki stwierdzono o charakterze regionalnym. Kierunek głównych dyslokacji jest równoległy do osi ciągów strukturalnych, tak więc dominujący kierunek dyslokacji jest również zgodny z kierunkiem brzegu platformy. Występują tu czasami, szczególnie w obrębie utworów paleozoicznych dyslokacje o kierunkach poprzecznych SW – NE. Można też zauważyć taką prawidłowość: uskoki o kierunku generalnie NW – SE na W przechodzą ku E w kierunek NNW – SSE i dalej w zbliżający się do NS. Obok dyslokacji charakterystycznym elementem budowy są rowy tektoniczne, prawdopodobnie wiążące się z progami w podłożu podcechszyńskim. Zrzuty uskoków ograniczających te rowy mając w osadach młodszych, całkowicie wygasając w jurze górnej.

Analiza materiałów sejsmicznych wykazuje wyraźną dwudzielność niecki warszawskiej, a granica między SW (strefa brzeżna tektoniki solnej) i NE częścią (strefa tektoniki blokowej) ma charakter uskoku. Zaobserwowane korelacje w układzie struktur świadczą o związkach genetycznych struktur z uskokami w poziomie podsolnym i głębszym. Z analizy materiałów geofizycznych wynika, że są to w większości poduszki solne, z których najsilniej rozwinięta jest poduszka Lipna. W obszarze o płytszym zaleganiu podłoża podcechszyńskiego objawy tektoniki solnej zanikają. Dotychczas przedstawiana analiza wyników sejsmicznych obejmuje przeważnie kompleks mezozoicno-cechszyński.

Zagadnienie sejsmicznego śledzenia utworów podpermskich w niecce warszawskiej jest tematem wymienianego już opracowania J. Zagórskiego (14). Zestawienie szkicu elementów strukturalnych okazało się możliwe tylko w 2 odrębnych rejonach: Lipna – Sierpca dla utworów sy-

lurskich i Sochaczewa – Grójca dla utworów karbońskich (ryc. 3). Otrzymany obraz głębokościowy w rejonie Sierpca jest mało urozmaicony. Największe obiekty, jakimi są struktury Lipna i Sierpca nie zaznaczają się w układzie izolunii. Jedynym zasygnalizowanym podniesieniem jest zamknięcie przydyslokacyjne na głębokości 3900 m na N od otworu Skępe 1. W rejonie Sochaczewa plan strukturalny utworów karbońskich różni się od planu granicy podsolnej. Struktura Sochaczewa jest rozbita na podniesienie przydyslokacyjne po stronie NE i wydłużony „nos strukturalny” po stronie SW. W strefie Mszczonowa (podobnie jak w cechsztynie) dominującą rolę odgrywają strefy dyslokacyjne rozbijające ten rejon na wiele bloków. W kierunku Nadarzyna obraz izobot jest spokojniejszy (mniej zburzony) i powierzchnia granicy śródkarbońskiej wynurza się ku NE.

