

UKD 550.834.5:552.08:551.736.3]:539.32:539.89+537.312.6+531.755.1+539.217.1(438)

Tadeusz KRYNICKI

Własności sprężyste utworów cechsztyńskich

Omówiono własności sprężyste skał cechsztyńskich, ze szczególnym zwróceniem uwagi na prędkości rozchodzenia się fal. Stwierdzono, że sole i anhydryty odznaczają się małą zmiennością prędkości, niezależnie od głębokości ich występowania. Omówiono wyniki pomiarów prędkości na próbkach skał, w tym także znajdujących się w warunkach podwyższonego ciśnienia i temperatury. Ponadto dokonano próby uchwycenia związków między prędkością a ciężarem objętościowym i porowatością.

WSTĘP

W rozpoznaniu budowy geologicznej skał cechsztyńskich dużą pomoc okazują badania geofizyczne, szczególnie zaś sejsmiczna metoda refleksyjna. Jednocześnie na efektywność metody refleksyjnej w sposób istotny rzutuje znajomość własności sprężystych skał. Rejestrowany obraz falowy jest odzwierciedleniem istniejącego stanu fizycznego ośrodka. Dlatego też na podstawie charakteru zapisu fal można wnioskować o budowie geologicznej i zmianach litologiczno-facjalnych zachodzących w ośrodku skalnym.

W zależności od pochodzenia, rozwoju procesów geologicznych i głębokości występowania skały charakteryzują się określonymi wartościami i określonym rozkładem własności sprężystych. Powstałym w podobnych warunkach jednorodnym skałom odpowiada zbliżony rozkład własności fizycznych, w tym także i sprężystych. Przestrzenny rozkład tych własności jest więc odzwierciedleniem procesów kształtowania się skał. Jednakże ważna jest nie tylko znajomość ich własności fizycznych, ale i związków między nimi.

Ze względu na dużą przydatność badań sejsmicznych w rozpoznawaniu budowy geologicznej kompleksu cechsztyńskiego, omówiono własności sprężyste oraz rozpatrzono zależności między prędkością przebiegu fal a innymi parametrami fizycznymi w takim zakresie i objętości w jakim było to możliwe z uwagi na liczbę i reprezentatywność wykonanych pomiarów.

WŁASNOŚCI SPRĘŻYSTE SKAŁ

Własności sprężyste skał charakteryzuje moduł Younga, współczynnik Poissona, prędkość rozchodzenia się fal i oporność akustyczna. Z punktu widzenia praktycz-

nego zastosowania sejsmiki w badaniach utworów cechsztyńskich istotne znaczenie mają dwa ostatnie parametry, w związku z czym na nie zwrócona zostanie uwaga.

Analizę prędkości rozchodzenia się fal sejsmicznych w skałach, w tym również znajdujących się w warunkach wysokich ciśnień i temperatur, zajmowało się wielu geofizyków (G.S. Pietkiewicz, 1963; Z. Śliwiński, 1965; L.E. Filsztyński, 1969; K.I. Bagrincewa, 1971; M.P. Wołarowicz i in., 1975; M.P. Wołarowicz, E.I. Bajuk, 1977 i in.). Dokonano analiz prędkości w zależności od wieku, głębokości występowania oraz składu mineralnego skał. Na wartość prędkości wpływa cały szereg czynników, przy czym do najważniejszych zaliczyć można wykształcenie litologiczne, głębokość występowania skał, porowatość oraz rodzaj medium wypełniającego pory.

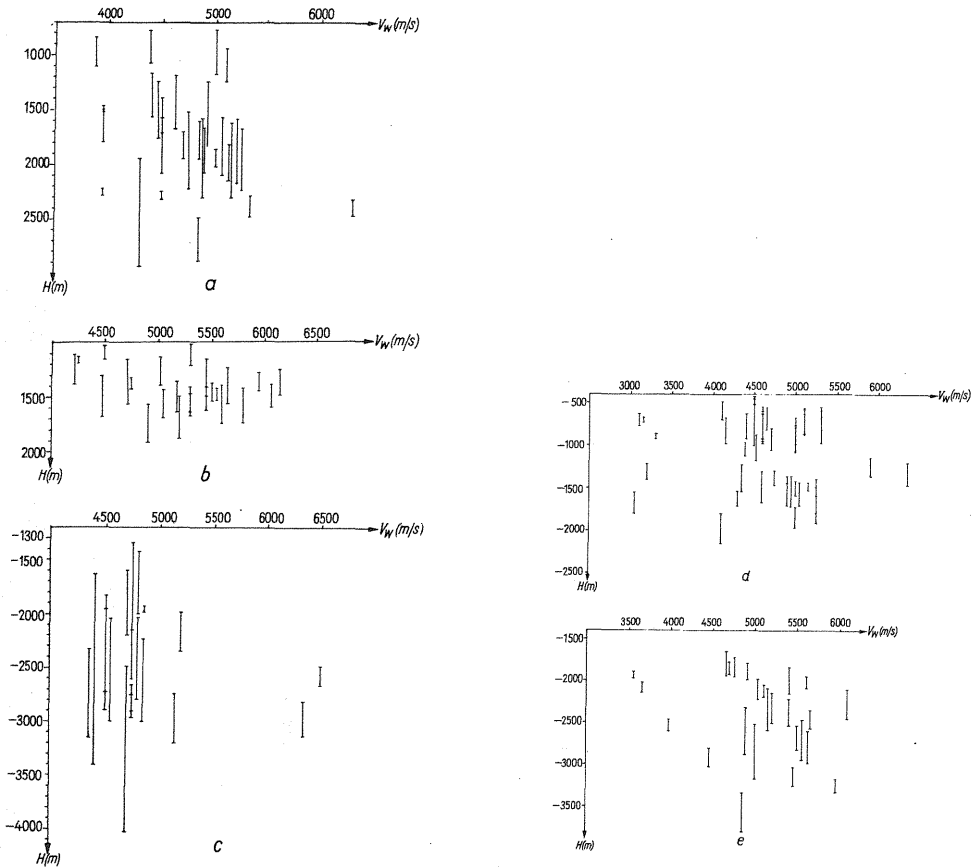


Fig. 1. Zestawienie zależności prędkości warstwowych cechsztynu od głębokości

Dependence of layer velocities of the Zechstein on depth

a – monoklina przedsudecka – część północna; b – monoklina przedsudecka – część południowa; c – niecka szczecińsko-lódzka; d – synekliza perybaltycka; e – niecka pomorsko-warszawska

a – Fore-Sudetic Monocline, northern part; b – Fore-Sudetic Monocline, southern part; c – Szczecin-Lódź Basin; d – Peribaltic Syncline; e – Pomeranian-Warsaw Basin

Prędkości warstwowe kompleksu cechsztyńskiego oblicza się na podstawie hodografów pionowych, przy czym błąd w określaniu ich tą metodą jest nie większy niż 6% (Z. Śliwiński, 1965), pomiarów akustycznych oraz, dotychczas w niewielkim zakresie, pomiarów na próbkach skał.

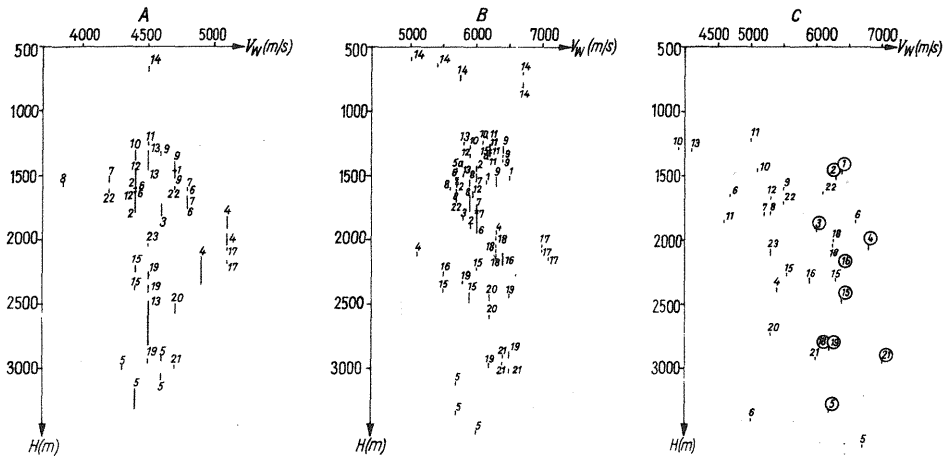


Fig. 2. Zestawienie prędkości warstwowych uzyskanych na podstawie pomiarów akustycznych
Summary of layer velocities obtained from acoustic measurements

