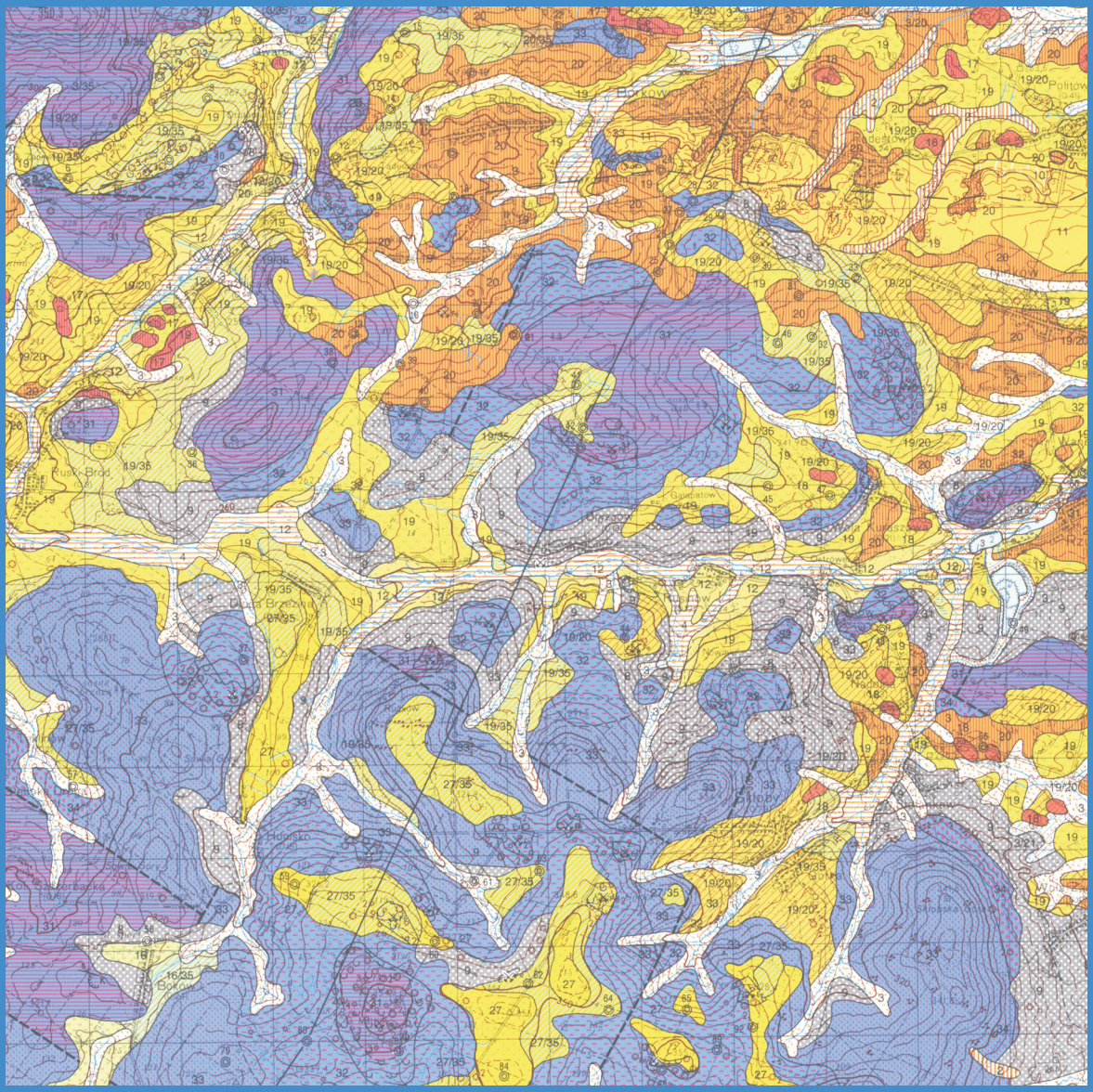


METODYKA OPRACOWANIA

SZCZEGÓŁOWEJ MAPY GEOLOGICZNEJ POLSKI W SKALI 1:50 000

PAŃSTWOWY INSTYTUT GEOLOGICZNY
MONTE ET MALLEO
1919

WARSZAWA 1999

MINISTERSTWO OCHRONY ŚRODOWISKA,
ZASOBÓW NATURALNYCH I LEŚNICTWA

METODYKA OPRACOWANIA
SZCZEGÓŁOWEJ MAPY GEOLOGICZNEJ POLSKI W SKALI 1:50 000

pod redakcją
Leszka Marksa i Andrzeja Bera

Państwowy Instytut Geologiczny

Warszawa 1999

Praca finansowana przez MINISTERSTWO OCHRONY ŚRODOWISKA, ZASOBÓW NATURALNYCH I LEŚNICTWA

Redaktor: mgr Barbara SŁOWAŃSKA

Akceptował do druku dnia 3 IX 1999 r.
Dyrektor Naczelny Państwowego Instytutu Geologicznego
prof. dr hab. Stanisław SPECZIK

© Copyright by MOŚZNiL i PIG, Warszawa 1999

Redakcja techniczna, skład i łamanie: mgr Anna MAJEWSKA
(fot. na okładce: fragment opracowanego cyfrowo ark. Niekłań SMGP)

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

Druk „Remigraf" sp. z o. o. Zlec. 109p/99. Nakład 250+50 egz.

Spis treści

1. Wstęp (*Leszek Marks*) 5
2. Prace projektowe (*Wojciech Morawski*) 6
3. Prace przygotowawcze 8
3.1. Przygotowywanie prac geologiczno-zdjęciowych (*Marek Brzeziński, Wojciech Morawski, Marcin Żarski*) 8
3.1.1. Ogólne przygotowywanie prac geologiczno-zdjęciowych 8
3.1.2. Etapowe przygotowywanie prac geologiczno-zdjęciowych 13
3.1.3. Codzienne przygotowywanie prac geologiczno-zdjęciowych 14
3.2. Zastosowanie teledetekcji geologicznej (*Marek Graniczny*) 15
3.2.1. Zdjęcia lotnicze 15
3.2.2. Zdjęcia satelitarne 23
3.2.3. Zdjęcia radarowe 23
4. Prace geologiczno-zdjęciowe 24
4.1. Zdjęcie geologiczne w obszarach nizinnych (*Wojciech Morawski*) 24
4.2. Zdjęcie geologiczne w obszarach górskich i wyżynnych (*Krystyna Piotrowska*) 32
4.3. Zastosowanie metod geofizycznych (*Jerzy Twarogowski, Stanisław Wybraniec, Piotr Krzywiec*) 40
4.4. Wiercenia badawcze (*Andrzej Ber*) 47
5. Prace laboratoryjne 53
5.1. Badania litologiczno-petrograficzne (*Stanisław Lisicki, Ryszard Zabielski*) 53
5.1.1. Analiza składu granulometrycznego (*Stanisław Lisicki, Ryszard Zabielski*) 55
5.1.2. Analiza składu petrograficznego frakcji kamienistej i żwirowej (*Stanisław Lisicki, Ryszard Zabielski*) 56
5.1.3. Analiza minerałów ciężkich (*Krystyna Kenig*) 58
5.1.4. Analiza składu mineralno-petrograficznego frakcji piaszczystej (*Krystyna Kenig*) 60
5.1.5. Analiza obtoczenia ziarn kwarcu (*Krystyna Kenig*) 60
5.1.6. Analiza zawartości węglanu wapnia (*Krystyna Kenig*) 61

5.2. Badania paleofaunistyczne (*Katarzyna Pochocka-Szwarc*) 62
5.2.1. Szczątki bezkręgowców 62
5.2.2. Kości kręgowców 64
5.3. Badania paleobotaniczne (*Hanna Winter*) 65
5.4. Datowanie osadów (*Leszek Marks*) 67
6. Prace zestawcze 70
6.1. Mapa geologiczna (*Wojciech Morawski*) 70
6.2. Przekroje geologiczne (*Leszek Marks*) 71
6.3. Schemat stratygraficzny (*Leszek Marks*) 74
6.4. Syntetyczny profil geologiczny (*Andrzej Ber*) 76
7. Zastosowanie technik komputerowych (*Waldemar Gogołek*) 76
8. Zalecana literatura 88

1. WSTĘP

Opracowania kartograficzne są najważniejszym syntetycznym efektem prac geologicznych, zaś mapy geologiczne w skalach szczegółowych stanowią podstawową formę odwzorowania budowy geologicznej. Graficzne przedstawienie wyników przeprowadzonych prac i badań geologicznych, niekiedy wielodyscyplinarnych, jest najbardziej oszczędną objętościowo formą pokazania ogromnej ilości informacji, które mogą być poglądowo i stosunkowo łatwo przekazane odbiorcy.

Taką treść zawiera również *Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000* (SMGP), wyróżniająca się ponadto towarzyszącym jej i konsekwentnie realizowanym programem wierceń badawczych oraz badań laboratoryjnych. Treść geologiczna każdego arkusza tej mapy jest uzupełniona objaśnieniami tekstowymi, które zawierają wszelkie dodatkowe istotne informacje (także w formie załączników graficznych), zaś przede wszystkim wnioski wynikające z badań laboratoryjnych, jak również zarys problematyki stratygraficznej i paleogeograficznej.

Znowelizowana *Instrukcja opracowania i wydania Szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1:50 000* (1996) jest zbiorem wymagań formalnych i merytorycznych, natomiast nie zawiera wskazówek metodycznych dotyczących opracowania tej mapy. Jednocześnie wszystkie dotychczas wydane podręczniki i opracowania metodyczne, przedstawiające podstawowe zasady zdjęcia geologicznego oraz kameralnego opracowania materiałów terenowych uzyskanych w trakcie prac kartograficznych (m.in. Rühle, red., 1973), nie zostały z oczywistych względów przygotowane wyłącznie pod kątem realizacji SMGP. Intensyfikacja prac związanych z dokończeniem edycji tej mapy wiąże się z włączeniem do jej realizacji szerokiego grona nowych wykonawców, w większości pracowników Państwowego Instytutu Geologicznego oraz przedsiębiorstw geologicznych o bardzo zróżnicowanym doświadczeniu zawodowym, jak również pracowników wyższych uczelni, Polskiej Akademii Nauk i firm prywatnych. Ze strony tych wykonawców istnieje ogromne zapotrzebowanie na aktualną informację z zakresu metodyki badań osadów czwartorzędowych, nowych technik kartograficznych oraz wymagań związanych z intensywną komputeryzacją prac redakcyjnych SMGP. Niektóre uwagi metodyczne są przekazywane wykonawcom w trakcie realizacji mapy bezpośrednio przez koordynatorów regionalnych oraz specjalistów d/s badań litologicznych i petrograficznych, geofizycznych oraz komputeryzacji. Taka forma przepływu niezbędnych informacji nie może być jednak dostatecznie kompletna.

Zadaniem *Metodyki* jest przynajmniej częściowe wypełnienie oczekiwań wykonawców mapy. Nie jest to jednak klasyczny podręcznik, ponieważ *Metodyka* jest skierowana do osób posiadających ukończone magisterskie studia geologiczne, na których kartografia geologiczna jest nie tylko odrębnym przedmiotem kursowym obejmującym zajęcia terenowe i kameralne, ale stanowi także integralną część wielu innych obligatoryjnych przedmiotów. Natomiast SMGP jest

mapą seryjną, a więc w trakcie jej realizacji konieczna jest unifikacja — zarówno metodyki opracowania (w tym w szczególności prac terenowych), jak też zakresu merytorycznych informacji zawartych w treści arkuszy. Dotychczasowa praktyka wykazuje znaczne rozbieżności w poziomie merytorycznym i dokładności opracowania poszczególnych arkuszy przez różnych autorów. Większość błędów i niedostatków wynika ze stosowania niepełnego zakresu prac przygotowawczych oraz niewłaściwej metodyki prac geologiczno-zdjęciowych. W szczególności dotyczy to oddzielania prac zdjęciowych od dokumentacyjnych oraz kameralnego wyznaczania granic geologicznych jako kompilacji zebranych informacji.

Celem niniejszego opracowania jest zatem przedstawienie w sposób zwarty i kompleksowy zakresu metodyki prac projektowych, przygotowawczych, geologiczno-zdjęciowych, laboratoryjnych i zestawczych, niezbędnych dla prawidłowej i sprawnej realizacji SMGP. Mimo istniejącego w wielu przypadkach schematycznego i rutynowego podejścia niektórych wykonawców SMGP, istnieje możliwość zastosowania w uzasadnionych przypadkach również wielu niekonwencjonalnych metod badawczych, o ile zostaną one uwzględnione już w fazie projektowania, a niekiedy nawet podczas realizacji arkusza. Inicjatorem podejmowania takich działań powinien być autor. Dla szczegółowego zaznajomienia się z zaletami i ograniczeniami metodyki prac geologiczno-zdjęciowych, laboratoryjnych i kameralnych konieczne jest przestudiowanie specjalistycznej literatury, której podstawowy wybór został zamieszczony w załączonym spisie.

2. PRACE PROJEKTOWE

Dla wykonania poszczególnych arkuszy SMGP są opracowywane projekty lub programy prac geologicznych zgodnie z Instrukcją (1996). Przed przystąpieniem do prac projektowych, autora obowiązuje zestawienie wszystkich dotyczących arkusza i możliwych do uzyskania danych geologicznych.

Lokalizacji danych dokonuje się na podkładzie topograficznym w skali 1:25 000, na podstawie dokumentacji źródłowych (np. hydrogeologicznych — profile studni wierconych, surowcowych — profile wierceń surowcowych itd.), zawierających szkice lokalizacyjne w dużych skalach. Podkład topograficzny ze zlokalizowanymi danymi archiwalnymi stanowi podstawę wykonania **mapy dokumentacyjnej**. W Instrukcji (1996) podano wymagania stawiane mapie dokumentacyjnej oraz zestawienie wymaganych załączników graficznych i ich obowiązujące skale.

W ramach sporządzania projektu należy odbyć **wizję terenową**, która powinna obejmować:

— zapoznanie się ze specyfiką topograficzną, geomorfologiczną i geologiczną terenu badań oraz ważniejszymi odsłonięciami;

— przegląd terenu wzdłuż projektowanych przekrojów geologicznych, profili geofizycznych i w rejonach projektowanych wierceń;

— przeprowadzenie weryfikacji lokalizacji wierceń archiwalnych (szczególnie na liniach projektowanych przekrojów geologicznych), o wątpliwej lub niedokładnej lokalizacji w materiałach archiwalnych;

— uzyskanie, bezpośrednio u inwestorów, profili geologicznych wierceń archiwalnych i dokumentacji geologicznych, których brak w Centralnym Archiwum Geologicznym (CAG) Państwowego Instytutu Geologicznego oraz w archiwach geologów wojewódzkich.

Projektowanie prac i badań powinny poprzedzić robocze prace zestawcze i interpretacyjne, pozwalające na ocenę stopnia rozpoznania budowy geologicznej. Najważniejsze na tym etapie

jest zestawienie profili wierceń archiwalnych, wykonanie przekrojów roboczych i **szkicu geologicznego zakrytego**.

Profile geologiczne wierceń archiwalnych zestawia się w postaci **profili słupkowych** na papierze milimetrowym w skali pionowej 1:1000, zgodnie z ich położeniem w stosunku do poziomu morza. Zestawienia tego można dokonać dla całego arkusza pasami, zgodnie z numeracją wierceń lub jednostkami geologicznymi (np. wysoczyzna, sandry, dolina itp.), jak również dla niewielkich obszarów, gdzie wiercenia są zgrupowane (np. w mieście).

Przekroje robocze wykonuje się na liniach przecinających cały arkusz lub jego fragmenty, w skali podkładu topograficznego (1:25 000), na papierze milimetrowym, najlepiej w skali pionowej 1:1000. Powinny one przecinać wszystkie stwierdzone na obszarze arkusza jednostki geologiczne i geomorfologiczne oraz uwzględniać większość wierceń archiwalnych. Przekroje robocze wykonane w ramach projektu należy traktować jako jedno z podstawowych narzędzi w kartowaniu geologicznym. W trakcie prac terenowych powinny być one sukcesywnie uzupełniane o wykartowane granice geologiczne, wykonane punkty dokumentacyjne oraz profile wierceń badawczych.

Wykonanie **szkicu geologicznego odkrytego** może ograniczać się do reambulacji mapy bez utworów czwartorzędowych w skali 1:50 000, stanowiącej mapę podstawową do *Mapy geologicznej Polski w skali 1:200 000* (wyd. B — bez utworów czwartorzędowych) i polega na uwzględnieniu wszystkich nowych wierceń z terenu arkusza oraz wierceń sięgających do osadów trzeciorzędowych z terenów sąsiednich. W przypadku zasadniczych zmian wynikających ze znacznej liczby nowych danych o ukształtowaniu podłoża czwartorzędu oraz autorskiej interpretacji przekrojów roboczych, może zaistnieć konieczność wykonania nowego szkicu podłoża. Przekroje geologiczne opracowane do projektu muszą być zgodne z tak opracowanym szkicem ukształtowania podłoża osadów czwartorzędowych. Szkic ten uzasadnia głębokość zaprojektowanych wierceń badawczych.

Kategoryzacja stopnia złożoności budowy geologicznej wynika z analizy map geologicznych i topograficznych. W praktyce, kategorie stopnia złożoności budowy geologicznej ustala się głównie na podstawie analizy ukształtowania powierzchni terenu, które z zasady determinuje genezę jednostek geomorfologicznych. Granice obszarów zaliczanych do tej samej kategorii nie mogą przecinać form rzeźby. Instrukcja (1996) zawiera szczegółowe kryteria, które należy stosować przy kategoryzacji. Przy ustalaniu kategorii, a co za tym idzie — projektowaniu prac dokumentacyjnych należy pamiętać, że od zakresu udokumentowania w znacznym stopniu zależy dokładność mapy geologicznej oraz, że prace zdjęciowe i dokumentacyjne dla *Szczegółowej mapy geologicznej Polski* są niepowtarzalne.

Materiały robocze są podstawą do **zaprojektowania zakresu** koniecznych do wykonania prac zdjęciowych, dokumentacyjnych, jednego lub dwu przekrojów geologicznych, badań geofizycznych, wierceń badawczych oraz badań laboratoryjnych. Zakres i lokalizacja projektowanych prac i badań musi uwzględniać regionalną sytuację geologiczną, nawiązanie do wcześniej opracowanych sąsiednich arkuszy SMGP oraz ważne, a nie rozwiązane dotychczas problemy geologiczne wytypowane na podstawie szczegółowych studiów literatury dotyczącej danego obszaru. W odniesieniu do prac zdjęciowych i dokumentacyjnych podstawą do kalkulacji ilościowej projektowanych prac jest kategoryzacja stopnia złożoności budowy geologicznej oraz

powierzchnia danego arkusza, zmienna w zależności od położenia w pasach cięcia arkuszowego mapy topograficznej w skali 1:50 000.

Kolejność rozdziałów i zakres **części tekstowej** podano w Instrukcji (1996). Należy zwrócić szczególną uwagę na merytoryczne uzasadnienie celowości i zakresu projektowanych prac i badań, co dotyczy przede wszystkim wierceń badawczych. Przypuszczalne profile projektowanych wierceń należy zarówno podać w tekście, jak też narysować na przekrojach geologicznych. Przegląd dotychczasowych badań i opis budowy geologicznej powinny opierać się na wnikliwych studiach wszelkiej dostępnej literatury publikowanej i opracowań archiwalnych dotyczących obszaru arkusza i arkuszy sąsiednich. Pełny wykaz tych publikacji i opracowań należy zestawić w spisie literatury; nie należy cytować ani zamieszczać w spisie publikacji o charakterze podręcznikowym.

Zakres i lokalizacja projektowanych prac i badań podlega szczegółowej konsultacji z koordynatorem regionalnym.