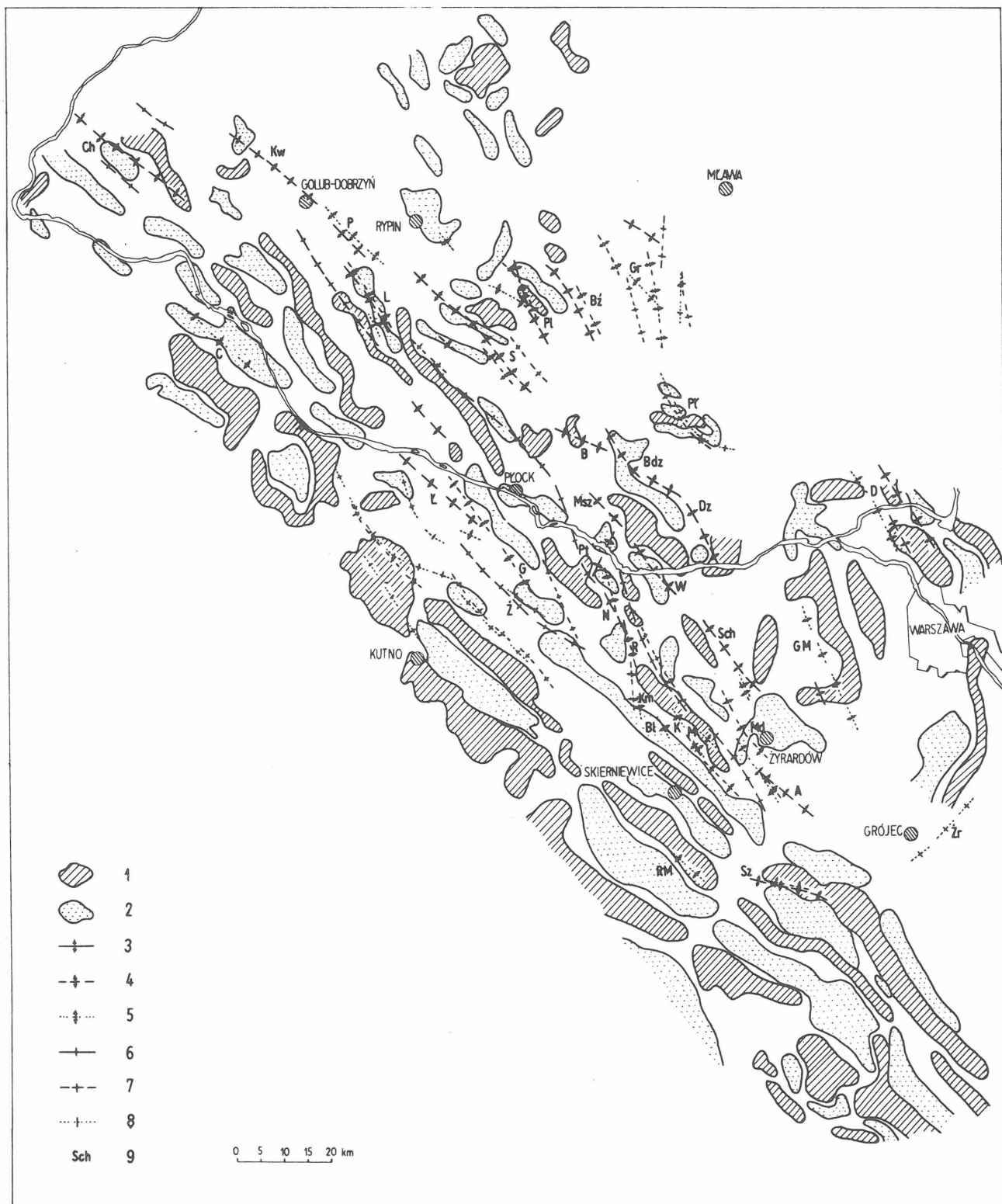
Wiarygodność zestawionych materiałów obniża jednak fakt, że śledzone granice zmieniają swe położenie wewnątrz kompleksów, na co wskazuje rozpoznanie wiertnicze. Również jakość przekrojów nie pozwala na przeprowadzenie pewnej i jednoznacznej korelacji poniżej granicy Z_1 . Ponieważ metodą refleksyjną nie udało się uzyskać refleksów spod granicy Z_1 na całym obszarze, to duże znaczenie dla odtworzenia budowy geologicznej pokrywy osadowej tego rejonu ma wydzielenie refrakcyjnej granicy poniżej cechsztynu. W opracowaniu reinterpretacyjnym Przedsiębiorstwa Badań Geofizycznych (13) oprócz fali o prędkości granicznej ok. 5900 – 6500 m/s związanej z podłożem krystalicznym, wyznaczono także falę o prędkości granicznej ok. 5500 – 5900 m/s, związaną na NW obszarze niecki warszawskiej z utworami „śródsylurskimi”, a na pozostałym – ogólnie z młodopaleozoicznymi (ryc. 3).

Wykorzystując te szkice należy jednak brać pod uwagę jakość materiałów wyjściowych pamiętając, iż opracowane są na podstawie fragmentarycznych danych. Najkonsekwentniej śledzi się granicę „śródsylurską”, ale jej interpretacja głębokościowa może być obciążona dość dużym błędem. Wyniki refrakcyjne w obrębie utworów paleozoicznych przedstawione wraz z wynikami uzyskanymi dla tych samych utworów na podstawie refleksyjnych prac sejsmicznych (ryc. 3) wzajemnie się uzupełniają powierzchniowo. Obserwujemy również dość dobrą zgodność określenia głębokości. Przedstawiony szkic stanowi próbę zebrania informacji sejsmicznych o utworach podpermkich.

BADANIA GRAWIMETRYCZNE I KORELACJA ICH WYNIKÓW Z WYNIKAMI BADAŃ SEJSMICZNYCH

Obszar niecki warszawskiej jest niemal w całości objęty półszczegółowym zdjęciem grawimetrycznym. Podsumowania wyników badań grawimetrycznych dokonał A. Grobelny (5), opracowując m.in. 3 mapy: anomalii Bouguera, anomalii resztkowych oraz konturów anomalnych (ryc. 4). Charakterystyczną cechą obrazu anomalnego jest bardzo intensywne tło regionalne oraz brak wyraźnych elementów lokalnych, które można by wiązać z lokalnymi strukturami utworów osadowych. Zwracał już na to uwagę A. Dąbrowski (2) w swej pracy, omawiającej geologiczne przyczyny anomalii siły ciężkości.

W celu porównania obrazów uzyskanych metodą sejsmiczną i grawimetryczną zestawiono szkic rozmieszczenia osi struktur wyznaczonych w wyniku badań sejsmicznych na tle zarysów grawimetrycznych anomalii resztkowych (ryc. 4). Struktury wykryte sejsmicznie narysowano



Ryc. 4. Szkic przebiegu osi struktur wyznaczonych w wyniku badań sejsmicznych na tle zarysów anomalii resztkowych (zarys anomalii według A. Grobelnego).