A – sole; B – anhydryty; C: 6 – wapienie. ① – dolomity; otwory wiertnicze: 1 – Tarchały 4; 2 – Tarchały 5, 3 – Głuszyca 1, 4 – Pomorsko 5, 5 – Środa IG 3, 5a – Dretyń, 6 – Gładysz, 7 – Henrykowo 1, 8 – Henrykowo 5, 9 – Krynica Morska IG 1, 10 – Licki 1, 11 – Sępól 2, 12 – Żelazna Góra, 13 – Basze 1, 14 – Żarnowiec IG 1, 15 – Nicponie, 15a – Trzebielino, 16 – Gozd 2, 17 – Karszna 2, 18 – Koczała 1, 19 – Świnoujście 1, 20 – Dębe 5, 21 – Gradzanowo 2, 22 – Dobre Miasto, 23 – Dębe Wielkie
1 – salts; B – anhydrite; C: 6 – limestones. ① – dolomites; 1–23 – boreholes

Dla zobrazowania rozkładu prędkości warstwowych utworów cechsztyńskich zestawiono je oddzielnie dla poszczególnych jednostek geologicznych, w których cechsztyń występuje na głębokościach od 500 do ok. 4000 m. Liczba pomiarów prędkości dla utworów z głębokości poniżej 3000 m jest nieduża, co rzutuje na stopień rozpoznania prędkościowego. Obraz rozkładu prędkości warstwowych przedstawiono na wykresach (fig. 1) w układzie prędkość (m/s) – głębokość (m), z których wynika, że parametr ten dla utworów cechsztyńskich najczęściej wynosi 4400–5600 m/s, przy czym zależność wzrostu prędkości od głębokości jest mała i raczej trudna do uchwycenia, z wyjątkiem obszaru niecki pomorsko-warszawskiej (fig. 1e). Czynnikiem decydującym o prędkości w skałach cechsztyńskich jest zatem litologia. Przemawiają za tym również wykresy prędkości (fig. 2) obliczonych z pomiarów akustycznych odrębnie dla soli, anhydrytów oraz wapieni i dolomitów, sporządzone dla całego basenu cechsztyńskiego. Prędkość rozchodzenia się fal w soli najczęściej wynosi 4400–4800 m/s, w anhydrytach – 5700–6400 m/s, natomiast w dolomitach i wapieniach charakteryzuje się większym rozrzutem wartości, chociaż przeważnie mieści się w przedziale 5300–6300 m/s. Materiałów dotyczących prędkości przebiegu fal w dolomitach i wapieniach jest jeszcze niedużo, dlatego też trudno wysuwać daleko idące wnioski. Można jednak sądzić, że zasadniczy wpływ na prędkość ma porowatość.

Dla zobrazowania czystotliwości występowania poszczególnych wartości prędkości warstwowych skał cechsztyńskich opracowano histogramy na podstawie pomiarów akustycznych. Zestawienia danych dokonano dla całego obszaru występowania cechsztyń w Polsce, oddzielnie dla soli, anhydrytów, wapieni i dolomitów (fig. 3). Histogramy sporządzono w ten sposób, że na osi rzędnych umieszczono ilość metrów, dla których wykonano pomiary i procentowy udział wartości prędkości, na osi odciętych zaś wartości prędkości. Z zestawień wynika, iż pewne wartości dominują, zwłaszcza na wykresie dotyczącym soli.

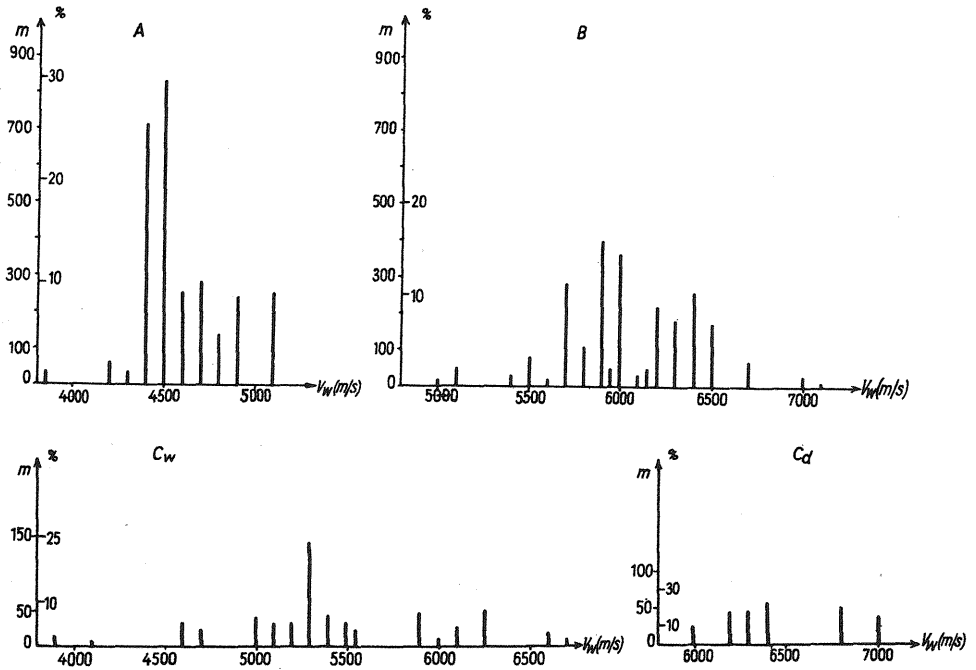


Fig. 3. Histogramy prędkości warstwowych uzyskanych podczas pomiarów akustycznych w otworach położonych w obszarze polskiego basenu cechsztyńskiego

Histograms of layer velocities obtained in the course of acoustic measurements in boreholes in the area of the Polish Zechstein Basin

A - sole; B - anhydryty; C_w - wapienie; C_d - dolomity

A - salts; B - anhydrites; C_w - limestones; C_d - dolomites

Omawiając prędkości rozchodzenia się fal sprężystych w utworach cechsztyńskich uzasadnione jest nawiązać do wyników pomiarów dokonanych na próbkach skał w warunkach laboratoryjnych, w tym także i w komorze wysokich ciśnień typu *ISU-1*. Pomiarów takich, zwłaszcza przy wysokich ciśnieniach, wykonano stosunkowo niewiele, stąd też wartości omawianego parametru nie mogą być uważane w pełni za reprezentatywne.

Pomiary przeprowadzono na próbkach skał pobranych z rdzenia otworu Sława IG 1 (S-IG-1) usytuowanego na monoklinie przedsudeckiej. Pomiary wykonano z zastosowaniem dwóch zestawów aparatury: sejsmoskopu¹, pozwalającego uzyskiwać wyniki z dokładnością do 5%, oraz tzw. komory wysokich ciśnień² typu *ISU-1* produkcji ZSRR, umożliwiającej osiągnięcie dokładności do 1%. Podczas pomiarów sejsmoskopem temperatura otoczenia, a tym samym i próbek, wynosiła ok. 20°C, ciśnienie zaś równe było ciśnieniu atmosferycznemu. Czas przebiegu fali podłużnej w próbkach mierzono w kierunku prostopadłym do uwarstwienia i w dwóch kierunkach równoległych do uwarstwienia. Dla zorientowania się

¹ Pomiary wykonał mgr M. Fuliński.

² Pomiary wykonał mgr J. Borzęcki.

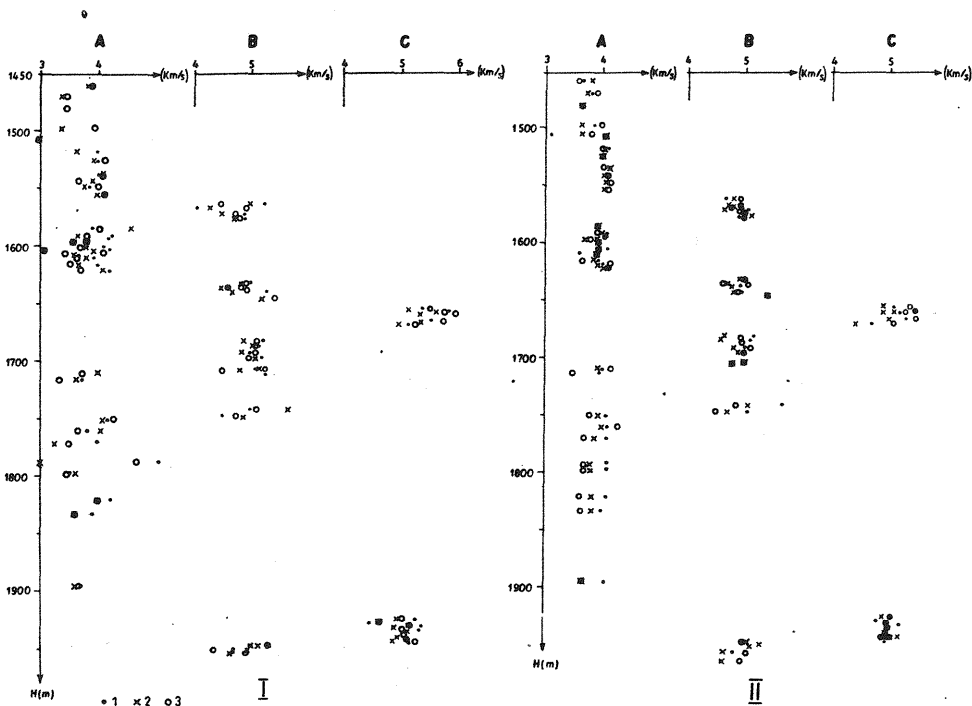


Fig. 4. Zestawienie wartości prędkości pomierzonych na próbkach skał w kierunkach: I – prostopadłym i II – równoległym do uwarstwienia
Summary of velocity values measured on rock samples in directions: I – perpendicular. II – parallel to the bedding