3. PRACE PRZYGOTOWAWCZE

3.1. PRZYGOTOWYWANIE PRAC GEOLOGICZNO-ZDJĘCIOWYCH

Jednym z podstawowych założeń przy realizacji seryjnej edycji SMGP jest wykorzystanie wszystkich publikowanych i archiwalnych danych geologicznych. Projektowane, a następnie realizowane prace i badania geologiczne powinny mieć tylko taki zakres, jaki jest niezbędnym uzupełnieniem dotychczasowych danych. Dlatego niezmiernie ważne jest wykonanie prac przygotowawczych, zarówno przed, jak i w trakcie prac terenowych, zgodnie z ich pełnym zakresem i kolejnością (tab. 1).

3.1.1. Ogólne przygotowywanie prac geologiczno-zdjęciowych

Przed przystąpieniem do prac geologiczno-zdjęciowych należy wykonać szereg czynności przygotowawczych obejmujących studia i analizę materiałów geologicznych i geomorfologicznych oraz dobór map i podkładów topograficznych (tab. 1). Celem tych prac jest wstępne i wielostronne, odpowiadające rozpoznaniu geologicznemu, przedstawienie i udokumentowanie stanu rozpoznania litogenezy i stratygrafii osadów czwartorzędu i ich podłoża. Rozpoznanie specyfiki obszaru ułatwia wykonawcy określenie sposobu prowadzenia zdjęcia geologicznego wraz z odpowiednią dokumentacją (rejestracja punktów dokumentacyjnych: odsłonięć, sond ręcznych i mechanicznych, wkopów oraz innych robót ziemnych) oraz zapisem obserwacji geologicznych i geomorfologicznych wykonywanych wzdłuż marszrut zdjęciowych.

Opracowanie arkusza SMGP następuje na podstawie zatwierdzonego projektu (programu) prac geologicznych. Zakres prac przygotowawczych jest znacznie szerszy w przypadku wykonawcy, który nie uczestniczył w pracach projektowych do arkusza. W takiej sytuacji przed rozpoczęciem badań terenowych należy wykonać **analizę projektu (programu) prac geologicznych**, a w szczególności:

- zapoznać się z aktem zatwierdzającym projekt;

Tabela 1

Zakres i kolejność prac przygotowawczych i geologiczno-zdjęciowych

OGÓLNE PRZYGOTOWYWANIE PRAC GEOLOGICZNO-ZDJĘCIOWYCH

- analiza projektu (programu) prac geologicznych
- zestawienie profili wierceń archiwalnych
- wykonanie przekrojów geologicznych roboczych
- przygotowanie podkładów topograficznych
- wykonanie mapy hipsometrycznej
- interpretacja zdjęć lotniczych i satelitarnych
- analiza geomorfologiczna
- opracowanie harmonogramu prac geologiczno-zdjęciowych

ETAPOWE PRZYGOTOWYWANIE PRAC GEOLOGICZNO-ZDJĘCIOWYCH

- lokalizacja wierceń i sond z dokumentacji specjalistycznych
- wytypowanie odsłonięć, wyrobisk, skarp
- wyróżnienie rodzajów form rzeźby
- wniesienie danych z fotointerpretacji zdjęć lotniczych i satelitarnych
- narysowanie granic geologicznych z map wcześniejszych
- analiza profili wierceń archiwalnych i przekrojów roboczych

CODZIENNE PRZYGOTOWYWANIE PRAC GEOLOGICZNO-ZDJĘCIOWYCH

- wyznaczanie przejazdów i marszrut
- narysowanie na mapie terenowej przypuszczalnych granic geologicznych
- wyznaczanie lokalizacji ważniejszych punktów dokumentacyjnych

PRACE GEOLOGICZNO-ZDJĘCIOWE

- rozpoznawanie litologii
- rozpoznawanie form rzeźby

Praca na mapie terenowej	Prowadzenie notatnika terenowego	Prace dokumentacyjne
– nanoszenie symboli litologicznych	– opisy punktów dokumentacyjnych	– wykonywanie sondowań ręcznych
– nanoszenie punktów marszrutowych	– plany sytuacyjne	– oczyszczanie odsłonięć
– nanoszenie punktów dokumentacyjnych z numeracją	– rysunki odsłonięć	– wykonywanie wkopów
– rysowanie granic geologicznych	– schematyczne przekroje geologiczne	– opróbowanie
– inne oznaczenia (głazy narzutowe, źródła, itp.)	– opis dokumentacji fotograficznej	– weryfikacja lokalizacji wierceń archiwalnych
– aktualizacja treści mapy topograficznej	– opis miejsc opróbowania	– dokumentacja fotograficzna
	– sprecyzowanie problemów do rozwiązania z użyciem sondy mechanicznej	
	– inne uwagi i spostrzeżenia	

CODZIENNE OPRACOWYWANIE MAPY TERENOWEJ

- narysowanie tuszem danych lokalizacyjnych i geologicznych naniesionych na mapę terenową
- narysowanie tuszem granic geologicznych (w wersji ostatecznej)
- kolorowanie pól poszczególnych wydzieleń geologicznych
- analiza wykonanej mapy i wyznaczenie elementów koniecznych do sprawdzenia i uzupełnienia

ETAPOWE PRACE ZESTAWCZE

- uzupełnienie i analiza przekrojów roboczych
- analiza problemów geologicznych wyłonionych w trakcie prac geologiczno-zdjęciowych
- lokalizacja punktów dokumentacyjnych do wykonania sondą mechaniczną
- wytypowanie odsłonięć do szczegółowego opracowania i opróbowania

UZUPEŁNIAJĄCE PRACE DOKUMENTACYJNE

- wykonanie sondowań mechanicznych (opis profili, opróbowanie)
- szczegółowe opracowanie ważniejszych odsłonięć (rysunki, dokumentacja fotograficzna, opróbowanie)

- przestudiować wszystkie materiały publikowane i archiwalne uwzględnione w projekcie (programie);
- uzyskać od autora projektu (programu) wszelkie materiały robocze i zestawcze opracowane w ramach prac projektowych lub je wykonać; dotyczy to w szczególności profili wierceń archiwalnych i przekrojów roboczych;
- przeanalizować zestawienia profili słupkowych wierceń archiwalnych oraz mapę topograficzną w skali 1:25 000, z kompletem danych geologicznych zebranych w ramach projektu (programu).

Jeśli sąsiednie arkusze SMGP zostały już opracowane, należy poddać szczegółowej analizie materiały opublikowane i archiwalne. Z CAG PIG należy wypożyczyć materiały terenowe (formatki terenowej mapy geologicznej i notatniki terenowe) i dla uzgodnienia styków arkuszy dokładnie zapoznać się z danymi z pasa przygranicznego. Materiały terenowe z sąsiednich arkuszy ułatwią rozpoczęcie prac geologiczno-zdjęciowych, wprowadzając autora w problematykę budowy geologicznej.

Zestawienie profili wierceń archiwalnych powinno być dokonane w ramach opracowywania projektu (programu) prac geologicznych w postaci profili słupkowych. Jeśli arkusz nie jest opracowywany bezpośrednio po wykonaniu prac projektowych, należy uzupełnić zestawienie wierceń archiwalnych. Dotyczy to również kilkuletniego okresu opracowywania arkusza — przed opracowaniem końcowym należy zestawić wszystkie profile wierceń wykonanych w okresie po wykonaniu projektu (programu).

Zaleca się także wykonanie mapy litologicznej zawierającej informacje ze stropowych części profili wierceń archiwalnych i sond oraz odsłonięć. Sporządzić ją należy na podkładzie topograficznym w skali 1:25 000 w formie profili słupkowych rozmieszczonych zgodnie z ich lokalizacją. Profile powinny zawierać podstawowe rozróżnienia litologiczne (piaski, piaski i żwiry, gliny zwałowe, mułki, iły, wapienie, margle, torfy, gytie i in.), a w miarę potrzeby również rozróżnienia stratygraficzne.

Zebrane w czasie prac projektowych materiały geologiczne: archiwalne otwory wiertnicze, mapy geologiczne powierzchniowe i odkryte, sondy, odsłonięcia i inne punkty dokumentacyjne powinny zostać poddane wstępnej interpretacji. Podstawową formą łącznego przedstawienia i przeanalizowania archiwalnych prac geologicznych są **przekroje geologiczne robocze**. Powinny być one wykonywane w ramach projektu (programu) prac geologicznych, a następnie uzupełniane i interpretowane w miarę uzyskiwania nowych danych geofizycznych, wiertniczych, dokumentacyjnych i geologiczno-zdjęciowych.

Zestawienie przekrojów roboczych pozwala na powiązanie budowy geologicznej z sytuacją morfologiczną i z regionem fizyczno-geograficznym oraz na przedstawienie otrzymanego obrazu zgodnie z zasadami ustalania stratygrafii czwartorzędu i z wynikami rozpoznania geologicznego zarówno na płaszczyznach przekrojów, jak też między przekrojami na większym obszarze. W przypadku osadów czwartorzędowych zestawienie takie pozwala ponadto na uwzględnienie wyników badań stanowisk reperowych oraz analiz paleogeograficznych. Przekroje geologiczne powinny być wykonane w oparciu o faktyczną sytuację topograficzną (na tym etapie prac należy unikać rzutowania otworów wiertniczych na linie przekrojów) przeniesioną z mapy topograficznej, z zaznaczeniem rzek, dolin, linii grzbietowych i wzniesień. Przekroje powinny być wykonane w jednolitej skali poziomej (1:25 000) i pionowej (zaleca się skalę 1:1 000, ew. mniejszą). Skala przekrojów roboczych powinna być dobrana tak, by nie różniła się od skali, w której będą konstruowane przekroje do opracowania końcowego. Należy wykonać siatkę przekrojów rów-

noległych i prostopadłych do siebie, przechodzących przez obszar całego arkusza. Interpretacja powinna być przeprowadzona w miarę możliwości dla wszystkich otworów wiertniczych. Należy włączyć do niej także inne ważniejsze informacje geologiczne z sond i odsłonięć.

Przekroje geologiczne ukazują zróżnicowanie litologiczne osadów, układ i sekwencję stratygraficzną utworów o różnej genezie. Graficzne przedstawienie wyróżnianych warstw powinno umożliwić określenie procesów depozycyjnych. W ten sposób powstaje wstępny schemat interpretacyjny, który powinien podlegać weryfikacji w trakcie prac geologicznych prowadzonych na arkuszu. W celu łatwiejszego posługiwania się kompletem materiałów geologicznych i uproszczenia weryfikacji, należy zestawić ustalone wstępnie wydzielenia w formie legendy lub tabeli (wzór: tabela litologiczno-stratygraficzna w Instrukcji, 1996). To robocze zestawienie powinno być co najmniej dwukrotnie zreinterpretowane: po wykonaniu wierceń badawczych i niezbędnych robót geologicznych wzdłuż przekroju i w jego sąsiedztwie oraz ponownie — po uzyskaniu wyników badań laboratoryjnych (litologiczno-petrograficznych, palinologicznych i in.). Umożliwia to utrzymanie kontroli nad interpretacją całości materiałów geologicznych aż do opracowania końcowego.

Na etapie prac przygotowawczych przekroje geologiczne robocze powinny być wykorzystane dla wstępnego rozeznania geologicznych uwarunkowań zmienności morfologii obszaru. Dlatego też należy je konstruować poprzecznie do struktur geologicznych, granic regionów geomorfologicznych, dużych form rzeźby, tak aby prowadziły do uzyskania na tyle wszechstronnej charakterystyki zmienności geologicznej między jednostkami, na ile pozwalają na to dostępne materiały geologiczne. Na tym etapie badań, na niektórych arkuszach SMGP będzie możliwe wstępne scharakteryzowanie głównych granic geologicznych, np. rozdzielających wysoczyznę morenową od dużej doliny rzecznej czy obszaru akumulacji sandrowej. Pozwoli to także na wyodrębnienie obszarów ze skomplikowaną budową geologiczną (np. rozległe strefy zaburzeń glacitektonicznych, wychodnie osadów spod poziomów glacjalnych współwystępujące z osadami pochodzącymi z deglacjacji itp.).

Do pracy w terenie należy przygotować **podkład topograficzny** w skali 1:25 000 (pocięty na formatki), na który będzie nanoszona treść zdjęcia geologicznego (terenowa mapa geologiczna) zgodnie z zakresem i sposobem rejestracji określonym w Instrukcji (1996). Powinien to być drugi egzemplarz takiej samej mapy topograficznej, jaka została użyta do mapy dokumentacyjnej dla projektu (programu) prac geologicznych. Mapa ta powinna obejmować poza terenem arkusza również margines arkuszy sąsiednich — obszar o szerokości co najmniej 2 km.

Praca w terenie wymaga dobrania takiego podkładu topograficznego, który umożliwi wykonanie pomiarów kartometrycznych. Aktualnie najlepszym podkładem dla szczegółowej mapy geologicznej jest mapa topograficzna w skali 1:25 000 w układzie *1942*. Mapa ma siatkę współrzędnych geograficznych opartą na odwzorowaniu Gaussa-Krügera oraz jednolitą siatkę kilometrową. Na arkusz SMGP składają się jej cztery arkusze. Przeznaczona jest ona do użytku służbowego i rozprowadzana przez wojskowe służby kartograficzne.

Można także stosować mapę topograficzną w państwowym układzie współrzędnych *1965*, opracowaną dla całej Polski przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii. Mapa ta wydawana jest w cięciu arkuszowym. Terytorium Polski jest podzielone na strefy, z których każda ma odrębną siatkę kilometrową. Obszar arkusza obejmuje w kierunku południkowym do 16 km, a w kierunku równoleżnikowym do 10 km. Wadą tego podkładu topograficznego jest brak siatki geograficznej, zaś schematyczne przedstawienie obszarów zwartej zabudowy może utrudniać lokalizację podczas pracy terenowej. Mapa jest dostępna w otwartej sprzedaży, którą prowadzą Okręgowe Przedsiębiorstwa Geodezyjno-Kartograficzne, a także niektóre księgarnie.

Jako podkładu podstawowego należy unikać stosowania zniekształconej celowo mapy powiatów w skali 1:25 000 (tzw. mapy obrębowej) nawet tam, gdzie niedostępna jest mapa topograficzna w układzie *1965*. W razie konieczności korzystania z mapy obrębowej należy liczyć się ze zniekształceniami: odległości (do 750 m w stosunku do mapy oryginalnej), kątów (do 15°), wysokości (do kilku metrów). Mapa ta jest pozbawiona wielu obiektów, w tym prawie wszystkich obiektów przemysłowych, co stanowi zasadnicze utrudnienie przy lokalizacji archiwalnych prac geologicznych.

Do wykonywania terenowych prac kartograficznych podkład topograficzny powinien zostać utworzony z map topograficznych w skali 1:25 000 w taki sposób, aby po zakończeniu prac zdjęciowych mógł być złożony w jedną całość.

Kolorową **mapę hipsometryczną** (warstwicową) całego arkusza wykonuje się na odbitce kserograficznej podkładu topograficznego, w skali 1:25 000, całego arkusza wraz z marginesem arkuszy sąsiednich. Do mapy dołączana jest legenda z podaniem skali barw. W zależności od specyfiki morfologicznej danego terenu (wielkość względnych deniwelacji) zaznaczone barwnie przedziały wysokości należy przyjąć co 2,5, 5 lub 10 m. Zastosowanie przedziałów co 2,5 lub 5 m dla terenów bardzo płaskich, np. obszarów sandrowych, silnie zdenudowanych wysoczyzn i in., pozwoli uplastycznić morfologię danego terenu. Powinno się stosować około 10 przedziałów barwnych: od zielonych dla terenów niżej położonych, przez żółte, pomarańczowe do brązowych dla obszarów położonych najwyżej.

Interpretacja **zdjęć lotniczych** (ewentualnie również **satelitarnych**) powinna obejmować wykonanie szkiców fotointerpretacyjnych dla wybranych obszarów lub form rzeźby, np. obszary wydmowe, tarasy rzeczne ze starorzeczami, podmokłości, torfowiska itp. Przegląd zdjęć lotniczych umożliwia również przeniesienie na podkład topograficzny wszelkich wyrobisk, podcięć i stromych skarp, nie uwzględnionych na mapie.

Po przygotowaniu mapy topograficznej, pokolorowanej mapy hipsometrycznej oraz po dokonaniu interpretacji zdjęć lotniczych (ew. satelitarnych) i zebraniu archiwalnych materiałów geologicznych (mapy geologiczne, dokumentacje geologiczne i otwory wiertnicze), wykonawca powinien przystąpić do **analizy geomorfologicznej**. Kameralna analiza geomorfologiczna opiera się na cechach morfometrycznych form rzeźby. Powinna ona być wsparta archiwalnymi materiałami geologicznymi. Zasady identyfikacji form na mapach topograficznych są zawarte w podręcznikach Klimaszewskiego (1978), Marcinkiewicza (1960) i Lindnera, red. (1992). W szczególności należy zwrócić uwagę na poziomice, gdyż zmiany ich przebiegu mogą wynikać z różnic budowy geologicznej. Zmiany odległości między poziomicami (skupianie i oddalanie się od siebie), raptowne zmiany ich kierunku i przebiegu (np. łamana linia przechodząca w odcinek prosty), a także zmiany spadków i kierunku nachylenia stoku, mogą być skutkiem różnic litogenetycznych i stratygraficznych. Informacje uzyskane w trakcie takiej analizy należy później uwzględnić przy wyznaczaniu marszrut zdjęciowych i lokalizacji punktów dokumentacyjnych. Wpływają one bowiem na zmianę gęstości i kierunków marszrut zdjęciowych. Analizie geomorfologicznej należy poddać nie tylko teren arkusza, ale także tereny sąsiednie. Szczególnie ważne jest by objęła ona fragmenty już sporządzonych arkuszy SMGP, z którymi graniczy opracowywany arkusz.

Cechy krajobrazowe w sposób znaczący wpływają na obraz geomorfologiczny: inaczej wyglądają wysoczyzny morenowe w młodoglacjalnych strefach czołowo-morenowych, a inaczej w środkowej Polsce. Analiza geomorfologiczna powinna umożliwić wyciągnięcie wstępnych wniosków dotyczących ciągłości, jak również odrębności cech budowy geologicznej kartowanego arkusza SMGP w stosunku do budowy geologicznej obszarów sąsiednich.

Wykonawca powinien przeprowadzić identyfikację i rejestrację na mapie form rzeźby terenu. Ważną cechą morfologiczną są podobieństwa oraz różnice wielkości i ukierunkowania form. W przypadku, gdy stwierdzane są wychodnie skał starszych mapa topograficzna pomaga określić rodzaje form lub ich części (podnóża stoków, stoki, kulminacje). Ukierunkowuje to badania, w tym prace dokumentacyjne, na konkretne sytuacje morfologiczne. Ważnymi i godnymi uwagi elementami są strefy zmiany spadków na stokach, często identyfikowane ze zmianami litologii.

Analiza geomorfologiczna wykonywana w trakcie ogólnego przygotowywania prac geologiczno-zdjęciowych, może ułatwić rozdzielenie obszarów o różnych typach krajobrazu. W oparciu o kryterium cech krajobrazowych należy określić strefy o podobnej rzeźbie, które można wstępnie zdefiniować jako regiony geomorfologiczne. Pozwalają one, jeszcze przed przystąpieniem do prac kartograficznych, na określenie stref o podobnych cechach morfologicznych i przypuszczalnie podobnej budowie geologicznej. Przy analizie obniżeń należy zwrócić uwagę na ich rozległość i kształt, charakter i zmienność podmokłości oraz zabagnień, sposób przejścia na obszar sąsiedni (krawędź, bądź jej brak) oraz na formy pozytywne w obrębie obniżenia. Wzniesienia są określane przez charakter kulminacji (pojedyncze wzgórze lub ich zespoły o różnym układzie kulminacji, obecność obniżeń między kulminacjami). Należy zwrócić uwagę na głębokość występowania wód gruntowych oraz na zabagnienia i podmokłości na załamaniach stoków. Miejsca takie powinny być poddane obserwacjom geologicznym w czasie marszrut terenowych, jak również pracom dokumentacyjnym. Duże obszary leśne kontrastujące z obszarami bezleśnymi zazwyczaj podkreślają różnice budowy geologicznej, co należy uwzględniać przy wyborze metody prac geologiczno-zdjęciowych i lokalizacji prac dokumentacyjnych.