1 – dodatnie strefy anomalne, 2 – ujemne; 3 – osie antyklin w stopie jury, 4 – w triasie, 5 – w horyzoncie podsolnym; 6 – osie synklin w stopie jury, 7 – w triasie, 8 – w horyzoncie podsolnym; 9 – nazwy struktur jak na ryc. 2.

Fig. 4. Sketch of course of axes of structures delineated on the basis of seismic data at the background of outlines of residual anomalies (outlines of the latter after A. Grobelny).

1 – positive anomalies, 2 – negative anomalies, 3 – axes of anticlines in top of Jurassic, 4 – in Triassic, 5 – in sub-salinity horizon, 6 – axes of synclines in top of Jurassic, 7 – in Triassic, 8 – in sub-salinity horizon, 9 – names of structures as given in Fig. 2.

w postaci osi synklin i antyklin. Osie struktur wyznaczone dla 3 poziomów sejsmicznych obrazują w przybliżeniu układ całego kompleksu cechsztyńsko-mezozoicznego. Dane grawimetryczne przedstawiono w postaci szkicu rozmieszczenia anomalii reszkowych w wersji zgeneralizowanej według A. Grobelnego (5).

Z mapy tej oraz z analizy istniejących pozostałych materiałów geofizycznych wynika, że problemu genezy obserwowanych anomalii siły ciężkości nie można rozpatrywać łącznie dla całego obszaru. Należy wyraźnie podzielić rejon na część platformową (prekambryjską) i część położoną na SW od jej krawędzi. Konieczność takiego podejścia przede wszystkim wynika z odmiennych modeli geologiczno-gęstościowych, gdyż powodują one, że w obu wymienionych częściach rejonu inna jest geneza zarówno anomalii lokalnych, jak i regionalnych. W platformowej części anomalie lokalne są elementami o małych amplitudach i gradiencie poziomym oraz układają się bezładnie.

Ponieważ w rejonie tym brak jest na ogół większych struktur jurajsko-triasowych, a powierzchnie w ich obrębie są głównymi granicami kontrastów gęstościowych, można wykluczyć anomalie lokalne, które były z nimi genetycznie związane. Mamy tu prawdopodobnie do czynienia z wpływem grawitacyjnym morfologii stropu podłoża krystalicznego oraz zmian petrograficznych w tym podłożu. Wskazywałaby na to również korelacja niektórych anomalii grawimetrycznych z magnetycznymi. Ciała powodujące anomalie magnetyczne występują na głębokościach odpowiadających zaleganiu stropu podłoża krystalicznego. Typowym tego przykładem jest dodatnia anomalia Płońska.

Interpretacja ilościowa wykonana przez A. Kozere (6) udowodniła, że obie anomalie (grawimetryczna i magnetyczna) są wywołane tym samym ciałem zaburzającym, tkwiącym w podłożu krystalicznym na głębokości nie większej niż ok. 10 km. Na obszarze położonym na skłonie platformy prekambryjskiej model grawimetryczny jest bardziej skomplikowany. Podniesienie granicy jurajskiej i triasowej powodują dodatnie anomalie grawimetryczne, natomiast granice podpermskie i głębsze zanurzają się w kierunku SW powodując regionalne zmniejszanie wartości anomalii. Oprócz tego dochodzi jeszcze wpływ grawitacyjny zmian miąższości osadów i struktur solnych permu.

To zjawisko kompensacji w sensie regionalnym najbardziej zaznacza się w osiowej części niecki warszawskiej, natomiast w miarę zbliżania się do antyklinorium kujawskiego (ze względu na duże głębokości zalegania) wpływ granic głębszych znacznie maleje i praktycznie nie wpływa na obraz anomalii siły ciężkości. W obrazie grawimetrycznych anomalii reszkowych (ryc. 4) brak jest intensywnych form. Słabo wyodrębniające się anomalie dodatnie i ujemne mają amplitudy 0,25–1 mgł. Kształt ich jest przeważnie wydłużony w kierunku zbliżonym do ogólnego przebiegu osi niecki warszawskiej, układają się one w pewien usystematyzowany sposób w postaci pasów, przebiegających prawie równolegle do siebie z SE na NW. W miarę przesuwania się w kierunku NE linearność ta zostaje zaburzona i w części platformowej obserwujemy już całkiem chaotyczny układ anomalii. W części SW niecki łatwo dostrzec korelację obrazu grawimetrycznego ze strukturami stwierdzonymi sejsmicznie. Osie główne anomalii reszkowych ułożone są równolegle do generalnego kierunku osi struktur.