A – sole; B – anhydryty; C – wapienie i dolomity; 1–3 – pomiary wykonane w warunkach ciśnienia atmosferycznego; 1 – wkrótce po wydobyciu rdzenia z otworu, 2 – po upływie 6 miesięcy, 3 – po upływie 12 miesięcy
A – salts; B – anhydrites; C – limestones and dolomites; 1–3 – measurements taken under conditions of atmospheric pressure: 1 – soon after taking core to the surface, 2 – after 6 months, 3 – after 12 months

czy i w jakim stopniu prędkość przebiegu fal zależy od zmian mogących zachodzić w próbkach przechowywanych w składach rdzenia, pomiary wykonano trzykrotnie: wkrótce po wydobyciu rdzenia z otworu, po upływie 6 miesięcy oraz po upływie 12 miesięcy. Wartości prędkości zestawiono na wykresach oddzielnie dla soli, anhydrytów i dolomitów (fig. 4). Z porównania wykresów wynika, że prędkości pomierzone prostopadle do uwarstwienia mają duży rozrzut i to dla każdego rodzaju skały. Trudno jest jednak uchwycić różnice między wartościami prędkości pomierzonymi wkrótce po wydobyciu rdzenia z otworu, po upływie 6 miesięcy i po upływie 12 miesięcy. Szczególnie są one nieuchwytnie dla dwóch ostatnich przypadków. Prędkości pomierzone na próbkach, których okres składowania był najkrótszy, gdyż zaledwie kilkunastodniowy, generalnie są największe. Szczególnie dobrze to jest widoczne w pomiarach przeprowadzonych równolegle do uwarstwienia (fig. 4 II). Dla tego kierunku pomiarów charakterystyczne są ponadto nieco większe wartości prędkości i mniejszy rozrzut. Różnice między wartościami prędkości w zależności od kierunku pomiaru tych samych próbek stwierdza wielu badaczy (W.N. Kobranowa, 1962; N.B. Dortman, 1976; M.W. Niewski i in., 1976).

Omawiane utwory są w miarę jednorodne, zwłaszcza dotyczy to soli i anhydrytu. Dlatego też różnice prędkości warstwowych trudno byłoby tłumaczyć inaczej jak

tylko szczelinowatością skał. Na tej podstawie można wnioskować, że kierunek większości szczelin jest równoległy do uwarstwienia.

O tym, że szczelinowatość ma decydujący wpływ na prędkości świadczą wyniki pomiarów, jak dotychczas nielicznie, przeprowadzonych w Polsce z zastosowaniem wysokich ciśnień oraz dane zamieszczone w pracach E.M. Czesnokowa (1973), A.K. Urupowa, J.A. Muszina (1972), N.B. Dortmana (1976), M.P. Wołarowicza i in. (1975) oraz M.P. Wołarowicza, E.I. Bajuka (1977).

Do pomiarów prędkości fal podłużnych wykonanych w warunkach wysokich ciśnień i podwyższonej temperatury wybrano dwie próbki anhydrytu (nr 1 i 2) z rdzenia otworu S-IG-1 z głębokości 1695 m. Na tych samych próbkach przeprowadzono wcześniej trzykrotnie pomiary prędkości za pomocą petroskopu w warunkach ciśnienia atmosferycznego (fig. 4), a ponadto pomiary w tych samych warunkach, ale przy zastosowaniu aparatury *ISU-1*. Przed przystąpieniem do pomiaru aparaturą *ISU-1* próbki o kształcie walca oraz średnicy i wysokości 3 cm nasycono roztworem NaCl. Dla każdej próbki, znajdującej się w warunkach ciśnienia atmosferycznego i temperatury pokojowej, mierzono czas przebiegu fali sprężystej prostopadle do uwarstwienia w pięciu punktach (fig. 5) oraz równoległe do uwarstwienia w dwóch punktach. Średnia prędkość pomiarów wykonanych prostopadle do uwarstwienia dla próbki nr 1 wynosi 5660 m/s i dla próbki nr 2 – 5620 m/s. Ponowny pomiar prędkości na próbce nr 2 po upływie jednej doby wykazał zbieżność średniej prędkości (różnica zaledwie 10 m/s). Również średnia prędkość pomierzona w kierunku zgodnym z uwarstwieniem próbek jest zbliżona, bo dla próbki nr 1 wynosi ona 5580 m/s, zaś dla próbki nr 2 – 5500 m/s.

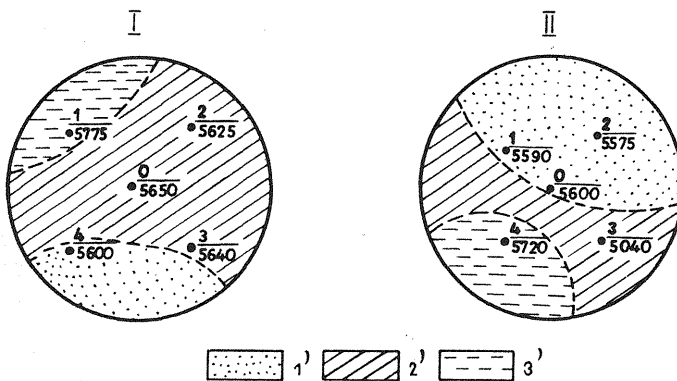


Fig. 5. Rozkład wartości prędkości przebiegu fal podłużnych pomierzonych na próbkach anhydrytu prostopadle do uwarstwienia

Distribution of values of propagation of longitudinal waves, measured on anhydrite samples in direction perpendicular to the bedding

I – próbka nr 1; II – próbka nr 2; 0–4 – punkty pomiarów prędkości; 1'–3' – strefy charakteryzujące się prędkościami: 1' – do 5600 m/s, 2' – 5610–5700 m/s, 3' – powyżej 5710 m/s

I – sample no. 1; II – sample no. 2; 0–4 – velocity measurement points; 1'–3' – zones characterized by velocities: 1' – up to 5600 m/s, 2' – 5610–5700 m/s, 3' – over 5710 m/s

Z przytoczonych danych wynika, że próbki są jednorodnie akustycznie, a współczynnik anizotropii charakteryzuje się bardzo małą wartością. Należy sądzić, że na fakt ten wpłynęło nasycenie próbek roztworem solnym i wyparcie powietrza ze szczelin. W nawiązaniu do tych wyników wydaje się, że dzięki dokładnym pomiarom prędkości można określić wzajemną orientację próbek, a tym samym i rdzenia, bowiem prędkość pomierzona w punkcie 1 próbki nr 2 odpowiada pręd-

kości w punkcie 4 próbki nr 2. Punkty te przed podziałem rdzenia na dwie próbki przylegały do siebie. Ponadto ułożenie stref o określonych prędkościach jest podobne dla obydwu próbek. Należy sądzić, że znajomość prędkości oraz powierzchniowy, a co więcej przestrzenny ich rozkład mogą okazać się bardzo pomocne i przydatne przy ustaleniu nie tylko składu mineralnego lub rozmieszczenia poszczególnych minerałów, ale i położenia szczelin, a tym samym i przebiegu procesów geologicznych.

Z wyżej przytoczonych materiałów oraz danych z literatury (M.P. Wołarowicz, E.I. Bajuk, 1977; N.B. Dortman, 1976; T.S. Lebediew i in., 1977) wynika, że prędkość przebiegu fal sprężystych w dużej mierze zależy od porowatości, której swoistą formą może być szczelinowatość czy też mikroszczelinowatość. Potwierdzają to dane uzyskane podczas pomiarów prędkości w warunkach podwyższonego ciśnienia. Pomiary takie przeprowadzono na wspomnianych próbkach przy użyciu aparatury *ISU-1*³, która umożliwia poddawanie próbek skał ciśnieniu i temperaturze istniejącym na głębokości 6–7 km. Komora, będąca zasadniczą częścią wspomnianej aparatury, jest tak skonstruowana, że na próbki skał można oddziaływać ciśnieniem zewnętrznym przy jednoczesnej regulacji ich ciśnienia wewnętrznego, jak gdyby przeciwdziałającego temu pierwszemu.