Przed rozpoczęciem prac terenowych sporządza się możliwie szczegółowy **harmonogram prac geologiczno-zdjęciowych**, polegający na sprecyzowaniu harmonogramu zawartego w projekcie (programie) prac geologicznych. Analiza arkusza powinna pozwolić na określenie obszarów kluczowych — najważniejszych dla rozpoznania budowy geologicznej, a przeważnie również najtrudniejszych do skartowania. Obszary te powinny być kartowane w pierwszej kolejności zarówno dlatego, że uzyskane dane będą rzutowały na opracowywanie pozostałych obszarów, jak i ze względu na pracochłonność. W pierwszym etapie prac terenowych wykonujemy wyłącznie kartowanie i bieżące prace dokumentacyjne, później dochodzą uzupełniające prace dokumentacyjne (sondy mechaniczne), nadzór wierceń itp. W przypadku wcześniejszego opracowania arkuszy sąsiednich, dobrze jest rozpocząć prace geologiczno-zdjęciowe od granicy jednego z takich arkuszy, wykorzystując archiwalne materiały terenowe. Istotne znaczenie ma również sezonowe zaplanowanie prac terenowych — ze względu na świeżo zaorane pola uprawne kartowanie jest znacznie łatwiejsze wczesną wiosną i jesienią, tereny podmokłe mogą być niedostępne wczesną wiosną, w letnie upały lepiej pracować w lasach itp.

3.1.2. Etapowe przygotowywanie prac geologiczno-zdjęciowych

Oznacza to prace kameralne — przygotowawcze przed dłuższym, przeglądowym wyjazdem w teren, np. na okres 2 tygodni, obejmujące uzupełnianie podkładu topograficznego służącego następnie do kartowania (tab. 1). Poza wcześniej naniesionymi (tuszem) wierceniami archiwalnymi i liniami przekrojów roboczych na podkład topograficzny nanosi się (ołówkiem) w tym etapie następujące szczegółowe dane:

- lokalizację płytkich wierceń i sond zawartych w dokumentacjach złożowych, geologiczno-inżynierskich, torfowych, opracowaniach glebowych i innych, a przy dużym zagęszczeniu otworów — granice geologiczne wyznaczone na ich podstawie;
- wszystkie odsłonięcia, wyrobiska i większe skarpy możliwe do odczytania z mapy oraz wyróżnione na zdjęciach lotniczych (satelitarnych);
- wyróżnione w ramach analizy geomorfologicznej formy rzeźby, np. ciągi wzgórz (moreny czołowe, ozy, kemy), tarasy itp.;
- granice geologiczne ze szkiców fotointerpretacyjnych lub bezpośrednio ze zdjęć lotniczych oraz archiwalnych i opublikowanych map geologicznych.

Należy również przeanalizować profile wszystkich wierceń archiwalnych i odpowiednie odcinki przekrojów roboczych w celu ustalenia zmienności litologicznej oraz miąższości osadów przypowierzchniowych.

3.1.3. Codzienne przygotowywanie prac geologiczno-zdjęciowych

Na obszarze przewidzianym do skartowania w danym dniu należy przed wyjazdem w teren dokonać na mapie (zaznaczyć ołówkiem) szczegółowej analizy (tab. 1). Powinna ona obejmować:

- wyznaczanie przewidywanych przejazdów i marszrut, z uwzględnieniem punktów i obszarów o szczególnym znaczeniu pod względem ich budowy geologicznej oraz rzeźby, jak również najszybszego dojazdu lub dojścia do nich — przede wszystkim dotyczy to obszarów trudnodostępnych, np. rozpoznanie kompleksu wzgórz lub obszaru bagiennego z różnych stron, bez niepotrzebnych przejazdów lub dalekich dojść i powrotów do samochodu;
- rysowanie na mapie terenowej (wg topografii) przypuszczalnych granic form rzeźby, jak również granic deluwiów, aluwiów i proluwiów, czyli okonturowanie zagłębień bezodpływowych, bagien i podmokłości, suchych dolinek czy wąwozów, stożków, tarasów rzecznych, starorzeczy, wydm, nasypów itp.;
- wyznaczanie lokalizacji wstępnie planowanych ważniejszych punktów dokumentacyjnych (sond ręcznych lub wkopów), z uwzględnieniem miejsc koniecznych do sprawdzenia w terenie, a wytypowanych w ramach prac przygotowawczych; planowanie punktów dokumentacyjnych powinno uwzględniać również wstępnie ich liczbę na 1 km^2 przewidzianą projektem (programem) prac, zgodnie ze stopniem złożoności budowy geologicznej.

Codzienne przygotowywanie prac zdjęciowych powinno być połączone z **codziennym opracowywaniem mapy terenowej** wykonanej w danym dniu. Obejmuje ono w szczególności narysowanie tuszem lokalizacji punktów marszrutowych i dokumentacyjnych wraz z ich numeracją oraz symboli litologicznych wzdłuż wykonanych marszrut. Najważniejszą czynnością w ramach codziennego opracowywania mapy terenowej jest rysowanie tuszem granic geologicznych oraz kolorowanie wydzielonych pól. Ta czynność uwidacznia wszelkie wątpliwości wymagające ewentualnego dopracowania w terenie. Prace terenowe w następnym dniu rozpoczynamy od wyjaśnienia tych wątpliwości, co w efekcie umożliwi ustalenie ostatecznej wersji granic geologicznych.

3.2. ZASTOSOWANIE TELEDETEKCJI GEOLOGICZNEJ

Teledetekcja jest metodą badawczą wykorzystującą zdalne obserwacje i pomiary obiektów w zakresie widma elektromagnetycznego, począwszy od nadfioletu poprzez zakres widzialny i podczerwień po mikrofale (techniki radarowe). Zdalne obserwacje i informacje, rejestrowane m.in. w postaci zdjęć, wykonywane są z pokładu samolotu lub satelity (Sabins, 1986).

Metody teledetekcyjne, w tym zdjęcia satelitarne, stały się w ostatnich latach jednym z podstawowych narzędzi badawczych w geologii (Miller, 1961; Allum, 1969; Ostaficzuk, 1978). Złożyły się na to trzy czynniki:

– bogactwo i różnorodność informacji o charakterze geologicznym możliwych do odczytania na zdjęciach,

– łatwy dostęp do informacji (zarówno lotniczych jak i satelitarnych),

– stosunkowo niewielki koszt zdjęć.

3.2.1. Zdjęcia lotnicze

Informacje na **pojedynczym** czarno-białym (lub barwnym) zdjęciu lotniczym są wyrażone przez zróżnicowane **fototony** (tony obrazu fotograficznego), które są bardzo ważną cechą rozpoznawczą badanego obiektu (Ciołkosz i in., 1978). Z reguły fotografie czarno-białe zawierają bogatą gamę tonów szarych, zawartych pomiędzy dwoma tonami ekstremalnymi, tj. czarnym i białym.

Skały ciemne i czarne z reguły również na zdjęciach mają fototon ciemnoszary, zaś skały białe — fototon jasny. Skały osadowe, charakteryzujące się dużą zmiennością pod względem barwy, na zdjęciach lotniczych przybierają także różne odcienie szarości. Te same uwagi dotyczą skał magmowych i metamorficznych. Istotnym czynnikiem wpływającym na charakter fototonu skał i gruntów jest również pokrywa roślinna, jak też ich wilgotność i zawodnienie. Na obszarach polodowcowych poszczególnym tonom odpowiadają zazwyczaj następujące wydzielenia:

- czarne–bardzo ciemne: lasy, lustro wód powierzchniowych, rowy odwadniające, drzewa oraz ich cienie;
- bardzo ciemne–ciemnoszare: bagna, torfowiska, zawodniona i wilgotna gleba, osady w ciekach;
- ciemnoszare–szare: piaski humusowe, osady w zagłębieniach bezodpływowych, deluwia, mułki, gliny ilaste;
- szare–jasnoszare: gliny i piaski zwałowe, piaski tarasów;
- jasnoszare–szare: piaski, obszary erozji gleby, piaski pylaste, piaski wodnolodowcowe w skarpach;
- jasne–bardzo jasne: wydmy, piaski eoliczne przewiane, obszary pozbawione gleb;
- białe: refleksy światła na wodzie, świeżo odsłonięte skarpy, wkopy w piaskach, plaże.

Na barwę skał powierzchniowych wpływają również w istotny sposób procesy wietrzenia — generalną tendencją jest rozjaśnianie fototonu skał wraz ze stopniem zwietrzenia. Identyfikowanie skał i gruntów wyłącznie na podstawie ich fototonu bywa jednak zawodne. W celu uzyskania pewniejszej interpretacji zaleca się przy korzystaniu z tej cechy uwzględniać także i inne kryteria, przede wszystkim weryfikację terenową.

Fotointerpretator, który nie posiada wiadomości o obiekcie przedstawionym na zdjęciu oraz o współzależnościach pomiędzy jego odwzorowaniem na zdjęciu a faktycznym wyglądem, może mieć trudności z jego właściwą identyfikacją i interpretacją. Potrzebna jest zatem wiedza o terenie i jego budowie geologicznej, jak również znajomość podstawowych zasad interpretacji zdjęć lotniczych. Dodatkowa uciążliwość fotointerpretacji zdjęć lotniczych tkwi w percepcji wzrokowej i wynika z przyzwyczajenia do oglądania otaczającej rzeczywistości w płaszczyźnie poziomej lub skośnej, a bardzo rzadko w rzucie pionowym. Fakt ten również uzależnia stopień wykorzystania zdjęć lotniczych od doświadczenia osoby interpretującej.

W przypadku obserwacji **stereoskopowej** zdjęć lotniczych pojawia się możliwość interpretacji innego, niezwykle ważnego wskaźnika dla rozpoznania budowy geologicznej, tj. **rzeźby terenu**. Uzyskanie efektu stereoskopowego w warunkach kameralnych wymaga, aby zdjęcia tego samego obszaru były wykonywane przy użyciu tego samego instrumentu i w tym samym czasie z dwóch różnych stanowisk, odległych o wielkość zwaną bazą fotografowania. Takie zdjęcia nazywamy stereogramami lub zdjęciami stereoskopowymi. Łączna interpretacja danych, obejmująca zróżnicowanie fototonów oraz rzeźbę terenu na stereogramach, umożliwia pozyskanie znacznie większej ilości informacji geologicznych w porównaniu z fotointerpretacją zdjęcia pojedynczego.

Urozmaicenie rzeźby, wynikające z różnic w odporności skał na procesy niszczenia oraz aktywności podłoża, ułatwia identyfikację zarejestrowanych na zdjęciach utworów skalnych. Wypływa to z możliwości kompleksowego analizowania wielu współwystępujących form rzeźby równocześnie na dużym obszarze, a także z faktu występowania przewyższonego efektu stereoskopowego. Przewyższenie stereoskopowe jest szczególnie korzystne w przypadku terenów o niewielkich deniwelacjach, ponieważ przewyższeniu ulegają jedynie obszary nachylone, natomiast obszary poziome pozostają niezmienione — rzeźba terenu staje się więc skontrastowana. Innym ważnym wskaźnikiem budowy geologicznej jest charakter stoku. Istotnym elementem dla interpretacji typów i rodzajów skał jest kształt form, nadających każdej powierzchni specyficzną teksturę obrazu. Analiza kształtu form daje możność odróżnienia osadów luźnych od zwięzłych, skał osadowych od magmowych itp. Identyfikacja poszczególnych form rzeźby terenu lub ich zespołów jest sprawą stosunkowo prostą, pod warunkiem znajomości podstaw geologii dynamicznej i geomorfologii (por. Jaroszewski i in., 1985).

Szczególnym wskaźnikiem fotointerpretacyjnym jest układ sieci hydrograficznej — **sieci drenażu**. System drenażu, łatwo rozpoznawalny na zdjęciach, jest uwarunkowany nachyleniem powierzchni oraz charakterem utworów podłoża, dlatego odzwierciedla on w dużym stopniu litologię oraz struktury geologiczne (fig. 1). Wyróżnia się siedem podstawowych typów sieci hydrograficznej.

- *Dendryczny* — jest najbardziej rozpowszechnionym typem sieci rzecznej. Przebieg cieków jest zazwyczaj kręty i nieuporządkowany. Wskazuje on z reguły na tereny zbudowane ze skał o podobnym wykształceniu litologicznym lub z utworów położonych poziomo. Mogą to być także obszary zbudowane z piasków, żwirów i glin zwałowych, na których erozja nie zdołała wytworzyć uporządkowanej i ukierunkowanej sieci dolinnej.
- *Kratowy* — stanowi odmianę typu dendrycznego. Cieki główne charakteryzują się przebiegiem równoległym lub prawie równoległym, natomiast dopływy biegną w stosunku do nich pod kątem prostym. Sieć taka odzwierciedla często strukturę podłoża, np. w miejscu występowania fałdów równoległych, pociętych uskokami. Wskazuje ona także na skały osadowe o zróżnicowanej litologii i zdecydowanym upadzie. Typ kratowy może również występować na obszarze akumulacji lodowcowej z pagórkami drumlinowymi.
- *Równoległy* — rozwija się na homogenicznych, łagodnie nachylonych powierzchniach. Może wskazywać na skały osadowe o różnej odporności na niszczenie oraz na monoklinalne ułożenie

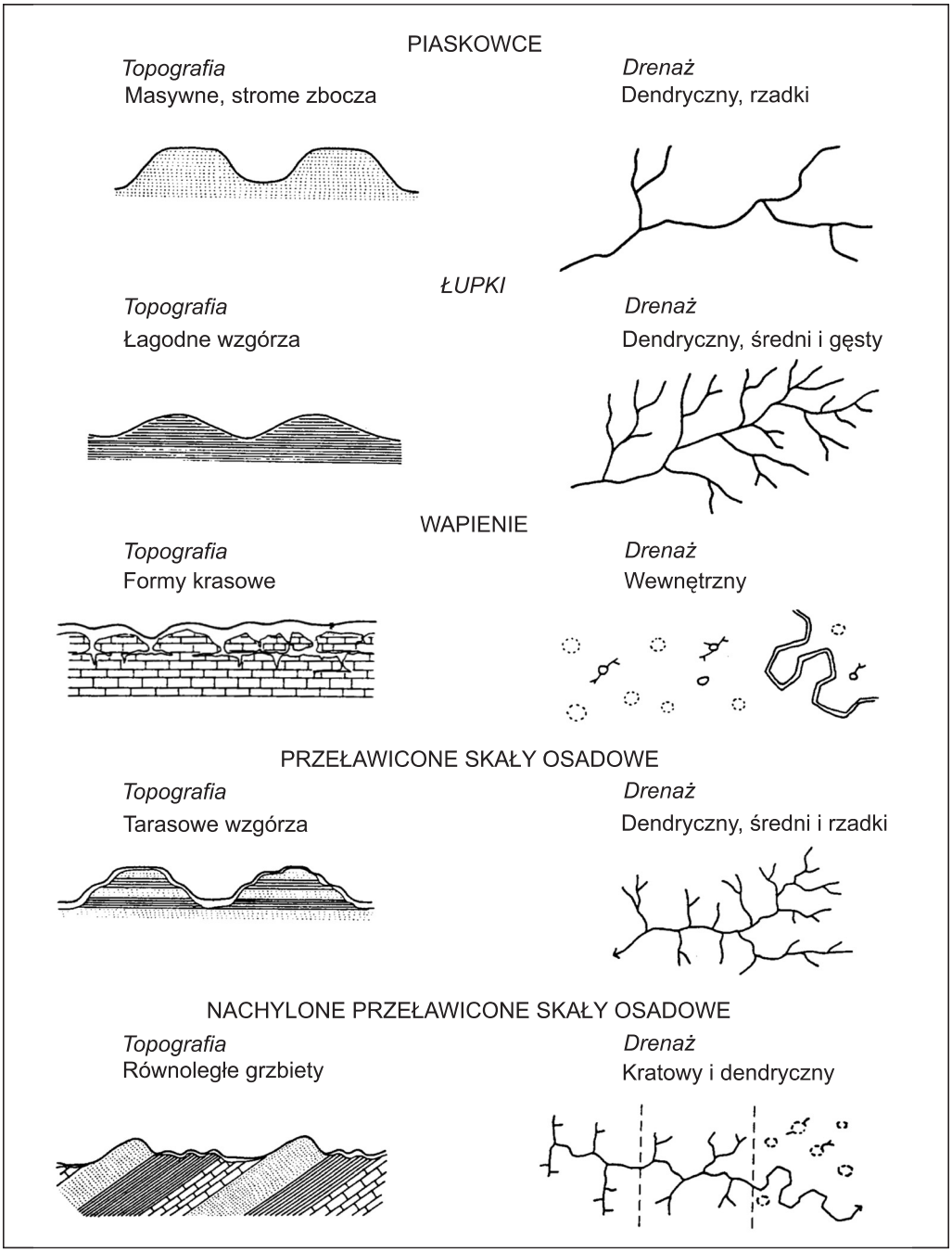


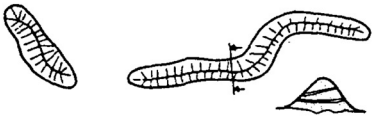
Fig. 1. Wybrane przykłady zależności sieci drenażu od charakteru powierzchni terenu

cd. fig. 1

OZY

Topografia
Wężowate grzbiety

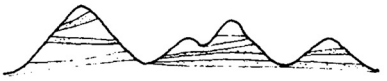
Drenaż
Brak



KEMY

Topografia
Stożkowe wzgórza

Drenaż
Brak



SANDRY

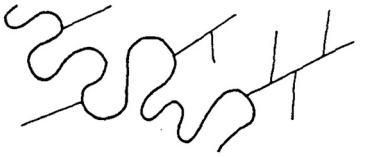
Topografia
Płaskie równiny

Drenaż
Wewnętrzny

OSADY ZASTOISKOWE

Topografia
Płaskie szerokie powierzchnie

Drenaż
Meandry, sztuczny



WYDMY

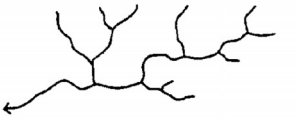
Topografia
Formy wydmokształtne

Drenaż
Brak

GRANITY

Topografia
Wyraziste kopulaste wzgórza

Drenaż
Dendryczny, średni



GRUBE POKRYWY GLIN ZWAŁOWYCH

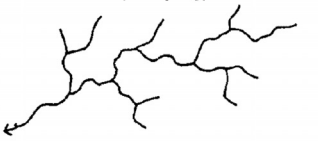
Topografia
Płaskie, częściowo rozcięte doliny