Takie uporządkowane rozmieszczenie nie jest kwestią przypadku, gdyż nawet małe lokalne zmiany kierunku struktur znajdują odzwierciedlenie w obrazie grawimetrycznym. Dowodzi to, iż opracowany szkic wydzielonych

anomalnych jednostek grawimetrycznych dodatnich i ujemnych wiąże się w SW części niecki warszawskiej przede wszystkim z budową geologiczną utworów permio-mezozoicznych. Na podstawie dostępnych materiałów sejsmicznych i geologicznych trudno jest na etapie przeprowadzonej obecnie analizy jakościowej ustalić dokładnie źródło tak słabo zaakcentowanych anomalii. Można tylko wnioskować, że część wydzielonych anomalii tego obszaru ma związek ze strukturami powstałymi w wyniku tektoniki solnej.

Są to struktury przedstawiające w grawimetrii obraz w dużym stopniu skompensowany. Należy do nich anomalia ujemna przebiegająca od rejonu Włocławka przez Gostynin – Żychlin i dalej do Skierniewic. Według danych geologicznych występuje tu duży element – wał solny o długości ok. 100 km. Słabe zróżnicowanie obrazu grawimetrycznego wiąże się z głębokim zaleganiem lekkich utworów solnych, ponieważ spąg horyzontu Z_1 występuje tu na głębokości ok. 6000 m.

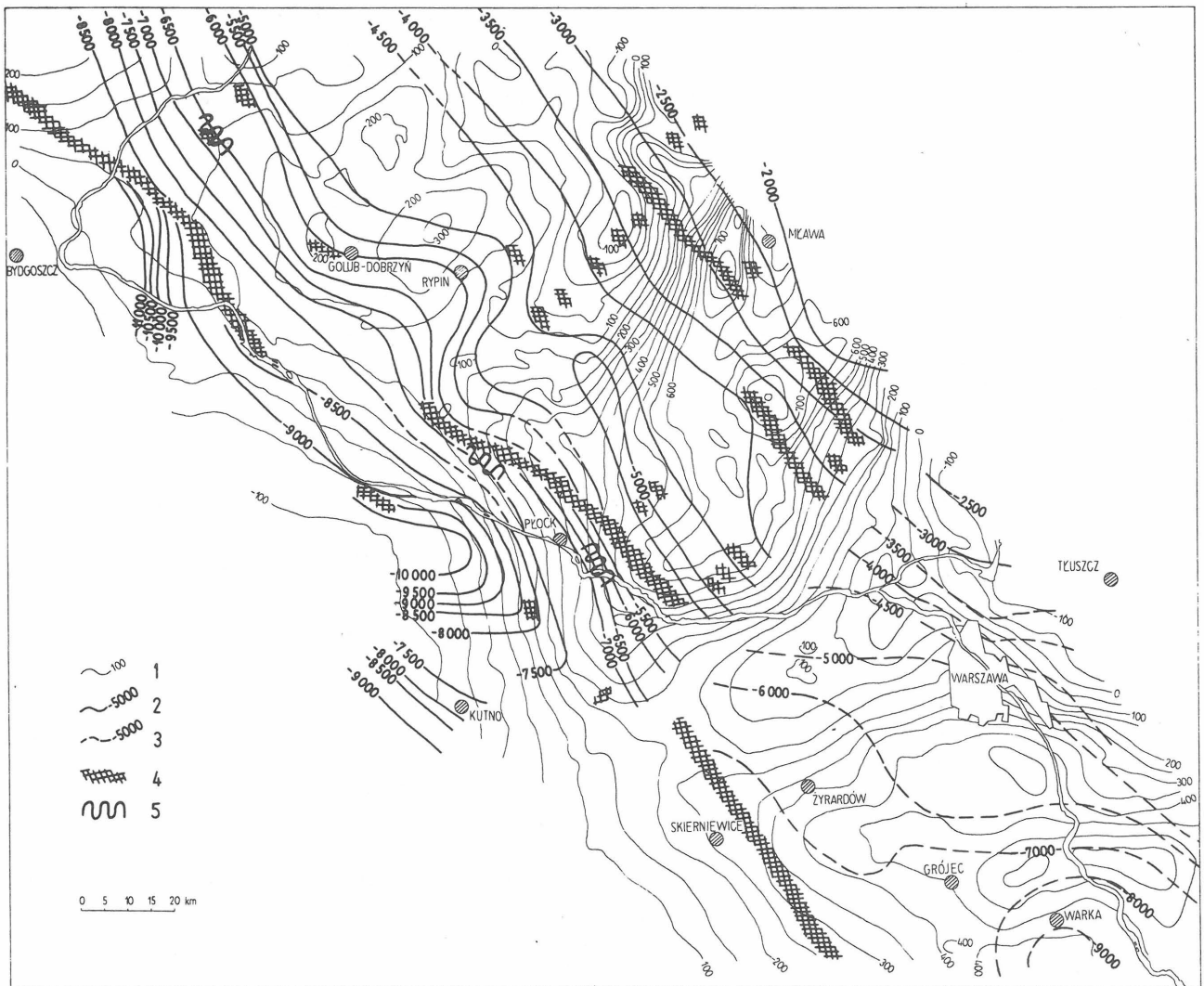
Obecność wykrytych w tym rejonie struktur potwierdzana jest niekiedy tylko występowaniem dodatnich anomalii grawimetrycznych (ryc. 4). Natomiast charakterystyczne jest występowanie ujemnych anomalii grawimetrycznych w obszarze sejsmicznie stwierdzonych antyklin oraz anomalii dodatnich w synklinach (np. depresja Lipna). Mamy tu do czynienia z inwersją grawimetryczną*, z czego można wnioskować o występowaniu utworów solnych. Trzeba dodać, że występujące w tym rejonie anomalie ujemne mogą też mieć związek z synklinami wypełnianymi lekkimi utworami kredowymi. Jak już wspomniano, w otoczeniu ujemnych stref anomalnych ma często miejsce podwyższenie wartości anomalii. Są to anomalie także układające się w strefy o kierunku NW–SE. Wydaje się, że wiążą się one z cięższymi utworami mezozoicznymi, bardziej miąższymi niż w zasięgu ujemnych stref anomalnych.