Wpływ ciśnienia zewnętrznego na prędkość przebiegu fali podłużnej badano za pomocą aparatury *ISU-1* w warunkach stałej temperatury równej ok. 20°C (fig. 6 – krzywa 1, 2). Pomiary wykonano tylko w jednym środkowym punkcie w kierunku prostopadłym do uwarstwienia, a okres przetrzymywania próbek w warunkach określonego ciśnienia zewnętrznego wynosił ok. 5 min. Można zauważyć, że charakter zmian prędkości w obydwu próbkach jest nieco inny, zwłaszcza w zakresie niskich ciśnień. Pomijając dokładność pomiarów, która wynosi 1‰, wydaje się, że na charakter tych zmian mogła wpłynąć mikroszczelinowatość. W pewnym stopniu potwierdzają to wyniki pomiarów uzyskane w warunkach ciśnienia atmosferycznego (fig. 5). Prędkość przebiegu fali w punkcie 0 próbki nr 2 jest nieco mniejsza niż prędkość pomierzona w punkcie 0 próbki nr 1.

Wpływ ciśnienia wewnętrznego na prędkość fali podłużnej określono przy zachowaniu stałego ciśnienia efektywnego, które wynosi 2,5 MPa. Pod ciśnieniem efektywnym należy rozumieć różnicę między ciśnieniem zewnętrznym oddziaływającym na próbkę a ciśnieniem wewnętrznym wytwarzanym w próbce. W temperaturze pokojowej, równej ok. 20°C, podnoszono wartość ciśnienia wewnętrznego od 0 do 18 MPa, zachowując stałe ciśnienie efektywne, tzn. zwiększając ciśnienie zewnętrzne od wartości wyjściowej równej 2,5 MPa do 20,5 MPa. Uzyskane wyniki wskazują, że w obu badanych próbkach nastąpił wzrost prędkości fali podłużnej, przy czym w próbce nr 1 od 5720 do 5850 m/s, w próbce nr 2 zaś od 5630 do 5860 m/s. Ponieważ stan naprężeń w próbkach nie uległ zmianom, gdyż ciśnienie efektywne było stałe, dlatego też wzrost prędkości należy tłumaczyć zwiększeniem stopnia nasycenia próbek pod wpływem wzrastającego ciśnienia wewnętrznego, powodującego także zmniejszenie się objętości resztek substancji gazowych zawartych w porach próbek bądź w płynie je nasycającym, wskutek różnej ściśliwości gazów i płynu nasycającego.

Wpływ ciśnienia efektywnego na prędkość fali podłużnej określano na próbkach skał ogrzanych do temperatury 65°C, a następnie poddanych działaniu tego ciśnienia od 2,5 do 20 MPa. W przypadku próbki nr 1 pomiary wykonywano w cyklu obciążania i odciążania, tj. zwiększania i obniżania ciśnienia efektywnego, natomiast w przypadku próbki nr 2 tylko przy wzrastającym ciśnieniu efektywnym. Górna granica zastosowanego ciśnienia efektywnego dla obydwu próbek zbli-

³ Aparatura ta znajduje się w Przedsiębiorstwie Badań Geofizycznych.

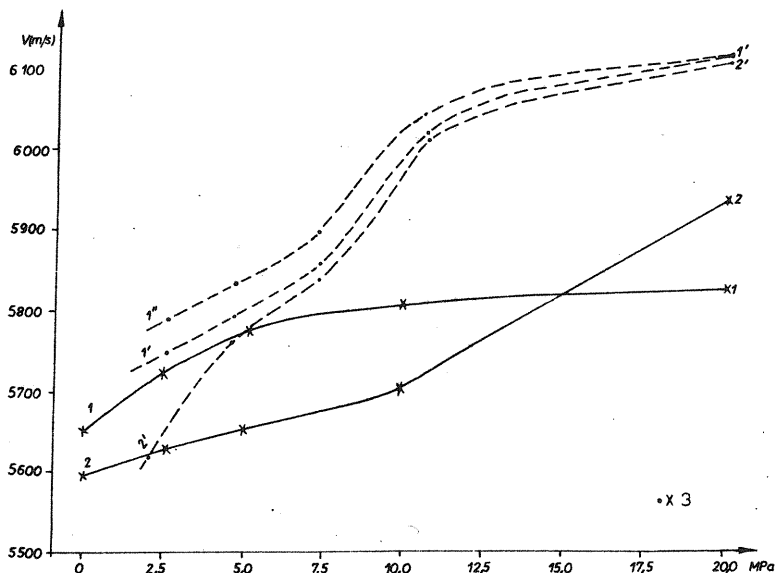


Fig. 6. Wykresy zmian prędkości w zależności od stosowanego ciśnienia
Changes in velocity in dependence on the applied pressure

1, 2 – krzywe zmian prędkości w wyniku zwiększenia ciśnienia zewnętrznego: 1 – dla próbki nr 1, 2 – dla próbki nr 2; 1', 2' – krzywe zmian prędkości wskutek wzrostu ciśnienia efektywnego; 1'' – krzywa zmian prędkości przy odciażaniu próbki; 3 – pomierzone wartości prędkości

1, 2 – curves of changes in velocity in result of increase in external pressure: for sample no 1 (1) and sample no. 2 (2); 1', 2' – curves of changes in velocity in result of increase in effective pressure; 1'' – curve of changes in velocity related to removal of pressure; 3 – measured velocity values

zona była do ciśnienia panującego na głębokości, z której pobrano rdzeń. Z porównania wykresów (fig. 6) wynika, że wzrost prędkości zależnie od ciśnienia efektywnego dla obydwu próbek jest bardzo podobny, zwłaszcza dla ciśnień powyżej 4,0 MPa, i raczej nierównomierny, tj. większy w początkowej fazie zwiększania ciśnienia (do 10 MPa). Również krzywe prędkości uzyskanych podczas obciążania i odciażania próbki nr 1 są zbliżone, a niewielkie różnice tłumaczyć można nieco wolniejszym przebiegiem procesu rozluźnienia skały w przypadku zmniejszenia ciśnienia.

Wpływ temperatury na prędkość fali podłużnej. Zestaw aparatury *ISU-1* pozwala na dokonywanie pomiarów czasu przebiegu fali sprężystej przy ogrzewaniu próbek skał do temperatury 180°C. Dla określenia zmian prędkości od temperatury próbki uwzględniono następujące parametry: ciśnienie wewnętrzne – 18,0 MPa, efektywne – 2,5 MPa i temperatura próbek – 65°C. Próbkę nr 1 ogrzewano przez 1 godz., zaś próbkę nr 2 przez 2 godziny. Pod wpływem wzrostu temperatury od 20 do 65°C w próbce nr 1 prędkość fali podłużnej zmalała od 5850 do 5740 m/s, zaś w próbce nr 2 od 5860 do 5680 m/s po 1 godzinie i do 5640 m/s po 2 godzinach. Z przytoczonych danych wynika, iż próbki zachowują się odmiennie pod wpływem temperatury. Wydaje się, że stan fizyczny próbki nr 2 ulega większym zmianom z powodu mniejszego nasycenia, gdyż okres nasycenia był o połowę krótszy.

Prędkości w wybranych próbkach anhydrytu, obliczone na podstawie czasów przebiegu fali sprężystej, zmieniają się w zależności od warunków, w jakich znaj-

dują się próbki podczas pomiarów. W przypadku, gdy próbki poddawane były działaniu ciśnienia od 0,1 do 20 MPa i temperatury od pokojowej do 65°C (wartości tych parametrów zbliżone do panujących na głębokości, z której pobrano rdzeń) prędkość w próbce nr 1 wzrosła od 5650 do 6130 m/s, czyli o 480 m/s, i w próbce nr 2 od 5600 do 6170 m/s, czyli o 570 m/s. Ponieważ różne skały reagują odmiennie na zmiany ciśnienia i temperatury, a w rozpatrywanym przypadku utwory nawet podobne pod względem litologicznym wykazują nieco inną zależność prędkości od wymienionych parametrów, przy określaniu fizycznych własności skał należy uwzględniać warunki w jakich dokonywano pomiarów.