Drenaż
Dendryczny, średni

CIENKIE POKRYWY GLIN ZWAŁOWYCH

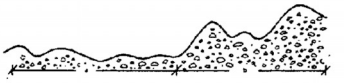
Topografia
Zróżnicowana

Drenaż
Związany z podłożem



MORENA CZOŁOWA

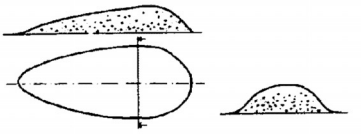
Topografia
Pofalowana, nieregularna



Drenaż
Wewnętrzny

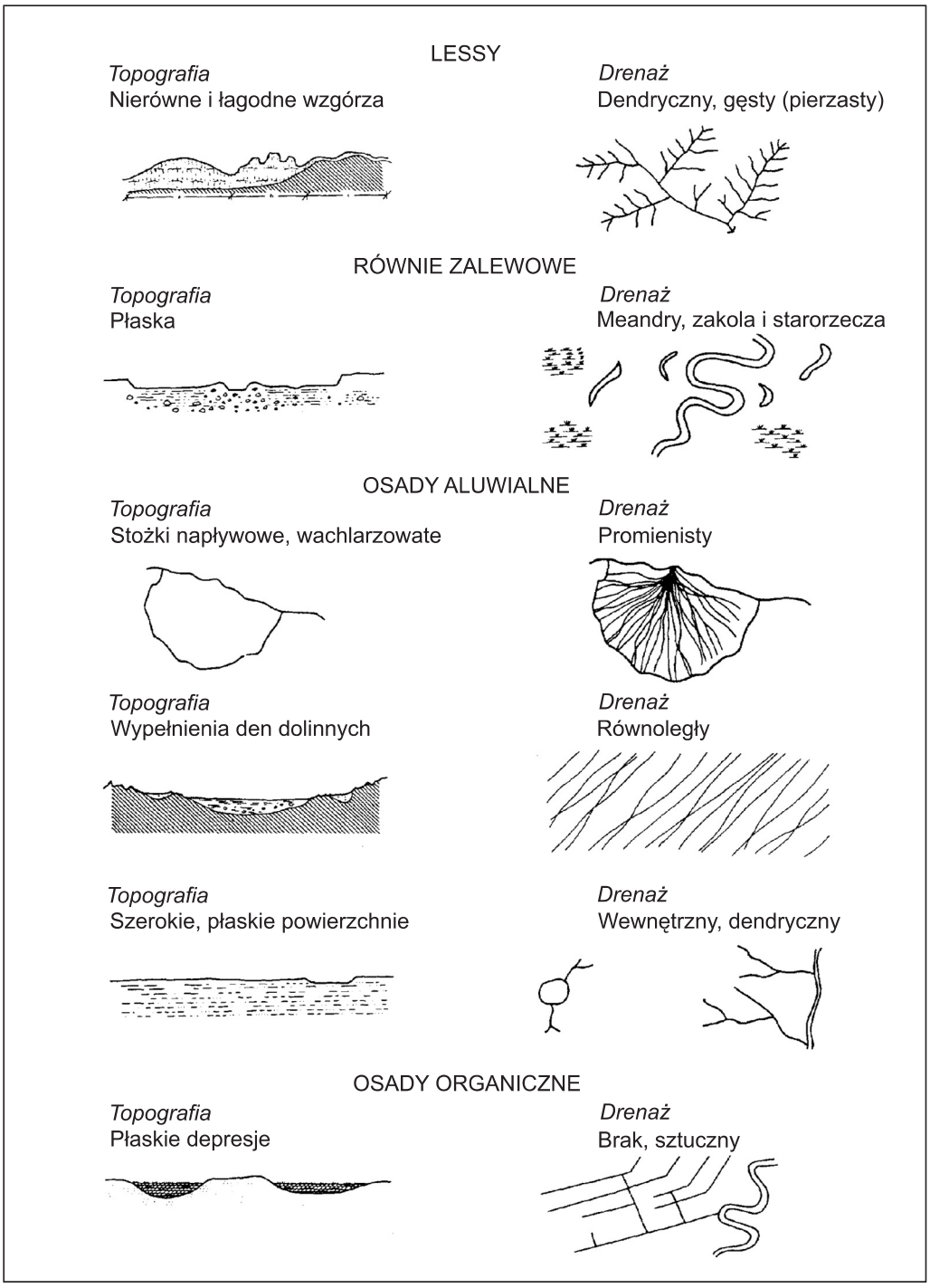
DRUMLINY

Topografia
Formy drumlinokształtne



Drenaż
Brak

cd. fig. 1


LESSY
Topografia
Nierówne i łagodne wzgórza
Drenaż
Dendryczny, gęsty (pierzasty)
RÓWNIE ZALEWOWE
Topografia
Płaska
Drenaż
Meandry, zakola i starorzecza
OSADY ALUWIALNE
Topografia
Stożki napływowe, wachlarzowate
Drenaż
Promienisty
Topografia
Wypełnienia den dolinnych
Drenaż
Równoległy
Topografia
Szerokie, płaskie powierzchnie
Drenaż
Wewnętrzny, dendryczny
OSADY ORGANICZNE
Topografia
Płaskie depresje
Drenaż
Brak, sztuczny

warstw skalnych. Ten typ sieci obserwowany bywa także na terenach pokrytych rozległymi równoległymi nieciągłościami tektonicznymi (uskoki, strefy spękań itp.).

- *Promienisty* — charakteryzuje cieki biorące początek w centralnej części wzniesienia, spływające następnie po stokach we wszystkich kierunkach. Taka sieć hydrograficzna jest typowa dla wzniesień o zarysie kolistym, np. dla form brachyantyklinalnych lub stożków wulkanicznych. Często świadczy o młodych ruchach tektonicznych (wypiętrzających lub obniżających).
- *Kołowy* — rozwija się często wspólnie z układem promienistym. W tym jednak przypadku dopływy boczne mogą być kontrolowane przez systemy spękań. Charakteryzuje on kopuły skał osadowych lub granitów.
- *Prostokątny* — jest kolejnym wariantem typu dendrycznego; rozwija się często wzdłuż przecinających się pod kątem prostym (lub zbliżonym do prostego) systemów uskoków, szczelin lub spękań. Może on występować na dużych obszarach zbudowanych z jednorodnych skał krystalicznych lub na rozległych równinach z poziomo ułożonymi, odpornymi na niszczenie skałami osadowymi, takimi jak np. piaskowce.
- *Wewnętrzny* — charakteryzuje określone formy rzeźby (kras, sandry, morena czołowa itp.).

Zazwyczaj trudno jest wyróżnić na danym obszarze jeden z podstawowych typów cieków wodnych. Często sieć hydrograficzna wykazuje cechy mieszane.

Na zdjęciach lotniczych można również interpretować przejawy ruchów tektonicznych, które — występując na dużych obszarach — prowadzą do zróżnicowania rzeźby terenu, układu sieci rzecznej, zmian szerokości dolin itp. Przejawem ruchów tektonicznych są również **lineamenty**, stanowiące możliwe do zinterpretowania cechy liniowe powierzchni terenu, zorientowane w całości lub na pewnych odcinkach prostoliniowo. Często odzwierciedlają one niektóre zjawiska w podłożu. W literaturze termin *lineament* stosuje się wymiennie z *fotolineamentem*, podkreślając w ten sposób, że element ten został zidentyfikowany na zdjęciach (Graniczny, 1989).

Na terenach **odkrytych** lineamenty należy interpretować jako:

— uskoki i systemy spękań; te prostolinijne wklęsłe elementy terenu należą do najczęściej spotykanych; występują zazwyczaj pojedynczo lub w małych skupieniach; w przypadku braku możliwości rozpoznania przemieszczenia, określenie uskokowego lub spękaniowego charakteru lineamentu nie jest możliwe; na ogół dłuższe i wyraźniejsze lineamenty sugerują istnienie uskoków, gdy tymczasem krótsze i przecinające się ze sobą wskazują na spękania (cios);

— dajki i żyły; są one również pospolite i na ogół nie różnią się zasadniczo od lineamentów odwzorowujących uskoki lub spękania; ich przestrzenne ułożenie nawiązuje często do lokalnej sieci spękań; dajki i żyły charakteryzują się niekiedy wypukłym reliefem, który wyraźnie widać na zdjęciach;

— warstwowanie, powierzchniowe ślady wychodni różnych skał; jeśli wychodnie warstw nawiązują do rzeźby terenu, to ich ślad na powierzchni można śledzić w postaci prostych lub lekko zakrzywionych elementów linijnych, w przypadku płaskiego terenu możliwości fotointerpretacji są ograniczone; lineamenty będące odzwierciedleniem warstwowania są prawie równoległe do siebie, a niekiedy tworzą pasy współkształtnych linii o dużym zagęszczeniu;

— foliację, często podobną do lineamentów związanych z warstwowaniem, ale wykazującą pewne różnice; występuje ona w skałach, które są na ogół bardziej homogeniczne (pod względem składu i właściwości fizycznych) w stosunku do większości skał osadowych; lineamenty związane z foliacją są zazwyczaj krótsze i charakteryzują się większym zagęszczeniem w stosunku do lineamentów odzwierciedlających warstwowanie.

Na terenach **zakrytych** na lineamenty odzwierciedlające blokowe struktury podłoża mogą wskazywać:

— drenaż; prostolinijne odcinki rzek i dopływów oraz specyficzny układ, np. prostokątny lub kratowy;

— krawędzie morfologiczne (skarpy, grzbiety i wcięcia erozyjne);

— wydłużone jeziora i prostolinijne krawędzie zbiorników wodnych;

— ciągi jeziorne (zbiorniki o małych rozmiarach);

— prostolinijne odcinki dolin rzecznych lub krawędzie tarasów;

— prostolinijne ciągi roślinności, często zaznaczające się na obszarach podmokłych (lub na pograniczu obszarów suchych i podmokłych);

— prostolinijne odcinki terenu o podwyższonej wilgotności, często na obszarach występowania osadów organicznych;

— prostolinijne anomalie tonalne w obrębie roślinności jednego gatunku;

— zespoły różnych elementów prostolinijnych wymienionych w poprzednich punktach.

Rozpoznawanie elementów budowy geologicznej na zdjęciu przebiega z reguły w dwóch etapach. W pierwszym etapie rozpoznaje się zróżnicowanie fototonu, rzeźbę terenu, typy sieci hydrograficznej, pokrywę roślinną, elementy antropogeniczne, wychodnie geologiczne, odkrywki

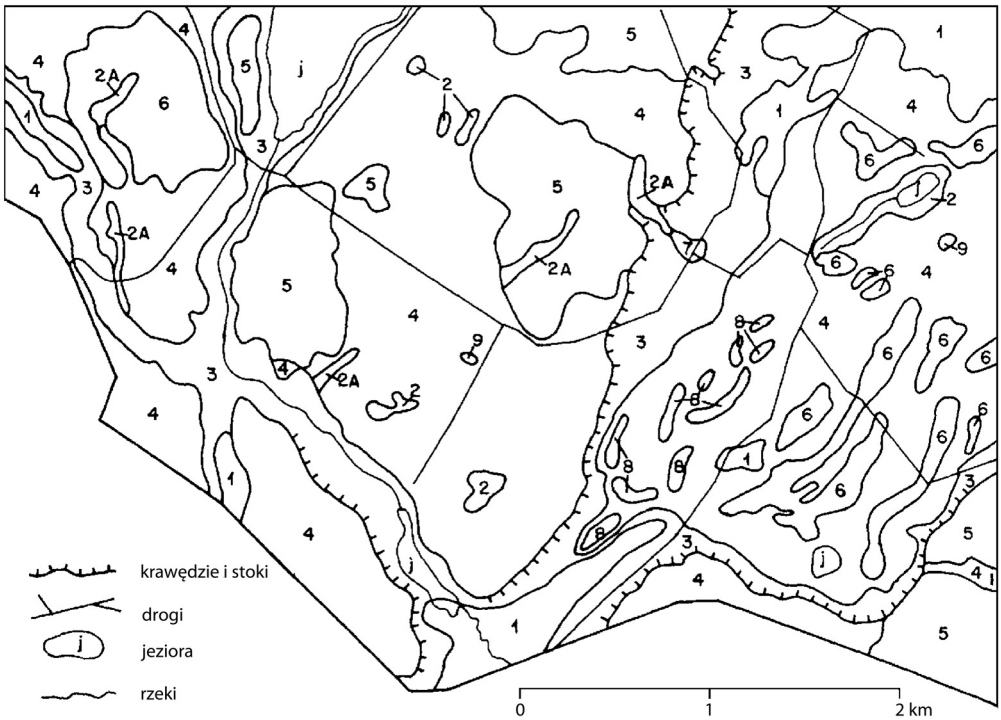


Fig. 2. Szkic fotogeologiczny

1 — obszary podmokłe (torfy i namuły organiczne), *2* — zagłębienia bezodpływowe (osady organiczne), *2A* — dolinki denudacyjne, *3* — dna dolin rzecznych (osady aluwialne), *4* — równiny sandrowe o jasnym fototonie (piaski i żwiry), *5* — tereny wyniesione o ciemnym fototonie (gliny zwałowe), *6* — wzgórza morenowe (piaski i gliny zwałowe), *7* — stożki napływowe, *8* — wały ozów (piaski i żwiry), *9* — wyrobiska (piaskownie i żwirownie)

itp. W wyniku prac w tym etapie powstaje szkic fotogeologiczny (fig. 2), który może być pomocny również przy projektowaniu marszrut terenowych. W drugim etapie zinterpretowane dane fotogeologiczne należy przeanalizować w aspekcie struktur geologicznych oraz litologii. Następuje to z reguły w trakcie prac terenowych i prowadzi do zastąpienia mapy fotogeologicznej mapą geologiczną.

3.2.2. Zdjęcia satelitarne

Podstawowe zasady fotogeologicznej analizy zdjęć satelitarnych nie odbiegają od opisanych wyżej zasad analizy zdjęć lotniczych. Różnica tkwi jedynie w stopniu generalizacji interpretowanych elementów oraz w wielkości analizowanego obszaru.

Za datę narodzin nowoczesnej teledetekcji satelitarnej uznaje się powszechnie 23 lipca 1972 roku, kiedy to został wystrzelony pierwszy satelita z serii Landsat. Tak jak wiele podobnych systemów satelitarnych, wykonuje on zdjęcia w kilku pasmach widma elektromagnetycznego (zakres widzialny i podczerwień) przy użyciu skanera wielospektralnego. Zdjęcia z tego satelity zostały wykorzystane nie tylko do celów geologii prospekcyjnej i kartografii geologicznej, ale zapoczątkowały także prace nad metodami numerycznego przetwarzania zdjęć w celu maksymalnego uwypuklenia struktur tektonicznych (lineamenty) oraz zróżnicowania litologicznego zobrazowanych utworów.

Satelity lat dziewięćdziesiątych cechują się coraz lepszymi parametrami technicznymi, w tym zdolnością rozdzielczą, czyli wskaźnikiem określającym najmniejszy obiekt rozpoznawalny na zdjęciach. Do ich najważniejszych zalet należą:

— możliwość nieskrępowanego dostępu do materiałów niemal z całego globu;

— powtarzalność; zdjęcia wykonywane są w różnych porach roku (przy różnych warunkach oświetlenia, możliwość wyboru zdjęć wykonanych w bezchmurne dni itp.);

— synoptyczny charakter zdjęć (np. jedno zdjęcie Landsat obejmuje obszar 185×185 km);

— doskonała kartometryczność;

— cyfrowy zapis ułatwiający dalsze przetwarzanie komputerowe;

— możliwość uzyskania efektu stereoskopowego (zdjęcia satelity SPOT);

— coraz lepsza zdolność rozdzielcza (do kilku metrów);

— możliwość rejestracji zdjęć w wielu wąskich pasmach widma, ułatwiająca identyfikację kompleksów litologicznych, a nawet minerałów;

— stosunkowo niski koszt zakupu zdjęć.

Do najczęściej stosowanych systemów satelitarnych w Polsce należą Landsat TM oraz SPOT (Bażyński, 1982; Ciołkosz, Kęsik, 1989; Graniczny, 1998). Pierwszy z nich umożliwia kartowanie elementów budowy geologicznej odpowiednich do skali około 1:100 000. Zdjęcia satelity SPOT w wersji wielospektralnej „XS" (zdolność rozdzielcza 20 m) mogą być z powodzeniem wykorzystywane dla kartowania geologicznego w skali 1:50 000, a w wersji panchromatycznej „P" (zdolność rozdzielcza 10 m) nawet w skali 1:25 000.

3.2.3. Zdjęcia radarowe

Zdjęcia radarowe (system lotniczy SLAR i SAR lub satelitarny SAR) wyróżniają się kilkoma, szczególnie docenianymi przez geologów, cechami. Są to:

— uniwersalność; zdjęcia radarowe mogą być wykonywane w dzień i w nocy, niezależnie od zachmurzenia, co jest bardzo istotne w warunkach klimatycznych naszego kontynentu; dzięki temu możliwe jest obrazowanie terenu w okresie wiosennym lub jesiennym, gdy pokrywa roślinna jest stosunkowo niewielka;

— boczny kąt padania wiązki promieni radarowych powodujących podkreślenie efektu „cieniowania" na zdjęciu; fakt ten jest bardzo korzystny z punktu widzenia czytelności uskoków, spękań czy fałdów, dlatego też często wiele elementów liniowych jest lepiej widocznych niż na zdjęciach satelitarnych i lotniczych wykonywanych pionowo;

— przeglądowość, związana ze skalą oraz zdolnością rozdzielczą, umożliwia dobrą czytelność struktur geologicznych (widocznych w skalach od 1:200 000 do 1:100 000), z równoczesnym pominięciem szczegółów wynikających z pokrywy roślinnej, użytkowania terenu itp.

Umieszczenie systemów radarowych na satelitach znacznie rozszerzyło grono ich użytkowników. Aktualne kosmiczne misje radarowe to ERS, RADARSAT i JERS-1. Południowa Polska jest pokryta lotniczymi zdjęciami radarowymi SLAR (rosyjski system TOROS) w skali 1:100 000.

4. PRACE GEOLOGICZNO-ZDJĘCIOWE

4.1. ZDJĘCIE GEOLOGICZNE W OBSZARACH NIZINNYCH

Prace geologiczno-zdjęciowe poprzedza zestawienie na mapie terenowej wszystkich danych geologicznych archiwalnych oraz uzyskanych kameralnie metodami pomocniczymi (analiza geomorfologiczna, analiza zdjęć lotniczych itp.). W trakcie prac terenowych, oprócz zbierania obserwacji geologicznych i geomorfologicznych, wykonywane są prace dokumentacyjne (opracowywanie odsłonięć naturalnych i sztucznych, wkopów, sondy ręczne), w zakresie niezbędnym dla narysowania terenowej mapy geologicznej (tab. 1). Uzupełniające prace dokumentacyjne (sondowanie wiertnicą mechaniczną, opracowywanie ważniejszych odsłonięć, opróbowanie itp) wykonywane są etapowo po zakończeniu zdjęcia geologicznego — w zakresie niezbędnym dla rozpoznania miąższości osadów przypowierzchniowych, ich genezy i paleogeografii oraz udokumentowania przekrojów roboczych. Terenowe prace kartograficzne prowadzi na całym arkuszu autor arkusza, a wszystkie roboty ziemne (prace dokumentacyjne) powinny być wykonywane pod jego nadzorem. W wyniku prac terenowych sporządzana jest powierzchniowa mapa geologiczna przedstawiająca budowę geologiczną do głębokości 2 m, z pominięciem przypowierzchniowej warstwy glebowo-zwietrzelinowej do głębokości 0,5 m — pod warunkiem, że nie obejmuje ona osadów o znaczeniu paleogeograficznym lub stratygraficznym. Późniejsze zmiany, uzupełnienia i przetwarzanie wykonanej mapy nie mogą dotyczyć przebiegu granic litologicznych narysowanych w terenie. Końcowe opracowanie każdego arkusza jest opracowaniem autorskim — konsultowanym, ukierunkowanym merytorycznie i opiniowanym przez koordynatora regionalnego SMGP.

Podstawowe metody prowadzenia zdjęcia geologicznego w terenie zostały omówione w podręcznikach (m.in. Guzik, Hakenberg, red., 1966; Słowański, red., 1989). Wybór odpowiedniej metody zależy m.in. od stopnia rozpoznania i rzeźby terenu, liczby odsłonięć naturalnych

oraz stopnia złożoności budowy geologicznej. Podręczniki te wymieniają w szczególności metody: sieciową, punktową, profilową i obchodu granic geologicznych.

Na obszarach nizinnych z ciągłą pokrywą osadów czwartorzędowych o wyborze właściwej metody decyduje specyfika topograficzna terenu oraz zakres prac przygotowawczych, czyli ilość i jakość informacji geologicznych wniesionych na terenowy podkład topograficzny przed rozpoczęciem prac geologiczno-zdjęciowych. Jeśli przygotowanie to jest zaawansowane, zwykle wystarczające jest zastosowanie metody punktowej dla udokumentowania wcześniej narysowanych pól o jednakowej litologii. Koniecznym uzupełnieniem jest metoda obchodu granic geologicznych, szczególnie przy dużej zmienności budowy geologicznej i urozmaiconej rzeźbie terenu, co w szczególności dotyczy Polski północnej w zasięgu ostatniego zlodowacenia. Na obszarach bardzo słabo rozpoznanych lub w płaskim terenie może okazać się konieczne zastosowanie metody sieciowej (czyli systematyczne prowadzenie krzyżujących się ze sobą marszrut), uzupełnionej metodą obchodu granic geologicznych. Jest to metoda najbardziej pracochłonna; odległości pomiędzy poszczególnymi marszrutami należy dostosowywać do stopnia złożoności budowy geologicznej danego fragmentu terenu.