Tak więc obraz grawimetryczny niecki warszawskiej genetycznie jest bardzo skomplikowany. Ma to duże znaczenie, oczywiście negatywne, jeśli chodzi o łatwość wykorzystania materiałów grawimetrycznych. Ich analiza wymaga stosowania specjalnych metod rozdziału pól anomalnych. Trzeba zaznaczyć, że jest to proces bardzo pracochłonny i skomplikowany. Dopiero wtedy można wyciągnąć informacje tkwiące w obrazie anomalii siły ciężkości i dotyczącej ewentualnych struktur podpermskich w części platformowej i mezo-cechsztyńskich na SW od krawędzi platformy.

BADANIA MAGNETYCZNE I REFRAKCYJNE ORAZ PRÓBY INTERPRETACJI KOMPLEKSOWEJ WZDŁUŻ PROFILÓW

Strefa brzeżna platformy prekambryjskiej była przedmiotem analizy materiałów geofizycznych dokonanej przez A. Dąbrowskiego i K. Karaczuna (3) już w latach pięćdziesiątych. Autorzy ci opracowali wówczas dla obszaru Polski mapę anomalii składowej pionowej Z magnetyzmu ziemskiego w skali 1:2 000 000. Następnie opierając się na zestawionej również przez siebie mapie morfologii

* Inwersja grawimetryczna polega na występowaniu dodatnich anomalii siły ciężkości nad obniżonymi strukturami geologicznymi, np. synklinami względnie anomalii ujemnych nad strukturami wyniesionymi (np. antyklinami).



Ryc. 5. Zestawienie wyników refrakcyjnych badań sejsmicznych na tle mapy anomalii składowej pionowej Z.

1 – izorytmy anomalii składowej pionowej Z wykreślone co 50 γ na podstawie mapy K. Karaczuna oraz szkicu strukturalnego granicy refrakcyjnej o V_g ok. 6 km/s związanej z podłożem skonsolidowanym (część NW – A. Wojas 1979, część SE – J. Skorupa 1974), 2 – izobaty – głębokość w m od poziomu morza, 3 – przypuszczalny przebieg izobaty, 4 – strefy dyslokacyjnej, 5 – brzeg starej platformy prekambryjskiej wyznaczonej na profilach interpretowanych kompleksowo.

podłoża czynnego magnetycznie (na podstawie interpretacji wyników badań geofizycznych) przeprowadzili próbę powiązania obrazu magnetycznego z budową podłoża krystalicznego Polski. Wprowadzono wtedy pojęcie stopni, wzdłuż których prekambryjskie podłoże krystaliczne ulega schodowatemu obniżeniu budując platformę wschodnioeuropejską z NE ku SW.

Na obszarze niecki warszawskiej wyznaczono 2 takie stopnie zaznaczające się w formie dużego gradientu składowej Z, z których drugi, zgodnie z przyjmowanymi poglądami odpowiadający linii Tornquista, stanowi SW granicę wschodnioeuropejskiej platformy krystalicznej. Stwierdzono również, że linia Tornquista stanowi również granicę między dwoma obszarami o różnym obrazie magnetycznym. Ponieważ mapa składowej Z natężenia pola magnetycznego w 1958 r. została zestawiona z koniecz-

Fig. 5. Results of refraction seismic surveys at the background of map of anomalies of vertical component Z.

1 – isorhythms of anomalies of vertical component Z in 50 γ intervals, after K. Karaczun's map and structural sketch of refraction boundary with V_g about 6000 m/s, regarded as related to crystalline basement (NW part – after A. Wojas, 1979, SE part – after J. Skorupa, 1974), 2 – isobaths, depth in m from sea level, 3 – inferred course of isobath, 4 – dislocation zones, 5 – margin of old Precambrian platform, determined in profiles interpreted in complex way.

ności w sposób uproszczony K. Karaczun opracował nową wersję tej mapy w skali 1:500 000 (zał. 5), która została wykorzystana w niniejszym artykule.