Oprócz omówionych wyników uzyskanych w warunkach zbliżonych do występujących na głębokościach, z których pobrano próbki skał, zainteresowanie mogą budzić także wyniki pomiarów przeprowadzonych przy zastosowaniu ciśnień i temperatur o większych wartościach, tj. powyżej 20 MPa i 65°C. Wykres przedstawiony na fig. 7 wskazuje, że pod wpływem wzrostu ciśnienia zewnętrznego oraz przy zachowaniu stałej temperatury – 20°C i stałego ciśnienia wewnętrznego – 1 MPa prędkość fali podłużnej zwiększa się, przy czym wzrost ten jest szczególnie intensywny w przedziale ciśnień od wartości zbliżonych do występujących na głębokości pobrania próbki do ok. 40 MPa. Po przekroczeniu ciśnienia 40 MPa krzywa zmian prędkości wzrasta nieznacznie, lecz zmiany te mieszczą się w zasadzie w granicach dokładności pomiarów stosowanej aparatury.

Pomiary zależności prędkości od temperatury wykonano przy stałych obciążeniach próbek, ciśnieniu zewnętrznym 5 MPa oraz ciśnieniu wewnętrznym 1 MPa. W próbce nr 2 wraz ze wzrostem temperatury od pokojowej do 165°C prędkość zmalała od 5650 do 5410 m/s, natomiast w próbce nr 1 przy zmianie temperatury od 20 do 135°C nastąpił spadek prędkości od 5980 do 5690 m/s (fig. 8). Wynika stąd, że wzrost temperatury próbek anhydrytu o 1°C powoduje obniżenie prędkości o ok. 2–3 m/s.

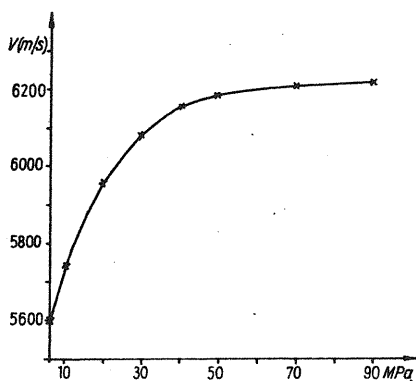


Fig. 7. Wzrost prędkości w anhydrycie w wyniku zwiększenia ciśnienia zewnętrznego
Velocity increase in anhydrite in result of increase of external pressure

Omawiając prędkości warstwowe kompleksu cechsztyńskiego, warto zatrzymać się nad ich rozkładem powierzchniowym. Oczywiście jest, że dla sporządzenia dokładnych map niezbędna jest odpowiednia liczba danych. W przypadku utworów cechsztyńskich danych tych jest zaledwie kilkaset, przy czym nie wszystkie są wystarczająco pewne, głównie z uwagi na stosowany sprzęt i metodykę pomiarów.

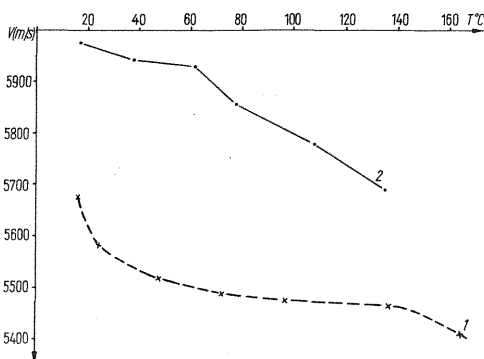


Fig. 8. Wykresy zmian prędkości w zależności od temperatury
 Graphs of changes in velocity in dependence on temperature
 1, 2 – numery próbek; 3 – pomierzone wartości prędkości
 1, 2 – sample numbers; 3 – measured velocity values

Mimo to, sporządzenie nawet szkicu rozkładu prędkości (fig. 9) wydaje się uzasadnione i może okazać się pomocne w badaniach sejsmicznych. Przy opracowywaniu szkicu nie brano pod uwagę wartości prędkości z pojedynczych otworów, jeżeli różniły się one istotnie od danych z sąsiednich otworów, zakładając że mogą być obciążone błędami przypadkowymi. Jednocześnie w przypadku występowania w otworze kilku warstw o miąższości 150–200 m i różnych prędkościach przyjmowano prędkości uśrednione, zaś cieńszych warstw nie uwzględniono. Uproszczenia te były niezbędne, głównie z powodu niezbyt dużej liczby danych.

Można wyodrębnić kilka stref charakteryzujących się określonymi prędkościami warstwowymi w cechszynie, przebiegających ogólnie zgodnie z granicami jednostek geologicznych. Najbardziej urozmaicony obraz rozkładu prędkości kompleksu cechsztyńskiego dotyczy południowej części monokliny przedsudeckiej oraz Polski północno-wschodniej, co jest spowodowane zróżnicowaniem wykształcenia litologicznego cechsztynu, głównie zaś udziałem soli i anhydrytów, czyli utworów znacznie różniących się prędkościami. Czynnikiem głębokości nie ma tu większego znaczenia, gdyż prędkości w anhydrytach i solach nie wykazują istotniejszych zmian z głębokością, a ponadto cechsztywn w wymienionych rejonach występuje na podobnych głębokościach. Dużą rozpiętość wartości prędkości dochodząca do 1000 m/s należy odnotować również na obszarze wału pomorsko-kujawskiego, co można tłumaczyć znacznym zróżnicowaniem litologicznym. Natomiast na stosunkowo rozległym obszarze obejmującym część monokliny przedsudeckiej, nieckę szczecińsko-lódzką, częściowo skłon platformy i obniżenie podlaskie prędkości w utworach cechsztynu są zbliżone i wynoszą 4500–4900 m/s. Rejony, w których nie przekraczają one 4000 m/s, są niewielkie. Udział skał chemicznych w profilu litologicznym w tych rejonach jest nieduży. Czynnikiem decydującym o prędkościach w kompleksie cechsztyńskim, w którym przeważają skały chemiczne, jest zatem przede wszystkim litologia skał. Podobne spostrzeżenia, w tym również dla skał innego wieku, poczynili W.N. Kobranowa (1962), M.P. Wołarowicz, E.I. Bajuk (1977), N.B. Dortman (1976), analizując

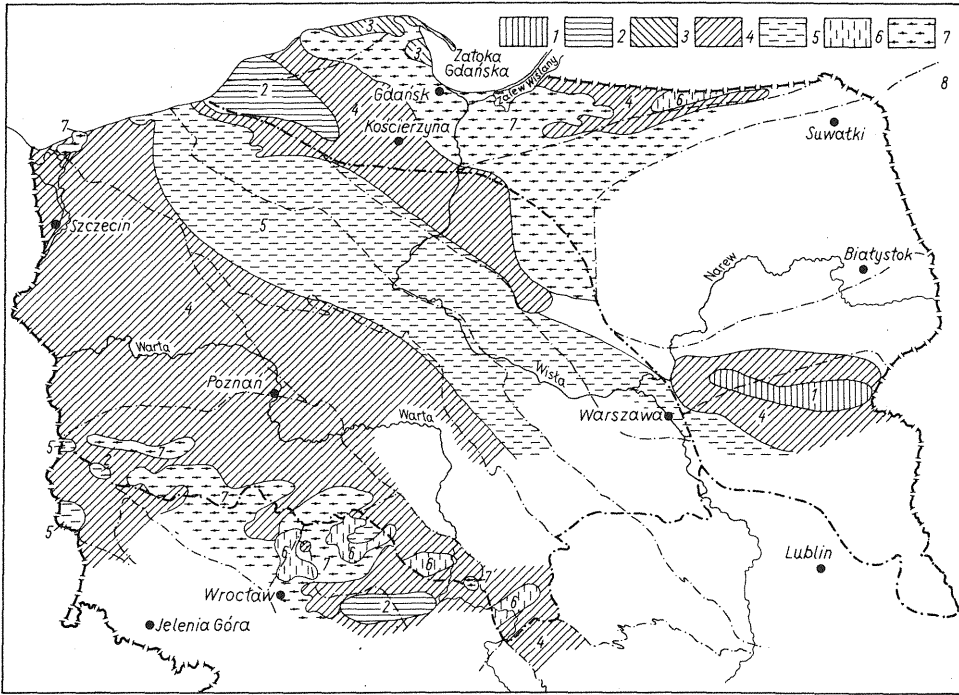


Fig. 9. Szkic rozkładu prędkości warstwowych w utworach cechsztyńskich

Distribution of layer velocities in Zechstein rocks

Najczęściej występujące wartości prędkości w m/s: 1 – 2450–3300, 2 – 3310–3950, 3 – 4100–4500, 4 – 4510–4900, 5 – 5310–6000, 6 – 6300–6500, 7 – 5000–5300; 8 – granice jednostek geologicznych

Most common velocity values in m/s: 1 – 2450–3300, 2 – 3310–3950, 3 – 4100–4500, 4 – 4510–4900, 5 – 5310–6000, 6 – 6300–6500, 7 – 5000–5300; 8 – boundaries of geological units

prędkości w utworach związanych, a przede wszystkim w anhydrytach, gipsach i solach.