Dokładność prac geologiczno-zdjęciowych, czyli gęstość zastosowanej sieci obserwacji (np. wykonanych punktów marszrutowych i dokumentacyjnych), zależy od stopnia złożoności budowy geologicznej i specyfiki morfologicznej danego terenu. W miarę rysowania mapy geologicznej, w zależności od wiarygodności uzyskanych obserwacji, konieczne może okazać się lokalne zagęszczanie lub rozrzedzanie wcześniej projektowanych marszrut. Regułą jest jednak przeprowadzanie marszrut co najmniej w zakresie minimum przewidzianego Instrukcją (1996) nawet, jeśli obszar kartowany jest dobrze rozpoznany. Specyfika terenu może wprawdzie sprawić, że lokalnie nie jest możliwe wykonanie niezbędnych marszrut, np. na terenach bagiennych. Należy wówczas dokonać punktowego rozpoznania takiego terenu z różnych stron.

Terenowa mapa geologiczna jest autorskim opracowaniem archiwalnym i od dokładności prac zdjęciowych zależy możliwość jej wykorzystania do różnych celów. Dlatego istotną zasadą zdjęcia szczegółowego jest prawidłowe lokalizowanie na mapie wszelkich informacji zbieranych w trakcie kartowania. Informacje nanoszone na mapę terenową w wyniku prac zdjęciowych dotyczą danych geologicznych (symbole litologiczne i granice geologiczne), lokalizacyjnych (punkty marszrutowe i dokumentacyjne) i topograficznych (uaktualnienie elementów topograficznych w przypadku stwierdzenia w terenie niezgodności z mapą). Lokalizacja punktów dokumentacyjnych powinna być wykonywana w terenie z dokładnością do 10 m (krokówką, według topografii, na podstawie zdjęć lotniczych lub przy użyciu GPS) i przenoszona na mapę terenową w skali 1:25 000 z dokładnością do 0,5 mm.

Symbole litologiczne to skróty literowe ważniejszych typów osadu, powszechnie stosowane i podane w Instrukcji (1996), np.: *p* — piaski, *ż* — żwiry, *t* — torfy, itd. oraz umowne skróty łączone, np.: *pżk* — piaski ze żwirami i głazikami (kamieniami). Symbole litologiczne należy umieszczać na mapie wszędzie tam, gdzie stwierdzono niewątpliwe występowanie danego osadu pod warstwą gleby lub zwietrzeliny. A zatem symbole te wyznaczają marszruty, wzdłuż których dokonano obserwacji w ramach wykonywanego zdjęcia geologicznego. Ich rozmieszczenie dokumentuje stopień (gęstość) rozpoznania terenu i w trakcie prac zdjęciowych pozwala na równomierne rozplanowanie marszrut i kontrolę ich zagęszczenia. Symbole litologiczne należy umieszczać zarówno przy punktach marszrutowych, jak i dokumentacyjnych.

Punkty marszrutowe (kartujące) są to płytkie (zwykle do głębokości 1 m) sondy ręczne wykonywane w celu sprawdzenia osadu podścielającego glebę lub zwietrzelinę. Na mapie oznacza się je kropką i symbolem stwierdzonej litologii. Punktami marszrutowymi mogą być również niewielkie i mniej ważne odsłonięcia naturalne lub sztuczne, czyli te które nie wymagają szczegółowego opisu w notatniku terenowym.

Punkty dokumentacyjne są to sondy ręczne, odsłonięcia naturalne i sztuczne (wkopy), oznaczane na mapie kropką z numerem i symbolem stwierdzonej litologii oraz opisane w notatniku terenowym. Odsłonięcia naturalne i sztuczne są zwykle najwartościowszymi punktami dokumentacyjnymi. Sondy należy wykonywać tylko do takiej głębokości, jaka jest niezbędna do narysowania granicy geologicznej (czyli do 2 m). Pozwala to wykonać dużo więcej punktów dokumentacyjnych niż przewidują normy zawarte w Instrukcji (1996), tj. liczba punktów na 1 km^2 terenu (zależnie od stopnia złożoności budowy geologicznej) pomnożona przez przyjmowane na ogół 3 mb. Normy te mają charakter ryczałtowy i służą wyłącznie do kalkulacji projektowych oraz do kontroli minimalnego stopnia udokumentowania mapy terenowej. W terenie geolog powinien dysponować samochodem terenowym oraz pracownikiem pomocniczym, wykonującym na bieżąco sondy ręczne i ewentualnie oczyszczającym ściany odsłonięć.

Terenowe prace dokumentacyjne obejmują zarówno te nierozerwalnie związane ze zdjęciem geologicznym (niezbędne dla narysowania mapy terenowej), jak również etapowe prace zestawcze i prace uzupełniające dla rozwiązania wyłonionych w wyniku kartowania problemów geologicznych i udokumentowania miąższości osadów przypowierzchniowych (patrz tab. 1). Granice geologiczne rysuje się w terenie na podkładzie topograficznym w oparciu o obserwacje zebrane podczas obchodu tych granic, uściślanych wykonywanymi na bieżąco punktami marszrutowymi i dokumentacyjnymi. Granice te przedstawiają zmienność litologiczną osadów do głębokości 2 m, do czego niezbędne jest bieżące wykonywanie sond ręcznych. Najbardziej przydatna jest sonda uniwersalna z małą stałą rączką, bardzo lekka, o długości żerdzi 1,2–1,5 m, całkowicie eliminująca łopatkę saperską. Jest ona niezastąpiona szczególnie wtedy, gdy geolog sam wykonuje część punktów marszrutowych. Sonda ręczna powinna być wyposażona przynajmniej w dwie różne końcówki: wąską i ostro zakończoną (do wiercenia w iłach i innych zwartych osadach) oraz szeroką, ze ślimakowo zakończonym ostrzem (do wiercenia w osadach sypkich i suchych). Każdy odwiercony sondą ręczną otwór należy zasypać po jego wykonaniu.

Liczba odwiercanych sond i ich głębokość jest podyktowana wyłącznie niezbędną koniecznością precyzyjnego narysowania granic geologicznych. Lokalizowanie i śledzenie granic geologicznych ułatwiają także dane uzyskane w ramach prac przygotowawczych; podlegają one w terenie weryfikacji – uzupełnianiu lub korygowaniu.

Rozpoznanie osadu leżącego pod glebą lub zwietrzeliną jest pewniejsze i szybsze, jeśli sondę wykonamy w miejscu teoretycznie gwarantującym możliwie płytkie zaleganie osadów, np. na wypukłości terenu. Z kolei w zboczach mogą się odsłaniać osady starsze, a więc dla ich rozpoznania należy lokalizować sondy na lokalnych wypukłościach lub zrównaniach zboczy, licząc się z koniecznością przebicia osadów stokowych.

Umiejętność szybkiego dokumentowania do znacznej głębokości płytkimi sondami jest sprawą niezwykle istotną, ponieważ wiąże się z oszczędnością czasu i kosztów. Zawsze należy zatem wykorzystywać naturalne skarpy i różnego typu sztuczne odsłonięcia, np. przekopy drogowe, wkopy i wyrobiska (fig. 3).

Po zakończeniu zdjęcia geologicznego, wiertnicą mechaniczną wykonywane są uzupełniające prace dokumentacyjne. Służą do tego wiertnice zamontowane na samochodzie (aktualnie — przeważnie typu WH). Dobra wiertnica umożliwia wiercenie do głębokości 20 m i jest wyposa-

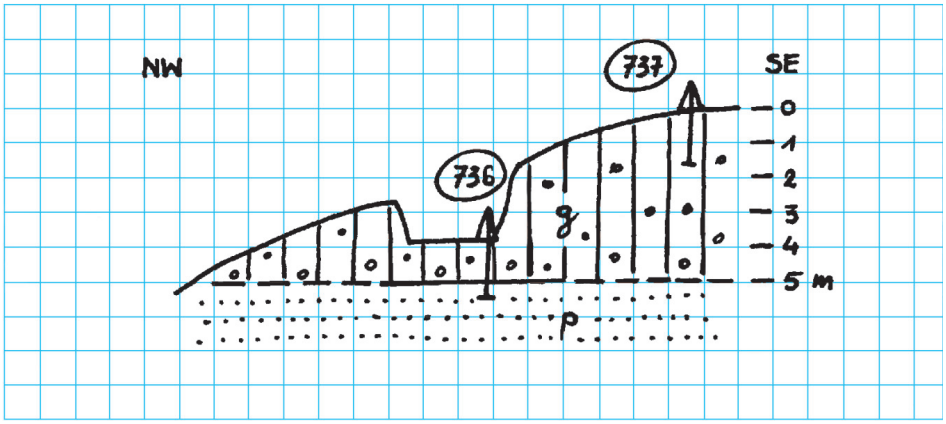


Fig. 3. Dwiema płytkimi sondami do głębokości po 1,5 m, można udokumentować dwie warstwy osadów do głębokości około 5 m

g — glina zwałowa, p — piaski

żona w hydrauliczne nogi wieży pozwalające na poderwanie przewodu, przechwyconego przez osady spoiste. Sondy mechaniczne dają zupełnie inne możliwości rozpoznania budowy geologicznej niż sondy ręczne, ale są dość kosztowne. Dlatego też należy unikać wykonywania płytkich sond mechanicznych w trakcie prac zdjęciowych jako bieżących punktów dokumentacyjnych oraz marszrutowych. Sondy wiertnicą mechaniczną należy wykonywać oszczędnie, jedynie do głębokości niezbędnej dla rozwiązania postawionego problemu. Nie mniej jednak, w szczególnie ważnych miejscach, wytypowanych z reguły na geologicznych przekrojach roboczych, warto nieraz wiercić do maksymalnej, możliwej do uzyskania głębokości. Sondy mechaniczne ułatwiają rozwiązanie różnorodnych problemów geologicznych, doskonale wzbogacają przekrój geologiczny oraz umożliwiają rozpoznanie całej powierzchni arkusza ze zbliżoną dokładnością.

Jakość (dokładność) powierzchniowej mapy geologicznej jest w znacznym stopniu zależna od stopnia udokumentowania granic geologicznych punktami dokumentacyjnymi. W realizacji SMGP terenowe prace zdjęciowe nie są powtarzalne.

Inne oznaczenia (symbole) **punktowe** stosujemy na mapie terenowej zgodnie ze znakami umownymi przewidzianymi w Instrukcji (1996). Są to głównie: głazy narzutowe (krzyżyk czerwony), źródła i wysięki (kolor niebieski lub czarny) oraz flora i fauna (kolor czarny). W przypadku niewątpliwej nieaktualności podkładu topograficznego (przede wszystkim wyrobiska, skarpy, nasypy itp.) nanosi się poprawki na mapie topograficznej.

Finalnym etapem pracy geologa w terenie jest wyznaczanie **granic geologicznych**. Podstawowym wymogiem prawidłowego prowadzenia prac kartograficznych na potrzeby SMGP jest rysowanie na mapie terenowej tych granic (oddzielających pola występowania osadów o odmiennej litologii) w wersji ostatecznej oraz kolorowanie wydzielonych pól podczas codziennego opracowywania mapy w trakcie prac zdjęciowych (patrz tab. 1 oraz rozdz. 3.1.3). Jest to jednocześnie niezmiernie ważny proces samokontroli zakończenia prac zdjęciowych na danym obszarze.

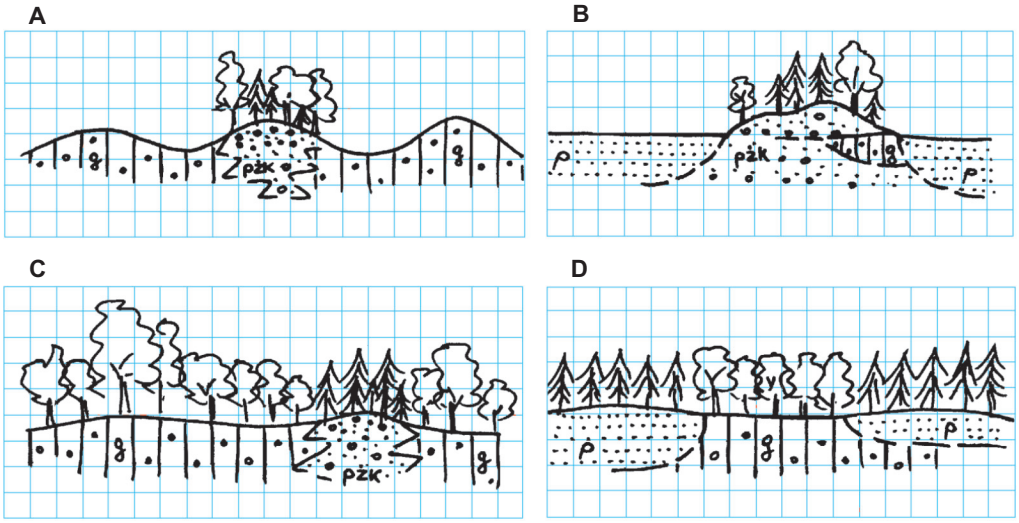


Fig. 4. Zmienność litologiczna osadów powierzchniowych zaznaczona w szacie roślinnej

Na obszarach zagospodarowanych rolniczo (wśród pól uprawnych): **A** — na wysoczyznie gliniastej małe laski na szczytach pagórków zwykle oznaczają podłoże piaszczysto-żwirowe; **B** — na obszarach piaszczystych (np. sandrowych) lokalne laski lub zakrzaczenia na pagórkach lub nawet na płaskim terenie, mogą oznaczać ostańce wysoczyzny lub fragmenty cokołów erozyjnych. W zwartych kompleksach leśnych (istotne nawet niewielkie zmiany w drzewostanie): **C** — lokalne występowanie świerka lub sosny na obszarach gliniastych porośniętych lasem bukowo-dębowym, szczególnie na pagórkach, może oznaczać występowanie osadów piaszczysto-żwirowych; **D** — drzewa liściaste w kompleksie sosnowym mogą oznaczać lokalne występowanie osadów gliniastych, ilastych lub mułkowych.

g — glina zwałowa, pżk —piaski ze żwirami i głazikami (kamienie), p — piaski

Dalsze, czyli kameralne opracowanie ostatecznej wersji mapy geologicznej może jedynie dotyczyć niektórych zagadnień genetycznych i stratygraficznych o zasięgu regionalnym.

Rozpoznawanie litologii osadów, śledzenie ich zmienności, a następnie nanoszenie tych informacji na mapę ułatwia wiele obserwacji pośrednich, np. szata roślinna (fig. 4) i rzeźba terenu. W tym drugim przypadku dotyczy to np. wysokości i kształtu wzgórz (różne typy osadów akumulacji lodowcowej), tarasów (piaski rzeczne lub sandrowe), stożków (osady proluwialne), suchych dolinek czy wąwozów i wałów u podnóża zboczy (osady deluwialne), zagłębień czy podmokłych dolin (osady organogeniczne) itp.

Rozpoznawanie, dokumentowanie i odwzorowywanie na terenowej mapie geologicznej niektórych typów osadów wymaga szczególnej uwagi. Osady **stokowe** (deluwialne) występują powszechnie, również w obszarach młodej rzeźby polodowcowej, zwykle w znacznej i przeważnie niedoszacowywanej miąższości (fig. 5). Z kolei pokrywy **rezidualne** mogą być bardzo cienkie i zredukowane tylko do warstwy glebowej, ale nawet wtedy powinny być zaznaczone na mapie geologicznej, mimo iż generalną zasadą jest odrzucanie powierzchniowej warstwy około 0,5 m. Taką pokrywą rezidualną mogą być np. duże głazy narzutowe na powierzchni miąższej serii osadów piaszczystych. Pokrywy **eoliczne i lessowe** nawet o małej miąższości, powinny być uwzględniane na mapie geologicznej ze względu na ich znaczenie paleogeograficzne. Rozpoznanie osadów eolicznych, szczególnie bardzo młodych (holoceńskich) może ułatwić staranne

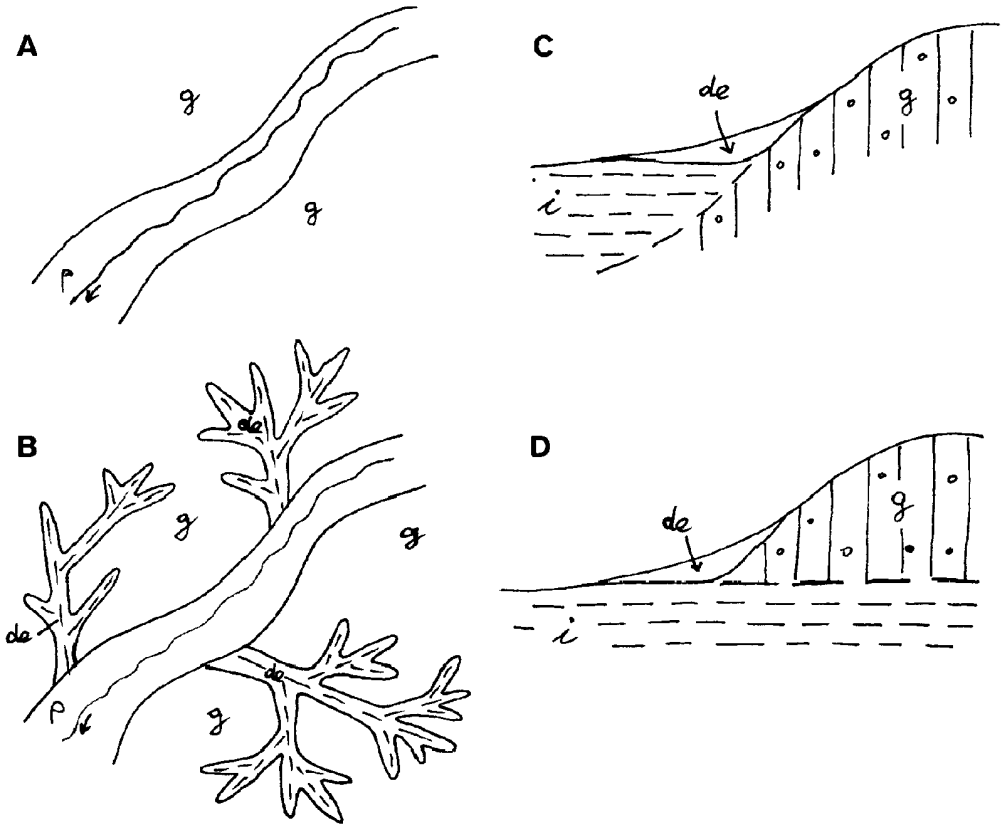


Fig. 5. Znaczenie deluwiów w pracach geologiczno-zdjęciowych

Nie uwzględnianie **(A)** lub uwzględnianie **(B)** deluwiów wyścielających dna suchych dolinek wyraźnie zmienia obraz przedstawiony na mapie, zaś występowanie osadów stokowych u podnóża zboczy utrudnia rozpoznanie budowy geologicznej **(C i D)**.

de — deluwia, g — glina zwałowa, i — iły, p — piaski

oglądanie piasku i rozcieranie go na dłoni, gdyż takie osady często zawierają charakterystyczne czarne okruchy węgla drzewnego rozwiewane na znaczne odległości z pogorzelisk. W przypadku cienkich pokryw osadów, o miąższości poniżej 2 m, na mapie wpisujemy symbole łączone np.: *re/p* — rezidua na piaskach, *pe/g* — piaski eoliczne na glinie zwałowej itp.