Niecka warszawska charakteryzuje się intensywnymi regionalnymi anomaliimi pionowej składowej magnetyzmu ziemskiego. W obrazie anomalii magnetycznych wyraźnie rysuje się strefa zwiększonego gradientu przebiegająca od rejonu Nowego Miasta w kierunku NW, w rejonie Skierniewic, Łowicza, Gostynina i dalej biegnąca przez obszar na NE od Włocławka, Torunia i Bydgoszczy, gdzie skręca jeszcze bardziej na NW. Przedstawienie na tle anomalii magnetycznych ΔZ wyników sejsmicznych badań refrakcyjnych (ryc. 5) pozwala porównać wyniki uzyskane obiema metodami.

Do korelacji przyjęto obraz morfologii podłoża skonsolidowanego części NW rejonu z wymienionego już opra-

cowania reinterpretacyjnego A. Wojasa (13), a części SE z mapy sejsmicznej J. Skorupy (11). Przedstawione tu dane refrakcyjne wykazują wysoką zgodność z wynikami wierceń, co podkreślił również w swej pracy W. Pożaryski (10) wykorzystując materiały refrakcyjne dla sporządzenia map tektonicznych paleozoiku podpermskiego. Strefa zwiększonego gradientu pola magnetycznego na całej swej długości została „potwierdzona” wynikami refrakcyjnych badań sejsmicznych. W przedstawionym obrazie refrakcyjnym w tej właśnie strefie horyzont o prędkości granicznej ok. 6000 m gwałtownie zapada ku SW.

Na tym tle zaznaczają się strefy nieciągłości o charakterze uskokowym tworzące szeroki pas biegnący przez Skierniewice, Żychlin – Wyszogród – Dzierżanowo, Płock, Lipno – Włocławek, Toruń – Golub – Dobrzyń. Jego NE skrzydło wznosi się monoklinalnie w kierunku platformy tworząc wiele stopni i undulacji; natomiast SW skłon jest wąski o stromych upadach. Na E od tej strefy w obrazie magnetycznym zaznaczają się lokalne anomalie, które przypuszczalnie są odzwierciedleniem wyraźnego wypływanego podłoża skonsolidowanego i jego bardziej urozmaiconego charakteru petrograficznego. Na W od tej strefy, czyli w obrębie platformy paleozoicznej brak lokalnych anomalii w obrazie magnetycznym, co wiąże A. Dąbrowski z występowaniem poniżej spągu nieskonsolidowanych skał osadowych, utworów o bardzo małej podatności magnetycznej. Granica pomiędzy tą niezaburzoną a zaburzoną NE częścią, występująca na mapie refrakcyjnej jako strefa wglębnych rozłamów podłoża, interpretowana jest jako tektoniczna strefa Tornquista-Teisseyre’a, strefa kontaktu platform prekambryjskiej (wschodnioeuropejskiej) i paleozoicznej.

Złożony charakter budowy geologicznej strefy kontaktu platform znajduje swe odbicie również w obrazie anomalii grawimetrycznych Bouguera, w postaci depresji grawimetrycznej o osi Chełmża – Grudziądz – Lipno – Płock – Wyszogród – Skierniewice. Korelacji materiałów refrakcyjnych z obrazem anomalii Bouguera należy dokonywać właśnie w tym miejscu, gdyż tu może być odzworowana różnica gęstości między skałami krystalicznymi platformy prekambryjskiej i utworami przypuszczalnie słabiej skonsolidowanego podłoża platformy paleozoicznej. Na NE od strefy kontaktu platform wartości anomalii Bouguera rosną. Tak więc widać pełną zgodność wyników przedstawionej interpretacji obrazu magnetycznego i grawimetrycznego dla strefy kontaktu platform z modelem skonsolidowanego podłoża wyznaczonego z materiałów refrakcyjnych, a więc zupełnie niezależnie.

W zakresie interpretacji kompleksowej wykonano dotychczas niewiele prac, a i to tylko wzdłuż profilów. Pierwszej próby powiązania wyników badań grawimetrycznych i sejsmicznych z ogólną budową geologiczną dokonał A. Kozera (6) wzdłuż profilów Płońsk – Krośnice – Kalisz i Nidzica – Lipno. Przez nieckę warszawską przechodzą fragmentarycznie 2 sejsmiczne profile regionalne Pleszew – Sierpc i Lubin – Prabuty, wzdłuż których dokonano interpretacji geofizyczno-geologicznej wyników badań (9). Najbardziej reprezentatywny dla rejonu niecki warszawskiej jest profil Pleszew – Sierpc, a właściwie jego NE część dowiązująca do otworu Sierpc 1. Interpretacja wykonana dla tego profilu przez J. Skorupę i L. Dziewińską pozwoliła na lokalizację strefy kontaktu platform w rejonie na NW od Płocka. Autor drugiego profilu interpretowanego kompleksowo A. Kozera zlokalizował strefę kontaktu platform na NE od Wisły. Do takich profilów należy również profil Syców – Mława opracowany przez A. Grobelnego (5). Wykonana dla tego profilu interpretacja

pozwoiliła wyznaczyć odcinek strefy kontaktu platform w rejonie Wisły. Wyinterpretowane na profilach strefy kontaktu platform wchodzą również w ww. obszar wglębnych rozłamów podłoża wyznaczony na podstawie wyników refrakcyjnych (ryc. 5).