Istotnym parametrem charakteryzującym skały i ściśle związanym z własnościami sprężystymi jest oporność akustyczna, będąca iloczynem prędkości i gęstości lub prędkości i ciężaru objętościowego w danej warstwie (tab. 1). Ma ona bez-

Tabela 1

Przedział zmienności prędkości, ciężaru objętościowego i oporności akustycznej w utworach cechsztyńskich

Rodzaj skały	Prędkość km/s	Ciężar objętościowy $\cdot 10^3$ kG/m ³	Oporność akustyczna ($V\delta$) $\cdot 10^8$ Pa s/m
Sole	4,2–5,1	2,05–2,20	8,6–11,2
Anhydryty	5,5–6,5	2,8–2,95	15,4–19,2
Dolomity	6,3–6,8	2,3–2,85	14,4–19,4
Wapienie	5,0–6,4	2,0–2,70	10,0–17,2
Iły	3,3–3,8	2,5	8,2–9,5

pośredni związek z intensywnością rejestrowanych fal sejsmicznych, a znajomość jej ułatwia analizę cech dynamicznych obrazu falowego.

Omawiając własności sprężyste skał cechsztynu należy nawiązać do prędkości granicznych. Prace wykonane metodą refrakcyjną w dużej mierze na monoklinie przedsudeckiej pozwoliły na stwierdzenie, że prędkości graniczne wynoszą tam od 4850 do 5000 m/s. Zbliżone wartości prędkości granicznych (5000–5800 m/s) uzyskiwano na Pomorzu Zachodnim, jak również w innych jednostkach geologicznych Polski. Przyporządkowanie stratygraficzne prześlędzonych granic nie zawsze jest wystarczająco pewne, niemniej w większości należy je wiązać z przystropową częścią cechsztynu.

Dla dokonania oceny możliwości zastosowania metod sejsmicznych do badania kompleksu cechsztyńskiego jako całości ważna jest znajomość prędkości warstwowych nadkładu (fig. 10) i podłoża (fig. 11), przy czym ten drugi obraz winno się traktować jako hipotetyczny, gdyż oparty jest na małej liczbie materiału faktycznego. Jedynie w obszarze syneklizy perybałtyckiej liczba danych jest większa. Prędkości w nadkładzie i podłożu cechsztynu obliczone z hodografów pionowych zaczerpnięto z dokumentacji źródłowych. Prędkości warstwowe brano dla 150–200-metrowych odcinków hodografów. Generalizując zagadnienie powstania sejsmicznych fal użytecznych na granicach geologicznych można uważać,

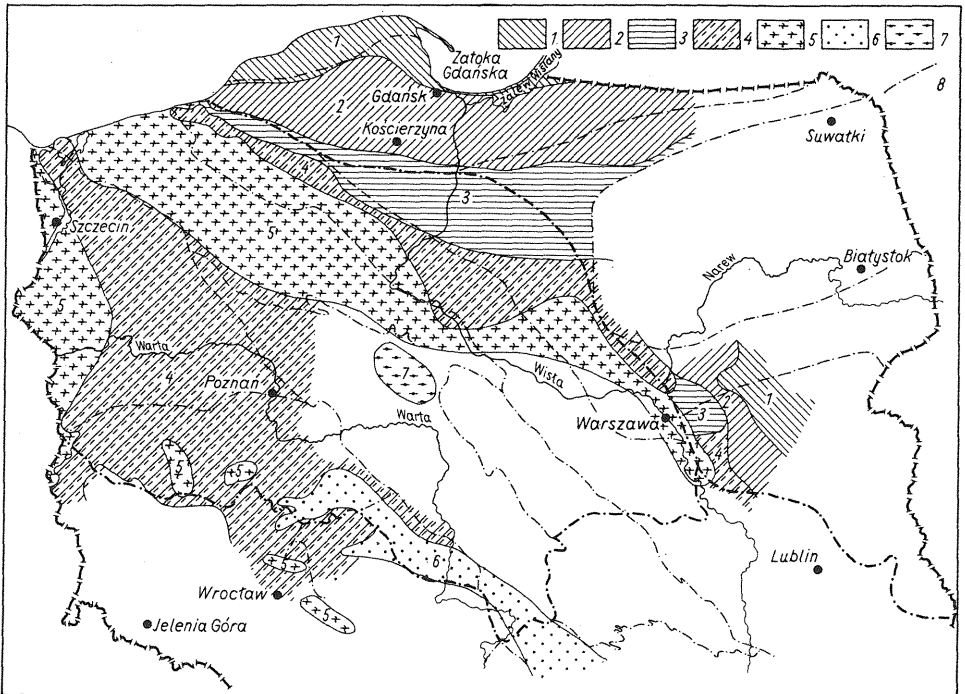


Fig. 10. Szkic rozkładu prędkości warstwowych w nadkładzie cechsztynu

Distribution of layer velocities in Zechstein cover

Najczęściej występujące wartości prędkości w m/s: 1 – 2100–2500, 2 – 2510–2950, 3 – 3000–3450, 4 – 3500–3950, 5 – 4000–4450, 6 – 4460–4700, 7 – 4710–4800; 8 – granice jednostek geologicznych

Most common velocity values in m/s: 1 – 2100–2500, 2 – 2510–2950, 3 – 3000–3450, 4 – 3500–3950, 5 – 4000–4450, 6 – 4460–4700, 7 – 4710–4800; 8 – boundaries of geological units

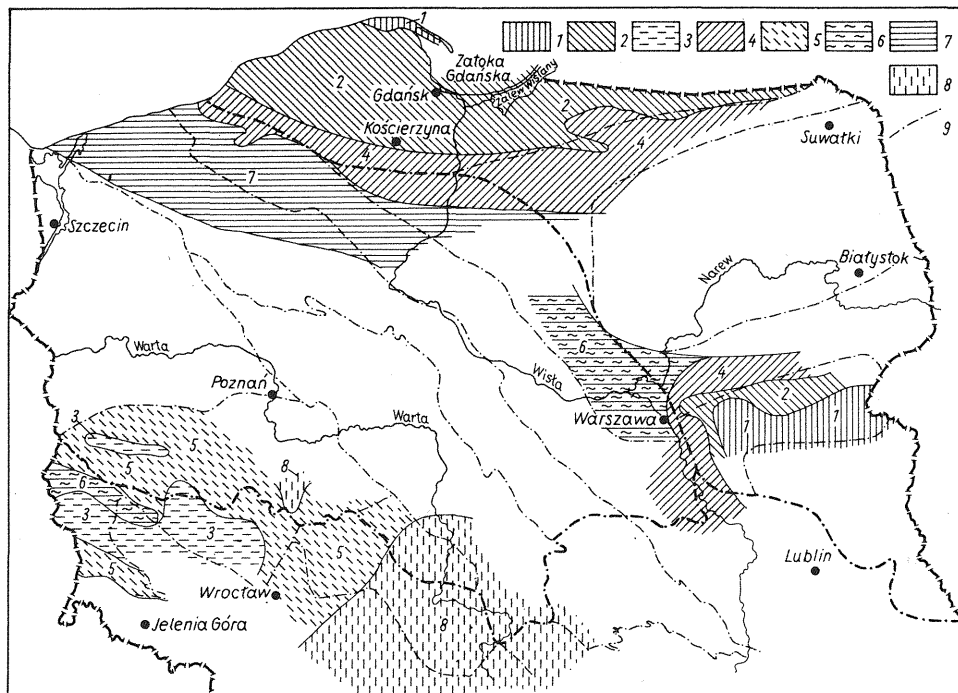


Fig. 11. Szkic rozkładu prędkości warstwowych w podłożu cechsztynu

Distribution of layer velocities in Zechstein bedrock

Najczęściej występujące wartości prędkości w m/s: 1 – 2600–2950, 2 – 3000–3300, 3 – 3310–3500, 4 – 3510–4200, 5 – 4210–4500, 6 – 4510–5000, 7 – 5010–5200, 8 – 5210–5750; 9 – granice ważniejszych jednostek geologicznych

Most common velocity values in m/s: 1 – 2600–2950, 2 – 3000–3300, 3 – 3310–3500, 4 – 3510–4200, 5 – 4210–4500, 6 – 4510–5000, 7 – 5010–5200, 8 – 5210–5750; 8 – boundaries of major geological units

że różnica prędkości warstwowych w cechsztynie w stosunku do prędkości w nadkładzie i podłożu wpływać będzie w dużym stopniu na intensywność fal odbitych i refrakcyjnych. Znajduje to potwierdzenie w praktyce, np. refleksy od stropu cechsztynu są bardzo intensywne na wyniesieniu Łeby, gdzie różnica między prędkościami cechsztynu i nadkładu jest największa. Prędkości warstwowe nadkładu wahają się w granicach 2,1–5,0 km/s, ciężary objętościowe $1,97 \cdot 10^3$ – $2,58 \cdot 10^3$ kG/m³, a oporność akustyczna $4,1 \cdot 10^5$ – $12,5 \cdot 10^5$ Pa s/m. Podłoże cechsztynu charakteryzuje się natomiast prędkościami 2,7–6,1 km/s, ciężarami objętościowymi $2,15 \cdot 10^3$ – $2,92 \cdot 10^3$ kG/m³ i opornościami akustycznymi $5,8 \cdot 10^5$ – $17,8 \cdot 10^5$ Pa s/m..