Rozpoznawanie i dokumentowanie form o różnej genezie i wieku wymaga szczególnego doświadczenia w badaniu osadów czwartorzędowych. Niezmiernie istotne jest bieżące stawianie w terenie problemów dotyczących genezy form i ich rozwiązywanie z zastosowaniem sond ręcznych i wkopów. Problemy nierozwiązane należy możliwie dokładnie notować, a następnie zbiorczo wyjaśniać uzupełniającymi pracami dokumentacyjnymi (sondami mechanicznymi) oraz odpowiednim opróbowaniem osadów. Częstym błędem metodycznym jest pozostawianie nieroz-

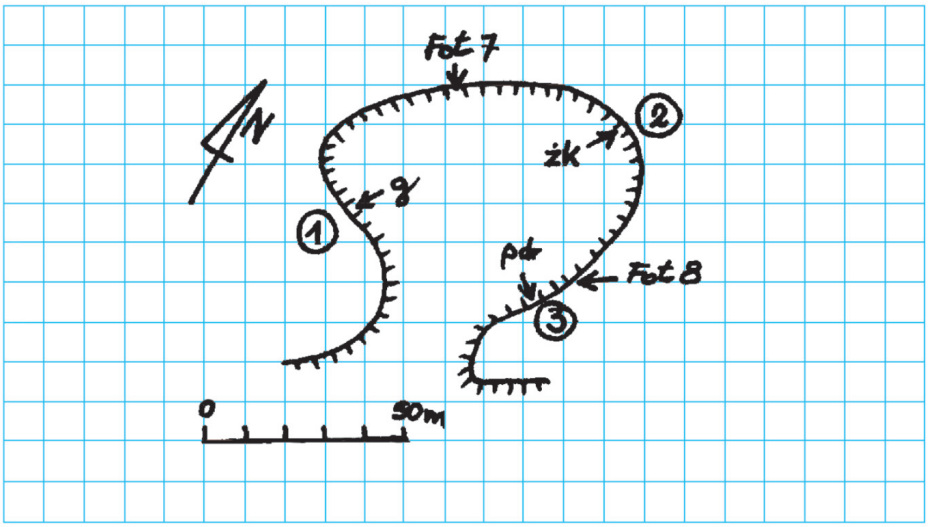


Fig. 6. Szkic sytuacyjny wyrobiska piaskowni z numerami rysunków, fotografii i sprofilowanych ścian

wiązanych problemów do etapu końcowego opracowania kameralnego, kiedy nie są już możliwe żadne prace terenowe ułatwiające właściwą diagnozę.

W pracach geologiczno-zdjęciowych nieuniknione jest stosowanie analogii i generalizowanie podyktowane skalą mapy. Wielokrotnie, szczególnie w terenie o urozmaiconej rzeźbie, geolog kartujący staje przed dylematem: pominąć wydzielenie czy je powiększyć? Zawsze w takich przypadkach trzeba analizować czy to, co chcemy pominąć, ma istotne znaczenie dla przedstawienia pełnego obrazu budowy geologicznej i paleogeografii danego terenu. Niektóre małe wydzielenia na mapie trzeba z konieczności od razu łączyć w większe.

Obok mapy terenowej podstawowym dokumentem źródłowym kartowania geologicznego na danym arkuszu SMGP jest podlegający archiwizacji **notatnik terenowy**. Powinien on być prowadzony starannie, czytelnie i zawierać wszystkie informacje zdobyte podczas prac zdjęciowych, których nie można przedstawić na mapie. Aktualnie stosowane podkłady topograficzne są tak dokładne, że precyzyjnie zlokalizowany punkt dokumentacyjny można odnaleźć w terenie mimo braku szczegółowego opisu jego lokalizacji w notatniku terenowym. Opis każdego punktu dokumentacyjnego powinien natomiast zawsze i w tej samej kolejności, zawierać: kolejny numer (ciągły dla całego arkusza), symbol umowny oznaczający rodzaj punktu dokumentacyjnego (np. **s** — sonda, **o** — odsłonięcie, **w** — wkop itd.), położenie względem form rzeźby oraz opis litologii z podaniem głębokości. Jak najczęściej powinny być wykonywane rysunki i przekroje, gdyż zawierają one w czytelnej formie dużo informacji i są nieocenionym materiałem dokumentującym mapę geologiczną. W trakcie prac zdjęciowych wykonuje się najczęściej szkice sytuacyjne (fig. 6), przekroje geologiczne z lokalizacją punktów marszrutowych i dokumentacyjnych (fig. 7), a także profile i rysunki ścian odsłonięć (fig. 8). Dodatkowe notatki mogą obejmować m.in. lokalizację i opis wykonanych zdjęć fotograficznych, lokalizację i opis pobranych próbek do badań laboratoryjnych oraz ewentualnie niezgodności terenu z mapą topograficzną.

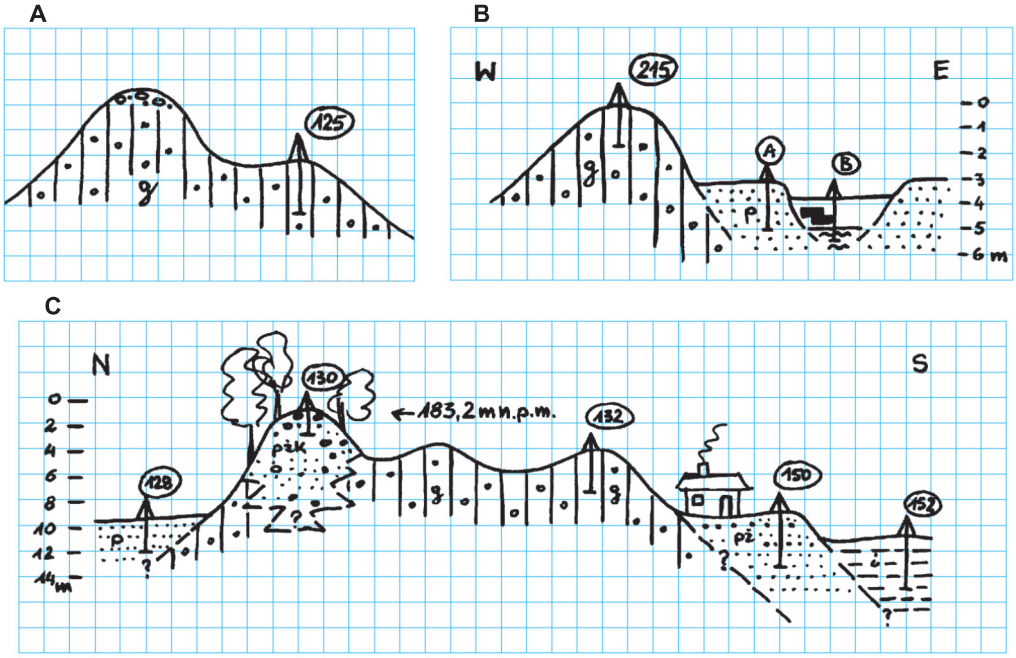


Fig. 7. Przykłady lokalizacji punktów dokumentacyjnych

A — prosta lokalizacja punktu, **B** — prosty przekrój geologiczny lokalizujący sąsiednie punkty (zawsze z podaniem skali pionowej i stron świata), **C** — schematyczny przekrój geologiczny może powstawać etapowo w miarę wykonywania kolejnych punktów dokumentacyjnych.

g — glina zwałowa, pż — piaski i żwiry, pżk — piaski ze żwirami i głazikami (kamienie), p — piaski

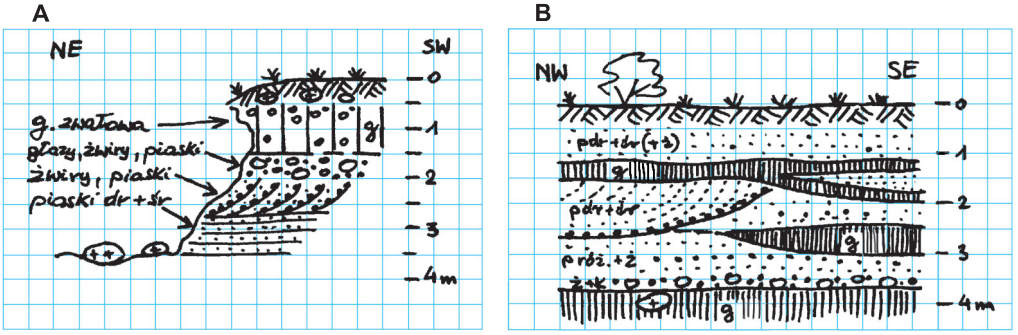


Fig. 8. Przykłady dokumentacji odsłonięć

A — profil odsłonięcia (nie wymagającego szczegółowego opisu), **B** — rysunek ściany odsłonięcia: nawet w przypadku małych odsłonięć warto narysować fragmenty oczyszczonych ścian, jeśli występuje zmienność osadów lub struktur sedymentacyjnych (takie rysunki mogą stanowić objaśnienie zdjęć fotograficznych dokumentujących odsłonięcia).

g — glina zwałowa, p dr i śr — piaski drobno- i średnioziarniste, p róż — piaski różnoziarniste, ż — żwiry, ż+k — żwiry i kamienie

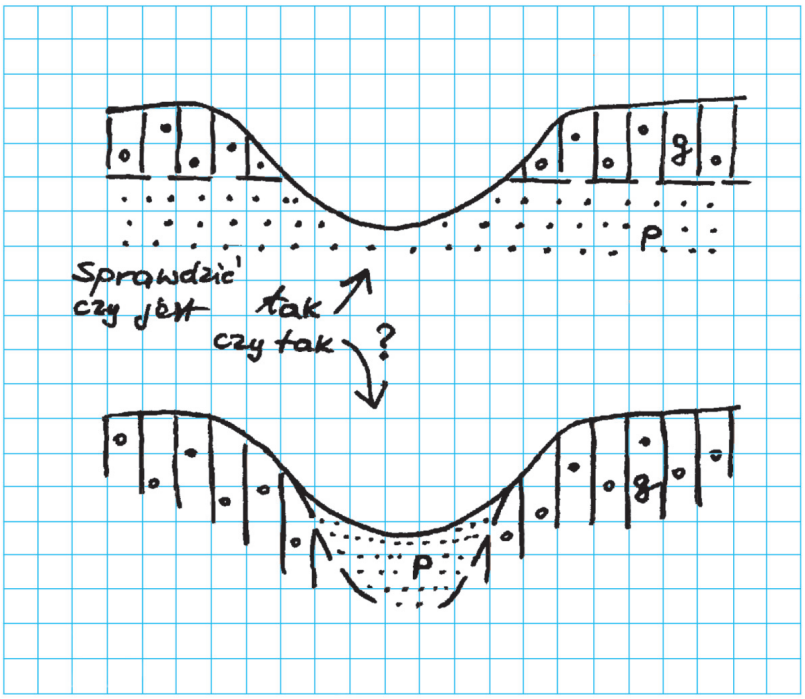


Fig. 9. Przykład wariantowego przedstawienia budowy geologicznej, do rozwiązania w ramach uzupełniających prac dokumentacyjnych

g — glina zwałowa, p — piaski

Problemy nierozwiązane, wymagające np. wykonania głębokich sond wiertnicą mechaniczną, należy oddzielnie notować w notatniku terenowym, wyraźnie je eksponując — np. obwodząc ramką (pomiędzy opisami kolejnych punktów dokumentacyjnych). Podczas dokumentacyjnych prac uzupełniających (tab. 1), uwagi takie mogą być łatwo wyszukane, zlokalizowane i pogrupowane. Przy sporządzaniu tego rodzaju notatek przydatne są schematyczne rysunki obrazujące problem do rozwiązania (fig. 9).

4.2. ZDJĘCIE GEOLOGICZNE W OBSZARACH GÓRSKICH I WYŻYNNYCH

Kartowanie geologiczne obszarów górskich i wyżynnych podlega wszelkim ogólnym zasadom sporządzania map geologicznych. Jednakże ze względu na znaczne zróżnicowanie rzeźby terenu, różnorodność typów odsłonięć (odsłonięcia w potokach, ścianach skalnych, jaskiniach, stromych zboczach porośniętych roślinnością itp.), a ponadto niedostępność dla bezpośrednich obserwacji w niektórych partiach terenu, kartowanie takich obszarów wymaga szczególnych metod prac zdjęciowych, nie stosowanych w kartowaniu obszarów nizinnych.

Prace przygotowawcze mają ten sam zakres, co w przypadku obszarów nizinnych. Szczególnej uwagi w pracach kartograficznych terenów górskich i wyżynnych wymaga jednak stosowanie

zdjęć lotniczych i naziemnych oraz obrazów satelitarnych. W etapie prac przygotowawczych należy przeprowadzić analizę scen satelitarnych opracowywanego obszaru. Analiza taka powinna umożliwić:

- wyznaczenie obszarów łatwo i trudno dostępnych;
- określenie przebiegu głównych struktur geologicznych (intersekcja stratyfikacji, foliacji, kierunki zapadania warstw i osi struktur itp.);
- wyznaczenie granic między zasadniczymi jednostkami tektonicznymi (nasunięcia);
- uchwycenie zmienności litologicznej kompleksów skalnych, wyznaczenie przebiegu stref uskokowych, poszczególnych uskoków oraz innych lineamentów uwidaczniających się w obrazie satelitarnym;
- zlokalizowanie obszarów o szczególnie skomplikowanej budowie geologicznej;
- wyróżnienie obszarów o zwiększonej zawartości wody (podczerwień);
- ustalenie granicy między utworami czwartorzędowymi a starszym podłożem;
- wyróżnienie większych form rzeźby terenu;
- wyodrębnienie obszarów o wzmożonej erozji oraz występowania ruchów masowych (np. osuwiska w Karpatach fliszowych);
- wyznaczenie obszarów zanieczyszczonych.

Jakkolwiek zdjęcie satelitarne stwarza olbrzymie możliwości wielostronnej analizy komputerowej przy odpowiednim oprogramowaniu, to uszczegółowienie wymienionych zjawisk możliwe jest dopiero na zdjęciach lotniczych. Większe możliwości interpretacji geologicznej dają obrazy satelitarne panchromatyczne. Uzupełnieniem przy analizie scen panchromatycznych mogą być natomiast sceny wielospektralne. Pomocne w pracach kartograficznych w terenach górskich są zdjęcia lotnicze ukośne (spełniające podobną rolę jak zdjęcia naziemne) oraz radarowe.

Polecić należy sceny satelitarne SPOT, dla których zastosowanie programu ER-Mapper umożliwia uzyskanie różnorodnych przekształceń obrazu i przeprowadzenie jego wielostronnej analizy. Efektem uczytelniania zdjęć lotniczych w etapie przygotowawczym powinna być fotomapa, a wynikiem analizy scen satelitarnych — wydruk komputerowy.

Zdjęcia naziemne oddają wielką przysługę w terenach trudno dostępnych, o stromych ścianach. Przed przystąpieniem do terenowych prac kartograficznych powinno się dysponować zdjęciami stromych ścian, wykonanymi z jednego zbocza doliny na drugie. W trakcie prac terenowych, zdjęcia uczytelniamy. Celowe jest sporządzanie stereogramów ścian skalnych, które umożliwiają analizę stereoskopową zdjęć naziemnych.

Terenowe prace kartograficzne. Przystępując do prac geologiczno-zdjęciowych, przyjąć należy stosowne metody **lokalizacji** w terenie, w zależności od skali końcowej opracowania kartograficznego. Zasadnicze znaczenie ma w tym przypadku podkład topograficzny lub zdjęcia lotnicze, na których jest możliwa bardzo dokładna lokalizacja wybranych punktów i nanoszenie zjawisk geologicznych (granic geologicznych, uskoków, miejsc występowania fauny, wartości biegów i upadów warstw, hieroglifów, odwróconego położenia warstw itp.). Największe usługi w zakresie lokalizacji oddać może system nawigacji satelitarnej (GPS).

W obszarach górskich, na terenach o niewielkich deniwelacjach (dna dolin, powierzchnie zrównań) oraz w obszarach wyżynnych lokalizacja dokonywana była zazwyczaj przy użyciu tradycyjnych przyrządów geodezyjnych, takich jak: teodolit, stolik z kierownicą, niwelator z kołem poziomym itd. (dla zdjęć o wymaganej dużej dokładności) lub innych mniej dokładnych przyrządów pomiarowych, takich jak: teletop, dalmierz, busola i taśma miernicza dla ciągów

azymutalno-taśmowych. W dalszym ciągu jest stosowana metoda ciągów krokówkowych, nie wymagająca innych przyrządów poza busolą.

Metody te jednak zawodzą w przypadku ścian skalnych i przy większym nachyleniu stoków ze względu na wielkość błędu pomiarowego. Natomiast niezawodne okazują się być zdjęcia lotnicze i właśnie one, wraz z dokładnym podkładem topograficznym, pozwalają na bezpośrednią lokalizację niemal każdego punktu dokumentacyjnego lub zjawiska geologicznego. Uzupełnienie stanowić mogą zdjęcia naziemne (fig. 10 i 11), uczytelniane „metodą alpejską", stosowaną w Tatrach już w okresie międzywojennym. Należy dodać, że po uczytelnieniu zdjęcia naziemnego lub lotniczego ukośnego, otrzymujemy jednocześnie obraz zbliżony do przekroju geologicznego, co pozwala na interpretację budowy geologicznej już w czasie prac kartograficznych, a więc przed końcowym opracowaniem mapy. Metoda ta nie nastręcza kłopotów w terenie skalistym, dobrze odkrytym, z charakterystycznymi formami odwzorowanymi na podkładzie topograficznym. Inaczej wygląda lokalizacja w obszarach górskich i wyżynnych pokrytych roślinnością — lasem lub kosodrzewiną (Karpaty fliszowe, Tatry, Pieniny), gdzie również nieodzowne są zdjęcia lotnicze. Większość marszrut prowadzi się wówczas potokami górskimi, w których znajdują się liczne odsłonięcia. Sam podkład, nawet najlepszy, może zawierać błąd wynikający z obecności lasów maskujących potoki i drobne cieki. W takim terenie należy więc posługiwać się podkładem topograficznym, zdjęciem lotniczym, altymetrem i GPS.

Marszruty i punkty dokumentacyjne. W obszarach górskich i wyżynnych, które mają budowę fałdową lub zrębową i przeważnie ulegały deformacjom tektonicznym, **plan marszrut** jest narzucony przez rzeźbę terenu oraz tektonikę i litologię danego orogenu. W takich obszarach nie stosujemy zasady proporcjonalnie określonej liczby punktów obserwacyjnych na 1 km^2 ani równomiernego rozmieszczenia ciągów marszrutowych. Najważniejszą ze znanych metod kartowania jest w tym przypadku metoda profilowa, uzupełniana metodą obchodu granic geologicznych i metodą punktową. W przypadku słabego rozpoznania terenu i niewielkiej ilości archiwalnych materiałów dokumentacyjnych, przebieg planowanych marszrut powinien być przeanalizowany pod kątem możliwości wydzielenia charakterystycznych kompleksów litologicznych, wyróżniających się w rzeźbie terenu, np. dużą lub małą odpornością (kompetencją), co prawie zawsze jest możliwe do odczytania z podkładów topograficznych, a przede wszystkim ze zdjęć lotniczych. Przykładem mogą tu być gruboławicowe piaskowce w różnych jednostkach strukturalnych fliszu karpackiego (wyrażające się pozytywnymi formami rzeźby terenu) lub mało odporne margle i łupki albu-cenomanu tatrzańskiego (w których wypreparowane są obniżenia). Po zlokalizowaniu i zorientowaniu takich charakterystycznych kompleksów litologicznych uzyskujemy informacje o przebiegu struktur i wówczas możemy przystąpić do wyznaczania marszrut.

Marszruty **metodą profilową** prowadzimy tak, aby uzyskać jak najwięcej informacji o sukcesji litostratygraficznej badanej struktury. Ich trasy powinny przebiegać w przybliżeniu prostopadle do biegu warstw, o ile rzeźba terenu na to pozwala. Zazwyczaj w górach fałdowych rozwinięte są strome i pionowe uskoki prostopadłe (tensyjne — przesuwcze) do osi struktur i system uskoków ze ścinania tworzących kąt ostry z osią transportu tektonicznego, a więc przecinających się pod kątem 70°–80° z kierunkiem osi struktury. Te strefy uskoków szybciej ulegają erozji i zazwyczaj są wykorzystywane przez sieć rzeczną (np. w Górach Świętokrzyskich). Prowadząc trasy marszrut wzdłuż potoków oraz grzbietów górskich uzyskujemy dużo informacji dzięki zazwyczaj dobremu odkryciu terenu. Po wyznaczeniu granic geologicznych w sąsiadujących profilach (mogą to być równoległe do siebie doliny lub naprzemianległe doliny i grzbiety) łączymy odpowiednie punkty dokumentacyjne uzyskując przebieg granic geologicznych na całym badanym

Fig. 10. Uczytelnione zdjęcie naziemne Kobylarza i Sywarowej Przełęczy w Dolinie Małej Łąki w Tatrach Zachodnich (*fot. K. Piotrowska*)

a — alb; u — urgon; t-b — tytono-berias; k — kampil

obszarze. Przy niewielkiej zmienności biegu i upadu warstw celowe jest geometryczne wyznaczanie granic geologicznych, zgodnie z zasadami intersekcji.