WNIOSKI METODYCZNE

Przeprowadzona analiza materiałów geofizycznych również pozwala wyciągnąć wiele wniosków metodycznych. I tak należy stwierdzić, że dla szczegółowego rozpoznania budowy geologicznej niecki warszawskiej największe znaczenie mają refleksyjne badania sejsmiczne. Jedyne dzięki pracom sejsmicznym można określić przebieg głębszych dyslokacji. Prace refrakcyjne można prowadzić w celu zbadania morfologii i tektoniki głębokiego podłoża skonsolidowanego. Skuteczność ich wykorzystania widać przy rozpoznaniu strefy kontaktu platform prekambryjskiej i paleozoicznej.

Cel metod grawimetrycznej i magnetycznej należy widzieć nie w kontynuowaniu pomiarów, ale w interpretacji istniejących już danych w połączeniu z wynikami metody sejsmicznej. Metoda magnetyczna może wносить informacje uzupełniające do metody refrakcyjnej i to tylko w obszarze platformy prekambryjskiej. Skomplikowany model gęstościowy obszaru niecki warszawskiej powoduje, że nie można bezpośrednio z anomalii grawimetrycznych otrzymać jednoznacznych informacji geologicznych o ich genezie.

Dokładne rozstrzygnięcie tych zagadnień możliwe jest tylko dzięki kompleksowej analizie danych geofizycznych. Ponieważ przy interpretacji materiałów grawimetrycznych podstawowe znaczenie ma poznanie właściwych wartości gęstości skał, wiąże się z tym potrzeba wykonania pomiarów na rdzeniach wszystkich nowych otworów. Odnośnie do prac geoelektrycznych, to prac takich o zasięgu i cechach badań regionalnych w rejonie niecki warszawskiej na ogół nie prowadzono.

Sumując wnioski metodyczne widzimy, że prace geofizyczne powinny iść w kierunku dalszego opracowywania metodyki, a zwłaszcza badań refleksyjnych. Rejon niecki warszawskiej charakteryzuje się w przeważającej części łatwymi warunkami powierzchniowymi do prowadzenia prac. Najistotniejszym problemem metodycznym jest eliminacja występujących w dużych ilościach i silnych refleksów wielokrotnych od utworów górnej jury, interferujących z refleksami rzeczywistymi, od utworów głębszych. One to powodują, że tylko niewielka część wykonanych prac nadaje się do wykorzystania pod kątem rozpoznania budowy geologicznej kompleksu podpermskiego.

Na zakończenie podkreślić warto, iż stopień rozpoznania całego kompleksu permo-mezozoicznego zależy nie tylko od zagęszczenia profilów, ale i od powiązania danych sejsmicznych z danymi z głębokich wierceń. Dla dokładniejszej interpretacji wyników badań sejsmicznych konieczne jest więc odwiercenie kilku głębokich otworów i wykonanie w nich całego kompleksu badań geofizycznych. Na obszarze niecki warszawskiej przeważającą część badań sejsmicznych stanowią pomiary prędkości średnich, gdy pionowe profilowanie sejsmiczne (PPS), dające najbogatszy materiał dotyczący wglębnych warunków sejsmiczno-geologicznych, wykonano tylko w 7 otworach, a profilowanie akustyczne dla celów sejsmiki powierzchniowej w 9 (ryc. 1). Przeważająca część tych pomiarów została zakończona w otworach jury lub młodszego triasu.

Kompleksowa interpretacja map geofizycznych, której próbę jakościową przedstawiono w skrócie pozwala ustalić i wyjaśnić zasadnicze związki zachodzące między budową geologiczną a obserwowanymi zjawiskami geofizycznymi. Natomiast dla otrzymania dokładnych i bardziej szczegółowych danych niezbędne jest przeprowadzenie kompleksowej interpretacji ilościowej. Przykładem takiego podejścia jest praca wykonana przez J. Skorupę i autorkę (12) dla strefy Gopło—Pabianice.

Składam podziękowania za możliwość wykorzystania materiałów następującym autorom: J. Zagórskiemu, A. Wojasowi, S. Młynarskiemu, A. Grobelnemu i K. Karaczunowi.