WSPÓLZALEŻNOŚCI PARAMETRÓW FIZYCZNYCH

W warunkach naturalnych skały poddawane są różnym procesom fizyczno-geologicznym, które w efekcie przejawiają się w postaci odmienności, ale jednocześnie i współzależności własności fizycznych skał. Dlatego też określenie współzależności różnych cech skał stanowi ważny etap w badaniach geofizycznych. Niemniej ustalenie zależności między poszczególnymi parametrami nie zawsze jest

łatwe, a nawet możliwe ze względu na liczbę i reprezentatywność pomiarów. Należy zatem rozpatrzyć związki tych parametrów, które na obecnym etapie rozpoznania wydają się uzasadniać celowość podjęcia podobnych rozważań. Będą to związki prędkości z ciężarem objętościowym i porowatością.

ZWIĄZEK PRĘDKOŚCI Z CIĘŻAREM OBJĘTOŚCIOWYM

Bezpośrednią współzależność prędkości i ciężaru objętościowego tłumaczy się szybkim wzrostem efektywnego modułu Younga przy wzroście gęstości bądź ciężaru objętościowego, wskutek poszerzenia powierzchni kontaktów między cząsteczkami skały. Zależność prędkości przebiegu fal sprężystych od gęstości lub ciężaru objętościowego była przedmiotem zainteresowań wielu geofizyków (M.P. Wołarowicz i in., 1975; M.P. Wołarowicz, E.I. Bajuk, 1977; L.E. Filsztyński, 1969; G.S. Pietkiewicz, 1963; K.I. Bagrincewa, 1971 i in.). Na podstawie dużej liczby pomiarów prędkości i gęstości przeprowadzonych na tych samych próbkach skał różnego wieku i wykształcenia litologicznego podają oni wzory umożliwiające obliczenie jednego z parametrów przy znajomości drugiego. Zgodność obliczeń z danymi pomiarów była duża dla skał jednorodnych i nieporowatych. W związku z tym należy sądzić, iż zależność między ciężarem objętościowym a prędkością można ustalić, jeżeli dysponuje się odpowiednią liczbą pomiarów prędkości i ciężaru objętościowego przeprowadzonych na tych samych próbkach skał. W przypadku utworów cechsztyńskich w Polsce pomiarów takich praktycznie brak. Wobec tego należy rozważyć czy drogą pośrednią nie można ustalić współzależności między tymi parametrami. Za punkt wyjścia do takich ustaleń należy przyjąć procentowy udział poszczególnych wartości prędkości uzyskanych z pomiarów akustycznych, wykonanych w otworach wiertniczych, i ciężarów objętościowych pomierzonych na próbkach. Dokonując zestawień ciężarów objętościowych i prędkości (tab. 2, 3) można zauważyć, że pewne wartości tych parametrów dominują, osiągając niekiedy 100%. Tak np. ciężary objętościowe próbek soli z obszaru monokliny przedsudeckiej prawie w 100% mieszczą się w przedziale $2,14 \cdot 10^3 - 2,15 \cdot 10^3$ kG/m³, a z zachodniej części syneklizy perybałtyckiej w przedziale $2,11 \cdot 10^3 - 2,18 \cdot 10^3$ kG/m³. Z powyższego wynika, że ciężary objętościowe, a zwłaszcza częstotliwości ich występowania, są zbliżone, mimo znacznej odległości dzielącej obydwie obszary. Podobnie małe wahania wykazują ciężary objętościowe i prędkości anhydrytów.

Na tej podstawie można sądzić, że najczęściej spotykane wartości ciężarów objętościowych będą pozostawać w pewnym związku z częstotliwością występowania określonych wartości prędkości, mimo że dane dotyczą skał nawierconych w różnych jednostkach geologicznych. Przyjmując zatem, że pomiary ciężarów objętościowych oraz prędkości wykonane zostały dla skał podobnie wykształconych pod względem litologicznym oraz wykorzystując częstotliwość występowania wartości tych parametrów, można w pewnym przybliżeniu ustalić zależność między ciężarem objętościowym a prędkością. Dla uniknięcia większych błędów w ustaleniu tej zależności wzięto pod uwagę przede wszystkim wartości najczęściej powtarzające się, tj. o częstotliwości występowania > 50%. Nawiązując do podanych wartości prędkości i ciężarów objętościowych, opracowano wzory empiryczne umożliwiające obliczenie prędkości przy znanych ciężarach obję-

Częstotliwość występowania wartości ciężarów objętościowych w cechszynie

Rodzaj skał	Monoklina przedsudecka		Wyniesienie Łeby		Niecka gdańska (część wschodnia)		Niecka gdańska (część zachodnia)		Antyklinorium pomorskie		Niecka pomorsko-warszawska	
	ciężar objętościowy · 10 ³ kG/m ³	częstotliwość %	ciężar objętościowy · 10 ³ kG/m ³	częstotliwość %	ciężar objętościowy · 10 ³ kG/m ³	częstotliwość %	ciężar objętościowy · 10 ³ kG/m ³	częstotliwość %	ciężar objętościowy · 10 ³ kG/m ³	częstotliwość %	ciężar objętościowy · 10 ³ kG/m ³	częstotliwość %
Sole	2,14 – 2,15	100	2,1 – 2,18	83	2,11 – 2,23	51	2,11 – 2,18	100	2,12 – 2,15	100	2,1 – 2,17	100
Anhydryty	2,82 – 2,90	53	2,83 – 2,92	64	2,82 – 2,92	88	2,85 – 2,94	100	2,77 – 2,89	100	2,78 – 2,94	96
Wapienie	2,89 – 2,95	57	2,17 – 2,4	57	2,3 – 2,44	51	2,29 – 2,59	81	–	–	2,66 – 2,78	85
Dolomity	2,75 – 2,82	79	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Tabela 4

Zestawienie wartości ciężarów objętościowych i prędkości pomierzonych i obliczonych według wzorów [1] – [8]

Tabela 3

Częstotliwość występowania wartości prędkości w cechszynie

Rodzaj skał	Prędkości warstwowe m/s	Częstotliwość %
Sole	4400 – 4700	74
Anhydryty	5700 – 6000	51
Wapienie	5000 – 5500	53
Dolomity	6000 – 6400	72

Rodzaj skał	Głębokość m	Prędkość m/s			Ciężar objętościowy · 10 ³ kG/m ³		
		z pomiaru	obliczona	ΔV m/s	z pomiaru	obliczony	Δδ
Sole	970 – 1077	4600	4520	–80	2,12	2,13	+0,01
Anhydryty	1077 – 1100	6300	6210	–90	2,82	2,88	+0,06
Sole	1100 – 1134	4600	4520	–80	2,12	2,13	+0,01
Anhydryty	1134 – 1155	5400	5550	+150	2,70	2,66	–0,04
Dolomity	1155 – 1175	6800	6484	–316	2,76	2,86	+0,1
Dolomity	1175 – 1190	6300	6484	+184	2,76	2,73	–0,03
Dolomity	1190 – 1195	6000	6484	+484	2,76	2,66	–0,10
Sole	1232 – 1470	4600	4700	+100	2,15	2,13	–0,02

tościowych i odwrotnie – ciężarów objętościowych przy znanych prędkościach. Zależność prędkości od ciężaru objętościowego wyraża się dla soli:

$$V_{\delta s} = 6\delta - 8,2 \quad [1]$$

gdzie: $V_{\delta s}$ – prędkość w km/s; δ – ciężar objętościowy $\cdot 10^3 \text{ kG/m}^3$.

dla anhydritów:

$$V_{\delta a} = 5,5\delta - 9,3 \quad [2]$$

dla wapieni:

$$V_{\delta w} = 3,1\delta - 2,3 \quad [3]$$

dla dolomitów:

$$V_{\delta d} = 3,4\delta - 2,9 \quad [4]$$

Zależność ciężaru objętościowego od prędkości wyraża się dla soli:

$$\delta_{vs} = 0,21V + 1,17 \quad [5]$$

dla anhydritów:

$$\delta_{va} = 0,255V + 1,28 \quad [6]$$

dla wapieni:

$$\delta_{vw} = 0,3V + 0,88 \quad [7]$$

dla dolomitów:

$$\delta_{vd} = 0,25V + 1,16 \quad [8]$$

gdzie: δ_{vs} , δ_{va} , δ_{vw} , δ_{vd} – ciężary objętościowe w poszczególnych warstwach; V – prędkość przebiegu fal w warstwach w km/s.