Marszruty metodą obchodu granic geologicznych, traktowane są jako uzupełniające do marszrut metodą profilową i powinny być prowadzone tam, gdzie spodziewamy się zaburzeń po rozciągłości w przebiegu intersekcyjnym granic geologicznych. Więcej uwagi należy poświęcić kontaktom tektonicznym, a więc powierzchniom nasunięć i strefom uskokowym. Często przebieg intersekcyjny powierzchni nasunięć jest trudno przewidywalny, zwłaszcza w przypadkach istnienia deformacji pochodzących z faz młodszych od nasunięcia. Zagęszczanie tras marszrut powinno umożliwić obserwacje zmian obocznych wykształcenia litologicznego oraz zmian w przebiegu struktur wzdłuż ich rozciągłości.

Marszruty metodą punktową, podobnie jak marszruty metodą obchodu granic geologicznych, należy traktować jako uzupełniające.

Fig. 11. Uczytelnione zdjęcie naziemne wschodniego zbocza Doliny Kościeliskiej w Tatrach Zachodnich
(*fot. K. Piotrowska*)

Widoczny synklinalny skręt jednostki Organów i jej kontakt tektoniczny z nasuniętą na nią jednostką Ździarów, o stromo zalegających warstwach. Obie te jednostki, wywodzące się z płaszczowiny Czerwonych Wierchów, nasunięte są na alb autochtonicznej sekwencji wierchowej Tatr. Bezpośrednie kartowanie tego stromego zbocza i znajdujących się nań turniczek ze skalnymi ścianami jest bardzo trudne i miejscami wymaga wspinaczki. Z pomocą przychodzą w takich przypadkach zdjęcia naziemne wykonane z przeciwległego zbocza. Docieramy do miejsc łatwo dostępnych, a pozostałą treść geologiczną wrysowujemy na zdjęcie obejmujące całe zbocze, otrzymując dokładny obraz przebiegu granic geologicznych.

a — alb; Ta — trias środkowy (anizyk); bj — jura środkowa (bajos); t-b — tytono-berias

Punkty obserwacyjne w kartowaniu obszarów górskich, podobnie jak marszruty, nie mogą być zaplanowane według norm przyjętych dla terenów nizinnych, gdzie obowiązuje określona liczba punktów dokumentacyjnych przypadających na 1 km^2. Przy znacznym stopniu złożoności budowy geologicznej — różnorodnych deformacjach typu odkształceń fałdowych, nasunięć i zuskokowania, liczba punktów musi być wystarczająca dla udokumentowania litostratygrafii i tektoniki, co oznacza, że liczba ta nie może być ograniczona. W przypadku złożonej budowy geologicznej, np. złuskowania terenu na niewielkim obszarze, występować mogą niewielkiej

miąższości pakiety skalne ograniczone powierzchniami nasunięć czy poślizgu. Wówczas nie można pominąć żadnego wydzielenia i punkty obserwacyjne winny dokumentować wszystkie wydzielenia na danym obszarze lub w danym odsłonięciu (fig. 12).

Na podstawie przytoczonego przykładu staje się oczywiste, że oprócz rzeźby terenu w obszarach górskich i wyżynnych zagęszczenie punktów obserwacyjnych narzuca złożoność budowy geologicznej danej struktury. W takich obszarach zagęszczenie punktów obserwacyjnych w znacznej mierze zależy także od wiedzy autora mapy o danym terenie oraz od jego umiejętności interpretacji budowy geologicznej.

Dokumentacja punktów obserwacyjnych. Kartując obszary górskie i wyżynne inaczej traktujemy rozmiary punktów dokumentacyjnych niż w przypadku kartowania obszarów nizinnych z pokrywą czwartorzędową. Równie cenne jak duże odsłonięcia są w terenach górskich i wyżynnych najmniejsze, często nawet kilkucentymetrowe „ślady" charakterystycznych osadów. Takie zredukowane utwory pojawiają się najczęściej w strefach nasunięć, uskoków, zluźnień tektonicznych, złuskowań itp. Punkty dokumentacyjne powinny być zlokalizowane w tych miejscach, gdzie przebiegają granice geologiczne — litostratygraficzne i tektoniczne oraz tam, gdzie:

— wykonujemy pomiary biegu i upadu warstw, foliacji, kliważu, ciosu, orientacji osi fałdów, budinażu, struktur ołówkowych oraz struktur sedymentacyjnych,

— pobieramy próbki skał (również próbki zorientowane),

— odnotowujemy znaleziska paleontologiczne,

— obserwujemy odwrócone położenie warstw.

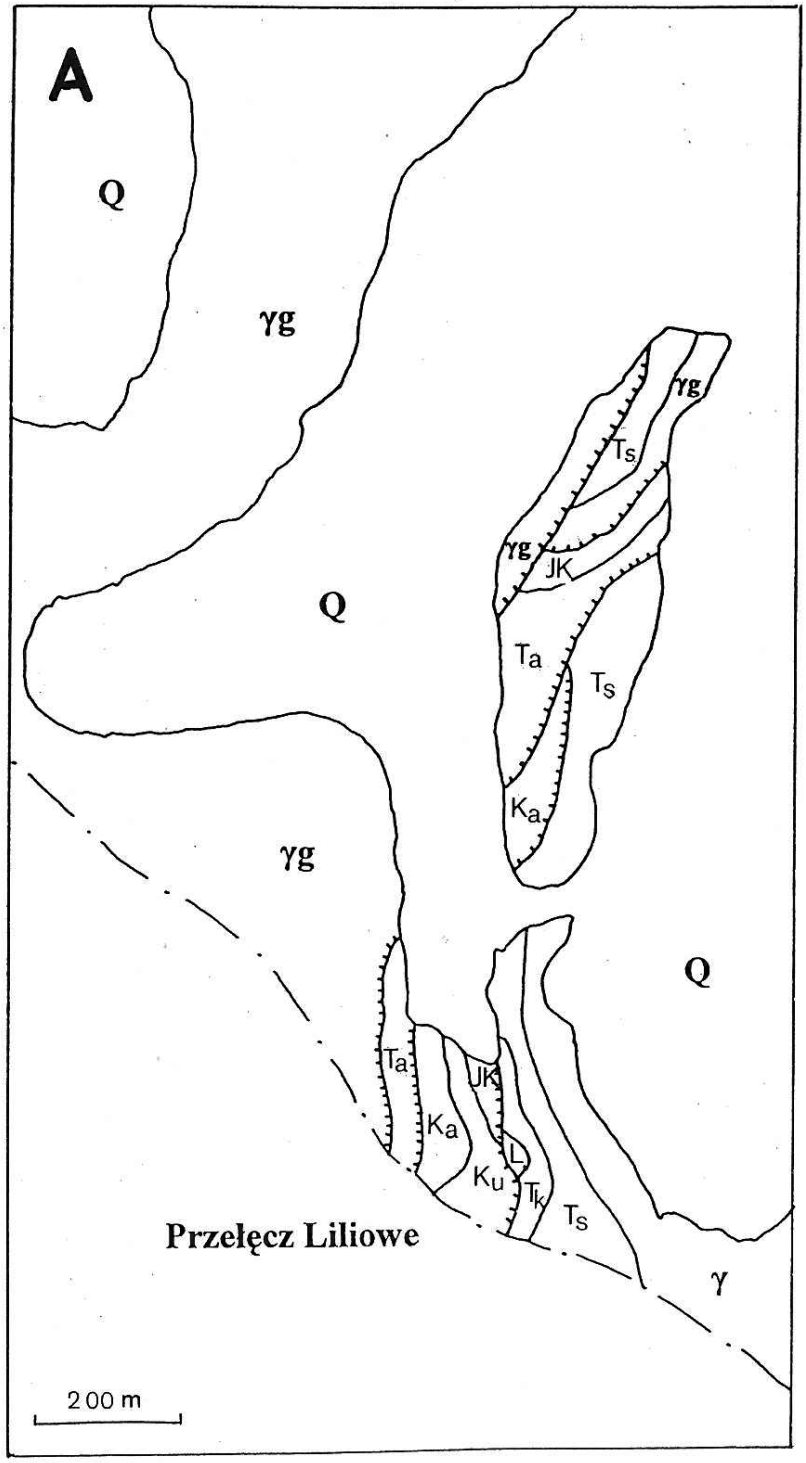
Punktami obserwacyjnymi w terenach górskich i wyżynnych mogą być wykroty obalonych drzew, w korzeniach których tkwią zazwyczaj fragmenty skał podłoża. Punkty obserwacyjne usytuowane wzdłuż górnej granicy występowania na zboczu w zwietrzelinie danego typu skały wyznaczają równocześnie granicę geologiczną w podłożu (tzw. kartowanie „po zwietrzelinie").

Do dokumentowania wychodni służy busola geologiczna przystosowana do pomiarów strukturalnych i sedymentologicznych. Nieocenioną usługę w kartowaniu obszarów górskich i wyżynnych oddaje sonda ręczna, dzięki której można określać głębokość położenia litej skały i przeważnie zdefiniować także jej rodzaj. W tym przypadku wykonuje się dużą liczbę sond ręcznych płytkich (poniżej 2 m).

W obszarach górskich i wyżynnych przeważającą część terenu kartowanego arkusza stanowić mogą skały starsze od czwartorzędu. Są to na ogół skały lite. Dla określenia skał i ich składu mineralogicznego wykonuje się badania petrograficzne płytek cienkich. Również w płytkach cienkich określa się stopień deformacji i przeobrażenia skał. W szczególnych przypadkach wykonywane są analizy chemiczne. Dla opracowania stratygrafii pobiera się próbki do oznaczeń mikropaleontologicznych (mikrofaunistycznych i mikroflorystycznych) w płytkach cienkich lub w próbkach macerowanych.

Tok postępowania w opracowaniu kameralnym materiałów terenowych dla obszarów górskich i wyżynnych jest taki sam, jak w przypadku obszarów nizinnych. Na znacznie większą skalę stosuje się jednak powiększanie na mapie szerokości odwzorowania niewielkich wychodni tam, gdzie mają one zasadnicze znaczenie dla czytelności struktur lub ich brak mógłby spowodować zafałszowanie obrazu budowy geologicznej terenu.

Czynność ta jest szczególnie istotna dla kartowania obszarów wysokogórskich, gdzie występują pionowe lub bardzo strome ściany. Zniekształcanie obrazu rzeczywistego przez sztuczne zwiększanie szerokości wychodni na mapie wysokogórskiej (por. fig. 12) jest konieczne, gdyż


A
Q
γg
γg
Ts
γg
JK
Q
Ta
Ts
Ka
γg
Q
Ta
JK
Ka
L
Ku
Tk
Ts
Przełęcz Liliowe
γ
200 m

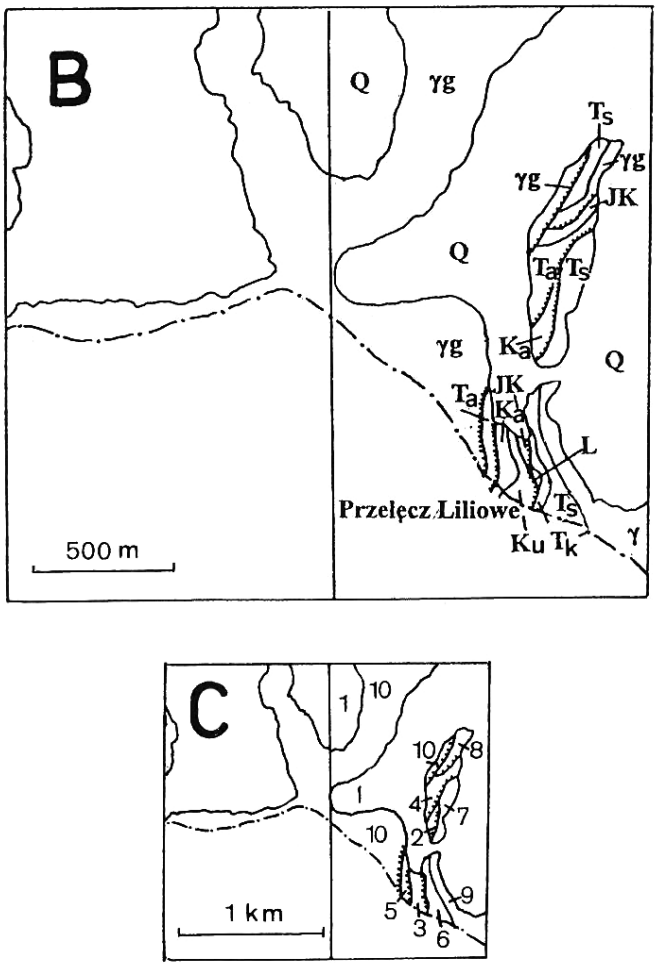


Fig. 12. Przykład generalizacji mapy z rejonu Przełęczy Liliowe w Tatrach

Fragment terenu, gdzie na odcinku około 100 m występują różne skały struktury tatrzańskiej winien być skartowany ze szczególną dokładnością, bez względu na ostateczną skalę opracowania. Pominięcie któregokolwiek z wydzieleń (nawet o miąższości kilku cm) może spowodować błędną interpretację wzajemnych stosunków między granitem Tatr Wysokich, sekwencją autochtoniczną i płaszczowinami wierchowymi.

A — Mapa w skali 1:10 000 jest czytelna i nie zachodzi potrzeba jej generalizacji: Q — czwartorzęd; Ka — kreda dolna (alb); Ku — kreda dolna (urgon); JK — tytono-berias; L — lias; Ta — trias środkowy (anizyk); Tk — trias dolny (kampil); Ts — trias dolny (seis); γ — granity trzonu krystalicznego Tatr Wysokich; (γg — granity, gnejsy i łupki krystaliczne „wyspy" Goryczkowej (jądra płaszczowiny Giewontu). **B** — Mapa w skali 1:25 000: wydzielenia są takie same jak na mapie w skali 1:10 000, ale czytelność mapy jest znacznie słabsza. **C** — Mapa w skali 1:50 000: konieczne było połączenie wydzieleń, gdyż obszar zajmowany w terenie przez niektóre zespoły skalne nie mieścił się w skali mapy; *1* — czwartorzęd; *2* — kreda dolna (alb); *3* — tytono-berias; *4* — trias środkowy (anizyk) oraz tytono-berias; *5* — trias środkowy (anizyk); *6* — trias dolny (kampil i seis) oraz lias; *7* — trias dolny (seis); *8* — skały krystaliczne jądra płaszczowiny Giewontu i trias dolny (seis); *9* — granity trzonu krystalicznego Tatr Wysokich; *10* — granity, gnejsy i łupki krystaliczne „wyspy" Goryczkowej (jądra płaszczowiny Giewontu)

w przypadku rzutu pionowej ściany na płaszczyznę mapy, mimo że w ścianie tej występowałyby różne warstwy (np. trias i jura) lub nasunięcie, obraz rzeczywisty po wykonaniu rzutu byłby jedną linią.

4.3. ZASTOSOWANIE METOD GEOFIZYCZNYCH

W cyklu opracowywania SMGP wykorzystywane są również nieinwazyjne metody geofizyczne. Niektóre z nich weszły już do stałego zestawu metod badawczych, natomiast inne są obecnie wdrażane. Są to: metody geoelektryczne w wersji sondowań lub profilowań elektrooporowych, metoda grawimetryczna w wersji analiz półszczegółowego zdjęcia grawimetrycznego i modelowania grawimetrycznego oraz metoda sejsmiczna w wersji wysokorozdzielczych profilowań refleksyjnych (tzw. sejsmika refleksyjna).

Najdłużej i najbardziej powszechnie stosowane są **metody geoelektryczne**. Przy ich pomocy mierzy się opory elektryczne poszczególnych warstw, charakterystyczne dla określonych typów litologicznych. U podstaw metod geoelektrycznych leżą założenia, że warstwy leżą płasko, ich miąższość jest stała, a warstwa ma niezmienne wykształcenie litologiczne. Z oczywistych względów rzeczywistość odbiega od tych założeń, jednak — jak wykazała praktyka — odstępstwa od założeń teoretycznych nie wpływają zasadniczo na możliwość interpretacji geofizycznej uzyskanych wyników pomiarów. Wieloletnie doświadczenia interpretatorów oraz ogromny postęp w technikach pomiarowych i interpretacyjnych pozwalają uzyskiwać dość precyzyjne informacje dotyczące budowy geologicznej badanych obszarów. W zależności od stylu budowy geologicznej stosuje się wersję sondowań geoelektrycznych lub profilowań elektrooporowych. Przy stosunkowo miąższym nadkładzie skał kenozoicznych korzystniejsze jest stosowanie sondowań geoelektrycznych usytuowanych wzdłuż jednego lub kilku ciągów. W przypadku płytko leżącego skonsolidowanego, zaangażowanego tektonicznie i zapadającego pod pewnym kątem podłoża, stosuje się profilowania elektrooporowe jedno- lub wielopoziomowe. W wyniku interpretacji sondowań geoelektrycznych usytuowanych wzdłuż ciągu otrzymuje się przekrój geoelektryczny najbardziej zbliżony do przekroju geologicznego, na którym poszczególnym wydzieleniom odpowiadają wyinterpretowane opory rzeczywiste (fig. 13). Wydzielenia te są warstwami lub kompleksami warstw (na większych głębokościach). W przypadku profilowań geoelektrycznych uzyskuje się wykresy zmienności oporów pozornych na jednej lub kilku głębokościach. Ukazują one zmiany litologiczne wzdłuż profilu na określonej głębokości, z możliwością wyinterpretowania stref nasunięć i nieciągłości tektonicznych.

Metody geoelektryczne mają jednak ograniczenia. Mogą być stosowane, gdy istnieją dość wyraźne kontrasty oporowe między poszczególnymi kompleksami skalnymi. W miarę wzrostu głębokości zmniejsza się rozdzielczość metody w wariancie sondowań. W przypadku profilowań nie określa się dokładnie głębokości śledzenia, a opory pozorne pozwalają jedynie na ocenę kontrastu oporowego skał występujących obok siebie. Uznaje się także, iż dokładność 10% przy określaniu głębokości zalegania warstwy lub kompleksu jest dokładnością wysoką. Oznacza to, że wyinterpretowana na głębokości 200 m granica między warstwami może w rzeczywistości zalegać na głębokości od 180 do 220 m. A więc w wyniku badań elektrooporowych uzyskujemy wyłącznie przybliżony model budowy geologicznej.

Jedyną obiektywną informacją uzyskaną z pomiarów elektrooporowych jest wielkość oporu pozornego: w przypadku profilowań — w punkcie pomiaru dla jednego lub kilku poziomów,

natomiast w przypadku sondowań — w punkcie pomiaru dla wielu poziomów, co pozwala zestawić krzywą pomiarową. Profilowania elektrooporowe przedstawia się w postaci wykresu, który podaje wyłącznie informacje jakościowe. W wyniku interpretacji chodzi tylko o prawidłowe zidentyfikowanie rodzaju skał, przez które przechodzi profil. Nie prowadzi się tutaj interpretacji ilościowej. Bardziej skomplikowana sytuacja jest w przypadku interpretacji sondowań, ponieważ nie jest ona jednoznaczna i wymaga posiadania reperów. Jednym z nich jest model budowy geologicznej, tzn. wstępna wersja przekroju geologicznego (np. z projektu prac geologicznych). Innym, bardziej wartościowym reperem jest wiercenie o jednoznacznej lokalizacji i z dobrze opisanym profilem. W miejscu takiego wiercenia wykonuje się sondowania parametryczne, które dostarczają tzw. charakterystyk oporowych przewiercanych skał lub kompleksów skalnych. W oparciu o takie informacje można wykonywać interpretację ilościową krzywych sondowań i przekrojów. W wyniku uzyskuje się rozpoziomowanie skał zalegających w zakresie prospekcji geofizycznej, ukształtowanie podłoża danego wydzielenia, a także informacje pozwalające na korelację otworów wiertniczych.