LITERATURA

1. Dąbrowski A. — Wkład badań geofizycznych w rozpoznanie geologiczne synklinorium warszawskiego. Arch. IG 1969.
2. Dąbrowski A. — Przyczyny geologiczne anomalii siły ciężkości na obszarze Polski w świetle analizy ciężaru objętościowego. Pr. Inst. Geol. 1974 t. 73.
3. Dąbrowski A., Karaczun K. — Mapa magnetyczna Polski 1:2 000 000. Biul. Inst. Geol. 137, 1958.
4. Dąbrowski A., Majorowicz J. — Rozkład głębokościowy temperatury Curie i jego wpływ na pole magnetyczne w Polsce. Kwart. Geol. 1977 nr 4.
5. Grobelny A. — Budowa geologiczna niecki warszawskiej — grawimetria. Arch. IG 1978.
6. Kozera A. — Próby powiązania wyników badań geofizycznych z ogólną budową geologiczną wzdłuż profilu Płońsk—Krośniewice—Kalisz i Niedzica—Lipno. Geof. i Geol. naft. 1967 nr 3.
7. Marek S. i in. — Wyniki regionalnych badań geologicznych i geofizycznych obszaru Polski Centralnej wykonanych przez Instytut Geologiczny w latach 1970—75. Arch. IG 1975.
8. Marek S. i in. — Budowa geologiczna wschodniej części niecki mogileńsko-łódzkiej (strefa Gopło—Pońętów—Pabianice). Pr. Inst. Geol. 1977 t. 80.
9. Młynarski S. i in. — Interpretacja geofizyczno-geologiczna wyników badań wzdłuż profilów regionalnych. Biul. Inst. Geol. 1979 nr 314.
10. Pożaryski W., Tomczyk H., Brochwicz-Lewiński W. — Tektonika paleozoiku podpermickiego obszaru warszawskiego. Pr. geol. 1980 nr 2.
11. Skorupa J. — Mapa i objaśnienia do mapy sejsmicznej Polski. Wyd. Geol. 1974.
12. Skorupa J., Dziewińska L. — Kompleksowa interpretacja wyników badań geofizycznych dla strefy Gopło—Pabianice ze szczególnym uwzględnieniem utworów cechsztynu i podłoża. Kwart. Geol. 1976 nr 1.
13. Wojas A. — Reinterpretacja materiałów refrakcyjnych z rejonu Polski Centralnej. Arch. PBG 1979.
14. Zagórski J. — Szkic elementów strukturalnych w utworach karbonu w synklinorium warszawskim. Arch. Z.G.N. i G. 1977.

SUMMARY

The results of surface geophysical surveys are characterized with reference to the available information on geological structure of the Warsaw Basin. Moreover,

the methodological possibilities of more complete interpretation of data obtained with the use of individual methods are outlined. The structural character of the Warsaw Basin area is mainly revealed by reflection seismics. Seismic surveys showed general south-westward dip of sub-salinary basement, the accompanying increase in thickness of Zechstein-Jurassic series as well as presence of several structural forms. The area of the Warsaw Basin is characterized by marked predominance of anticlinal structures. The structures are arranged in elongate structural lines, parallel to the basin axis and, therefore, to the margin of the East-European Precambrian Platform. Some of these structures are related to salt tectonics. Anticlines and anticlinal bends are usually situated in the proximity of dislocation zones. The recorded correlations in arrangement of structures evidence genetic relations between the structures and faults in the sub-salinary and deeper-seated horizons. Major dislocations are set parallel to axis of structural lines and, thus, to the Platform margin. Dislocations are usually more common and intense in lower parts of the Zechstein-Mesozoic complex than in the upper. The characteristic structural elements of this area include, besides dislocations, tectonic troughs. Faults of regional nature were also found.

The analysis of seismic data showed marked bipartity of the Warsaw Basin. The boundary of its south-western part (marginal zone of salt tectonics) and the north-eastern (zone of block tectonics) is of the fault type. Below the boundary Z_1 , the seismic profiles do not display any dynamic reflections which could give information on structure of deeper-seated strata.

Gravimetric image of the Warsaw Basin is genetically highly complex. The major sources of gravity anomalies include: petrographic differentiation of crystalline basement, elements of its morphology and the shape of various complex boundaries of density contrasts in sedimentary series (effect of compensation for salt structures). The review of available geophysical data showed that the origin of the recorded gravity anomalies cannot be analysed for the whole area of the Warsaw Basin. The area should be divided into the platform (Precambrian) part and that situated south-west of the platform margin. It should be noted that the presented interpretation of the magnetic and gravimetric images of the contact zone of the platforms fully agrees with the model of consolidated basement, established on the basis of refraction data.

The paper presents preliminary results of complex qualitative interpretation of geophysical maps. The interpretation made it possible to trace and explain main relationships between geological structure and the recorded geophysical phenomena.

On the basis of geophysical data, several methodological conclusions may be also drawn. Further geophysical surveys should be aimed at further development in methods of studies, especially reflection studies. Refraction profiling may be carried out in order to recognize morphology and tectonics of deep-seated consolidated basement. The aims of further use of gravity and magnetic methods should not be connected with providing continuity of measurements but rather interpretation of the available data, combined with correlation with seismic data.

РЕЗЮМЕ

В статье проведена характеристика результатов исследований в области поверхностной геофизики с