Powstaje pytanie, jaka jest dokładność wartości obliczonych na podstawie tych wzorów. Dla dokonania jej oceny należy nawiązać do pomiarów omawianych parametrów dla skał nawierconych w otworze Lelechów IG 1. Prędkości określono tu na podstawie pomiarów akustycznych przeprowadzonych w otworze, natomiast ciężary objętościowe na próbkach skał. Wyniki tych pomiarów oraz wartości prędkości warstwowych i ciężarów objętościowych obliczonych według wzorów [1]–[8] przedstawia tab. 4.

Na podstawie przytoczonych danych można zauważyć, że podwyższonym wartościom ciężarów objętościowych odpowiadają podwyższone prędkości. Jedynie w przypadku dolomitów prawidłowości te nie są tak widoczne, co może być wywołane mikroszczelinowatością skał lub błędami przypadkowymi. Niemniej jednak wartości omawianych parametrów uzyskane na podstawie pomiarów i obliczeń są zbliżone, co przemawiałoby za celowością korzystania z podanych wzorów. W miarę przybywania danych o ciężarach objętościowych i prędkościach powyższe wzory mogą ulegać modyfikacjom.

ZALEŻNOŚĆ PRĘDKOŚCI OD POROWATOŚCI

Ustalenie zależności prędkości od porowatości skał nie należy do zadań prostych, nawet w przypadku dysponowania bezpośrednimi pomiarami tych parametrów na tych samych próbkach skał. Związane jest to z anizotropią skał. Prowadząc pomiary prędkości na próbkach znajdujących się w warunkach ciśnienia atmo-

sferycznego wielu badaczy (J.N. Michajłow, 1965; K.I. Bagrincewa, 1971; N.B. Dortman, 1976 i in.) wskazuje na różnice prędkości w zależności od kierunku pomiaru względem uwarstwienia, które to różnice ich zdaniem wywołane są szczelinowatością. Również A.K. Urupow i I.A. Muszin (1972) na podstawie analizy dużej liczby pomiarów stwierdzają występowanie zjawisk anizotropii i rozproszenia energii w szczytowych częściach antyklin i w pobliżu stref tektonicznych, gdzie z reguły obserwuje się podwyższoną szczelinowatość skał, powodującą bardzo duże różnice prędkości, dochodzące nawet do 100%. Jednocześnie o zmianach prędkości przebiegu fal sprężystych w zależności od szczelinowatości świadczyć mogą wyżej omówione wyniki, uzyskane podczas pomiarów w warunkach podwyższonego ciśnienia, chociaż badania prowadzono na próbkach anhydrytów, a więc skał charakteryzujących się małą porowatością.

Z tego wynika, że szczelinowatość, która jest specyficznym rodzajem porowatości, wpływa w dużym stopniu na wartości prędkości. Można uważać, że określenie zależności prędkości od porowatości będzie obarczone najmniejszym błędem, jeśli pomiary wykona się na tych samych próbkach skał, znajdujących się w podobnym stanie fizycznym i w dodatku w warunkach zbliżonych do panujących na głębokościach, z których je pobrano. Dla skał cechsztyńskich pomiarów takich brak. Dlatego też określenie związku prędkości z porowatością może być dokonane drogą pośrednią, tj. poprzez znajomość ciężarów objętościowych. Jeżeli przyjmiemy, że porowatość wapieni wynosi 5, 10 i 20%, co dla skał cechsztyńskich jest realne, to ciężary objętościowe wapieni o wymienionej porowatości odpowiednio wynoszą ok. $2,60 \cdot 10^3$, $2,24 \cdot 10^3$ i $2,0 \cdot 10^3$ kG/m³. Posługując się wzorem [3] można obliczyć prędkości dla wapieni, które będą równe 5760, 5290 i 3900 m/s. Postępując podobnie można ustalić zależność prędkości od porowatości dla dolomitów.

Warto odnotować, że podobne wartości prędkości w zależności od porowatości dla skał węglanowych podaje W.P. Nomokonow (1966).

Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych
Warszawa, ul. Stalingradzka 34.

Nadesłano dnia 21 września 1979 r.

PIŚMIENNICTWO

- ŚLIWIŃSKI Z. (1965) — Studium prędkości sejsmicznych w synklinorium Łódzko-Szczecińskim. Pr. Geol. Kom. Nauk Geol. PAN Oddz. w Krakowie. 29. Warszawa.
- БАГРИНЦЕВА К.И. (1971) — Выделение порового и трещиноватого типов карбонатных коллекторов по данным изучения керна. Нефтегазовая Геология и Геофизика, 12, стр. 38—41. Москва.
- ВОЛАРОВИЧ М.П., БАЮК Е.И., ЕФИМОВА Г.А. (1975) — Упругие свойства минералов при высоких давлениях. Изд. Наука. Москва.
- ВОЛАРОВИЧ М.П., БАЮК Е.И. (1977) — Упругие свойства горных пород. В: Исследования физических свойств минерального вещества Земли при высоких термодинамических параметрах. Изд. Наукова Думка, стр. 43—50. Киев.
- ДОРТМАН Н.Б. (1976) — Физические свойства горных пород и полезных ископаемых. Справочн. Геофизика, 6. Изд. Недра. Москва.
- КОБРАНОВА В.Н. (1962) — Физические свойства горных пород. Изд. Гостоптехиздат. Москва.
- ЛЕБЕДЕВ Т.С., ОРОВЕЦКИЙ Ю.П., КОРЧИН В.А. (1977) — Динамика полиморфных преобразований и изменения скорости ультразвука в карбонатных породах и минералах состава CaCO₃ при различных термодинамических условиях. В: Исследования физических свойств минерального вещества Земли при высоких термодинамических параметрах. Изд. Наукова Думка. стр. 9—119. Киев.

- МИХАЙЛОВ И.Н. (1965) — Корреляционная зависимость между плотностью и скоростью распространения упругих волн для осадочных пород. Прикладная Геофизика, 45, стр. 119—131. Москва.
- НЕВСКИЙ М.В., ЕПИНАТЬЕВА А.М., ВОЛОСОВ С.Г. (1976) — Сейсмическая анизотропия верхней части кристаллического фундамента. Физика Земли, 7, стр. 2—40. Москва.
- НОМОКОНОВ В.П. (1966) — Сейсмические свойства горных пород. Справочник Геофизика, 4, стр. 183—199. Изд. Недра. Москва.
- ПЕТКЕВИЧ Г.С. (1963) — Факторы, определяющие скорости сейсмических волн в геологическом разрезе. Изд. АН УССР. Киев.
- ФИЛЬЩТИНСКИЙ Л.Е. (1969) — О соотношении скорости упругих волн и плотности горных пород Львовского прогиба. В: Геофизические исследования на Украине, стр. 125—127. Киев.
- УРУПОВ А.К., МУШИН И.А. (1972) — Факторы, влияющие на эффективность методики ОГТ. В: Сейсмические исследования методом общей глубинной точки. Изд. Недра. стр. 3—11. Москва.
- ЧЕСНОКОВ Е.М. (1973) — Об упругой анизотропии многокомпонентных моделей строения верхней мантии. Физика Земли, 6, стр. 28—39. Москва.

Тадеуш КРЫНИЦКИ

УПРУГИЕ СВОЙСТВА ЦЕХШТЕЙНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Резюме

В статье рассматриваются упругие свойства пород цехштейна, причём особое внимание обращено на скорость распространения волн. Установлено, что соли и ангидриты отличаются малой изменчивостью скоростей, независимо от глубины их залегания. Рассмотрены результаты, полученные при измерениях скоростей в образцах пород, в том числе, находящихся в условиях высокого давления и температуры.

Предпринята попытка уловить взаимосвязь между скоростью, объёмным весом и пористостью. Несомненно то, что по мере накопления данных о физических параметрах, связь между ними будет проявляться всё отчётливее, причём весьма существенными могут оказаться результаты измерений в условиях давлений и температур.

Tadeusz KRYNICKI

ELASTIC PROPERTIES OF ZECHSTEIN DEPOSITS

Summary

Elastic properties of Zechstein rocks are discussed. The attention is mainly paid to velocity of propagation of waves. It was found that salts and anhydrites are characterized by low variability in velocities, regardless of depth of their occurrence. The results of velocity measurements taken on rock samples, including rock samples subjected to high pressure and temperature, are also discussed.

An attempt was also made to trace interrelations between the velocities and volume weight and porosity. Further increase in amount of available data on physical parameters will undoubtedly make possible more accurate evaluation of these interrelations between physical parameters. For such purpose, the results of measurements taken under high temperature and pressure conditions should be very important.