Dla uzyskania najbliższego rzeczywistości obrazu budowy geologicznej proces tworzenia dokumentacji badań geoelektrycznych podzielono na dwa etapy. W pierwszym opracowuje się wstępny przekrój geoelektryczny, który służy do lokalizacji wierceń. W drugim etapie, po uzyskaniu informacji geologicznych z odwierconych otworów kartograficznych, wykonuje się ostateczną interpretację geofizyczną zakończoną pełną dokumentacją geoelektryczną. Zaznaczyć trzeba, że uzyskane informacje dotyczą litologii, a nie stratygrafii. Na przykład, piaski trzeciorzędowe i czwartorzędowe nie różnią się oporami; podobnie jest z iłami, mułkami, a także innymi skałami. Trzeba natomiast pamiętać, że na obniżenie oporu elektrycznego wpływa obecność wody oraz zasolenia warstw zawodnionych. Zdarza się często, że na przekroju geoelektrycznym nie można jednoznacznie określić przebiegu poszukiwanej granicy. W takim przypadku interpretator podaje drugą, a niekiedy również trzecią wersję interpretacji. Należy te wersje traktować jako równorzędne, zaś o wyborze jednej z nich powinny decydować przesłanki geologiczne.

W celu umożliwienia oceny prawidłowości interpretacji danych geoelektrycznych należy wymagać, aby opracowanie geofizyczne zawierało komplet danych pomiarowych w postaci krzywych pomiarowych lub w formie tabelarycznej, przekroje izoom oraz dokładny szkic sytuacyjny wykonanych prac.

Mimo powyższych uwag stosowanie metod geoelektrycznych jest celowe, a w wielu przypadkach wręcz niezbędne. Są to metody nieszkodliwe dla środowiska, niezbyt drogie i umożliwiające stosunkowo szybkie uzyskiwanie wyników. Przy niewielkiej liczbie otworów wiertniczych w znacznym stopniu ułatwiają one konstruowanie przekrojów geologicznych. Natomiast, jeśli dla danego obszaru istnieje geoelektryczne zdjęcie powierzchniowe, można również tworzyć mapy geoelektryczne na różnych poziomach. Zatem, po konsultacji z dokumentatorem geofizykiem należy określić celowość stosowania badań geoelektrycznych w danym rejonie oraz dokonać wyboru metody pomiaru i sposobu prezentacji wyników interpretacji.

Metoda grawimetryczna polega na wykorzystywaniu zjawiska zróżnicowanej gęstości skał o różnej litologii do ich identyfikacji geologicznej. Nie ma niestety możliwości określania głębokości zalegania tych utworów, ale uzyskuje się informacje o rozprzestrzenieniu form geologicznych i o przebiegu stref dyslokacji.

Z danych grawimetrycznych obliczana jest mapa anomalii Bouguera. Dla określonych potrzeb oblicza się mapę anomalii regionalnych przy zadanym promieniu uśrednienia. Po odjęciu od mapy Bouguera mapy anomalii regionalnych uzyskuje się mapę anomalii lokalnych dla

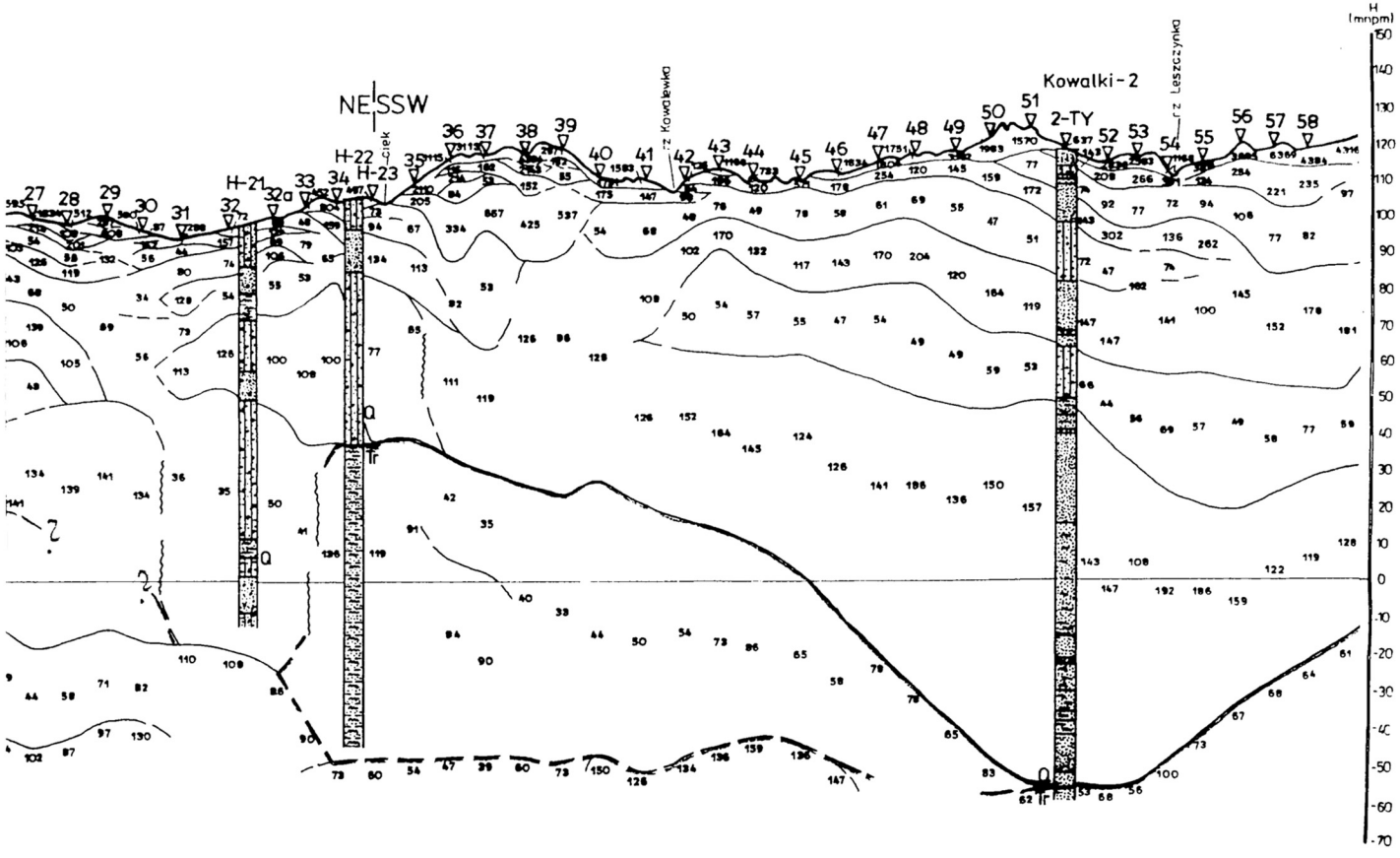
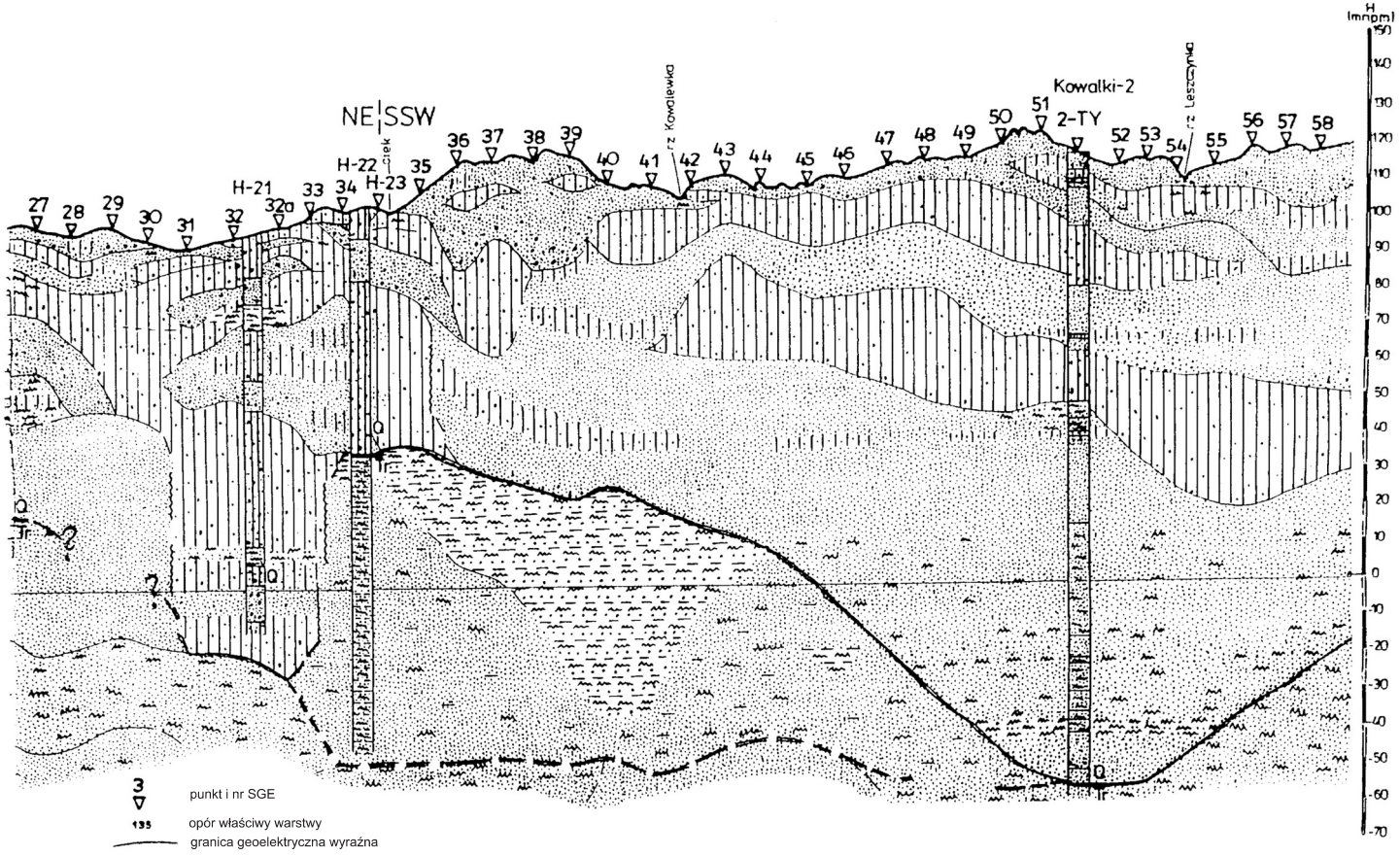


Fig. 13. Fragment przekroju geoelektrycznego z północnej Polski
A — tylko z wartościami opisów geoelektrycznych, **B** — z treścią litologiczną



punkt i nr SGE

opór właściwy warstwy

granica geoelektryczna wyraźna

granica geoelektryczna mniej wyraźna

nieciągłość, brak korelacji warstw

przypuszczalny przebieg spągu czwartorzędu wersja I

przypuszczalny przebieg spągu czwartorzędu wersja II

pozostałe oznaczenia zgodne z Instrukcją (1996)

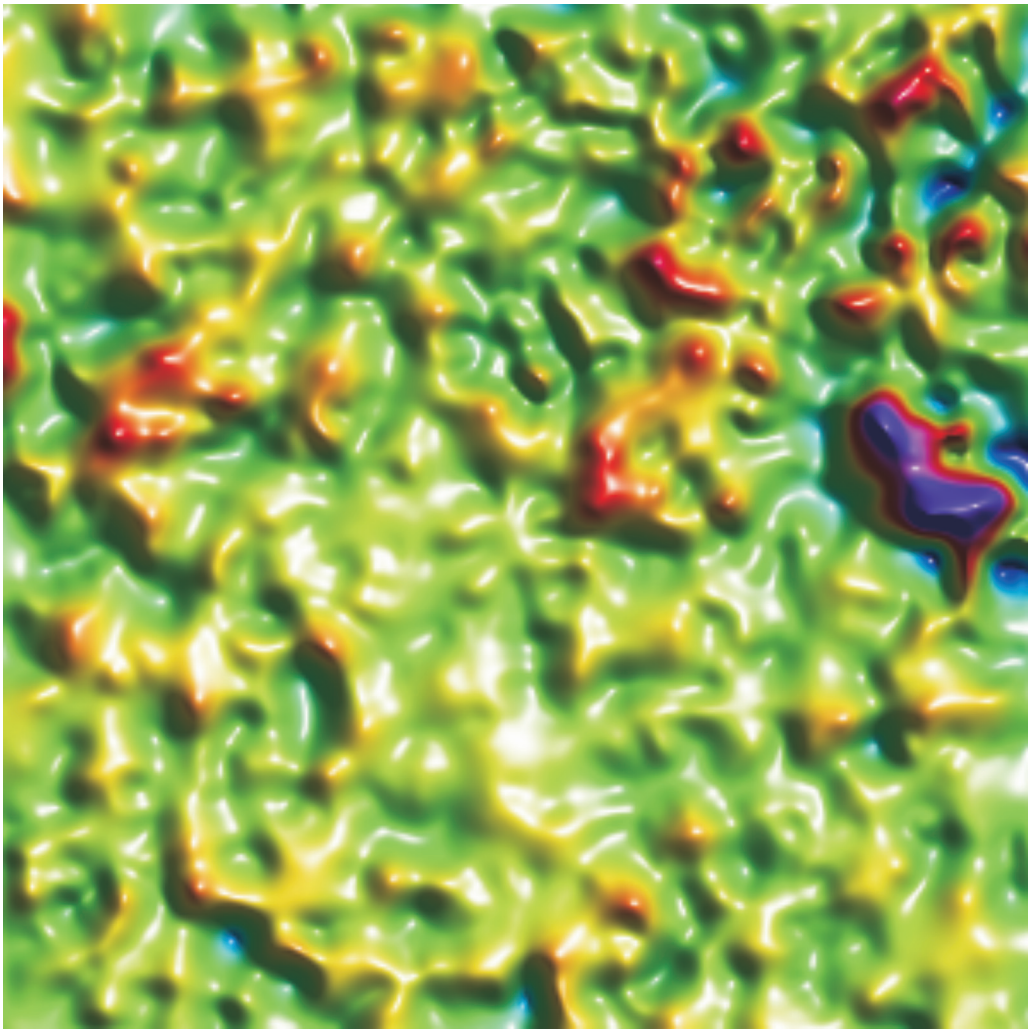


Fig. 14. Lokalne anomalie grawimetryczne (R = 1200 m) między Buczyną a Wieluniem
Arkusz Skomlin SMGP (rzeźba cieniowana, oświetlenie z NE), wg Wybrańca (1999)

przestrzeni od powierzchni do głębokości będącej funkcją przyjętego promienia. Przy obecnej jakości sprzętu komputerowego i wysokiej jakości oprogramowania można tworzyć wiele map transformowanych, które pozwalają na wyinterpretowanie szeregu struktur geologicznych na różnych głębokościach (fig. 14). Mapy takie, nazywane niekiedy reliefowymi, mogą być oświetlane z różnych kierunków, co umożliwia uwypuklenie prawie niewidocznych szczegółów budowy geologicznej. Podobne zabiegi interpretacyjne stosuje się także w przypadku przetworzonych map wysokościowych. Dzięki odpowiedniemu oświetleniu można uwypuklić zróżnicowanie

wysokościowe, często związane z elementami tektonicznymi budowy geologicznej. W interpretacji geologicznej uzyskanego w ten sposób obrazu grawimetrycznego wykorzystuje się informacje z otworów wiertniczych oraz z różnych opracowań geologicznych i geofizycznych.

W oparciu o krzywą grawimetryczną odczytaną z mapy anomalii lokalnych można przeprowadzić modelowanie grawimetryczne z zastosowaniem programu GravMag brytyjskiej służby geologicznej. Konstruuje się w tym celu przekrój geologiczny, na którym warstwy geologiczne i struktury aproksymowane są wielokątami, z przypisanymi gęstościami charakterystycznymi dla danego wydzielenia geologicznego. Program oblicza krzywą grawimetryczną, którą porównuje się z krzywą pomierzoną. Zmieniając w określonych granicach wartości gęstości i miąższości warstw doprowadzamy do zgodności krzywych, co w efekcie daje nam przekrój geologiczny najlepiej ilustrujący faktyczny układ geologiczny. Najlepsze efekty uzyskuje się w obszarach pokrytych gęsto punktami grawimetrycznymi oraz z dobrze opisanymi otworami wiertniczymi usytuowanymi wzdłuż interesującej linii.

Decyzję o wykorzystaniu metody grawimetrycznej powinien podejmować autor arkusza po konsultacji ze specjalistą d/s badań geofizycznych. Decyzja ta (celowość, ewentualnie zakres badań) musi być poprzedzona rozpoznaniem zagęszczenia zdjęcia grawimetrycznego oraz liczby i jakości otworów wiertniczych.

Dla potrzeb kartografii geologicznej rzadziej stosuje się analizę półszczegółowego zdjęcia grawimetrycznego. Obszar całego kraju pokryty jest takim zdjęciem o zagęszczeniu prawie 3 punkty na 1 km^2. W banku danych, którego dysponentem jest Państwowy Instytut Geologiczny, zapisano ponad 900 000 punktów pomiarowych, zawierających dane grawimetryczne, współrzędne geograficzne oraz wartości rzędnych. Przy takich danych istnieje możliwość tworzenia map grawimetrycznych i wysokościowych. Zagęszczenie punktów nie jest niestety równomierne i decyzję o zastosowaniu tej metody dla SMGP należy podejmować w każdym przypadku oddzielnie, również w porozumieniu ze specjalistą d/s badań geofizycznych.

Stosunkowo najrzadziej obecnie stosowaną metodą geofizyczną w pracach geologiczno-zdjęciowych jest **sejsmika refleksyjna**. Już od dawna metoda ta stanowi podstawowe narzędzie badawcze w prospekcji naftowej, natomiast od kilku lat w coraz większym zakresie wysokorozdzielcza sejsmika refleksyjna jest stosowana do rozwiązywania rozmaitych zagadnień związanych z płytkimi badaniami geologicznymi, takimi jak: kartografia geologiczna, hydrogeologia, glacitektonika i geologia inżynierska (Steeples, 1998). W trakcie badań sejsmicznych fale akustyczne wzbudzane są na powierzchni gruntu bądź wody za pomocą odpowiednich źródeł, a następnie po ich odbiciu od rozmaitych granic geologicznych (powierzchnie warstwowania, powierzchnie niezgodności, niekiedy powierzchnie uskokowe bądź obszary gwałtownych zmian litologicznych), rejestrowane przez odbiorniki rozstawione na powierzchni gruntu (geofony), lub na powierzchni wody (hydrofony). Specjalistyczne testy polowe oraz komputerowe modelowanie sejsmiczne pozwalają na określenie optymalnych parametrów wzbudzania i rejestracji sejsmicznego pola falowego dla danych warunków polowych oraz postawionego do rozwiązania zagadnienia. W związku ze znacznym rozwojem techniki pomiarowej możliwe jest obecnie rejestrowanie horyzontów sejsmicznych już na głębokości kilku metrów, z rozdzielczością nawet poniżej 1 m. W efekcie przetwarzania danych polowych uzyskuje się przekrój sejsmiczny, początkowo w pionowej skali wyrażonej w czasie (tzw. czas podwójnego przebiegu związany z czasem propagacji fali akustycznej do danej granicy odbijającej i, po odbiciu, do odbiornika na powierzchni), a następnie — już w metrach (fig. 15). Ze względu na ciągłość pomiarów wzdłuż profilu oraz wysoką rozdzielczość takie dane znakomicie nadają się do kartowania geologicznego i surowcowego.

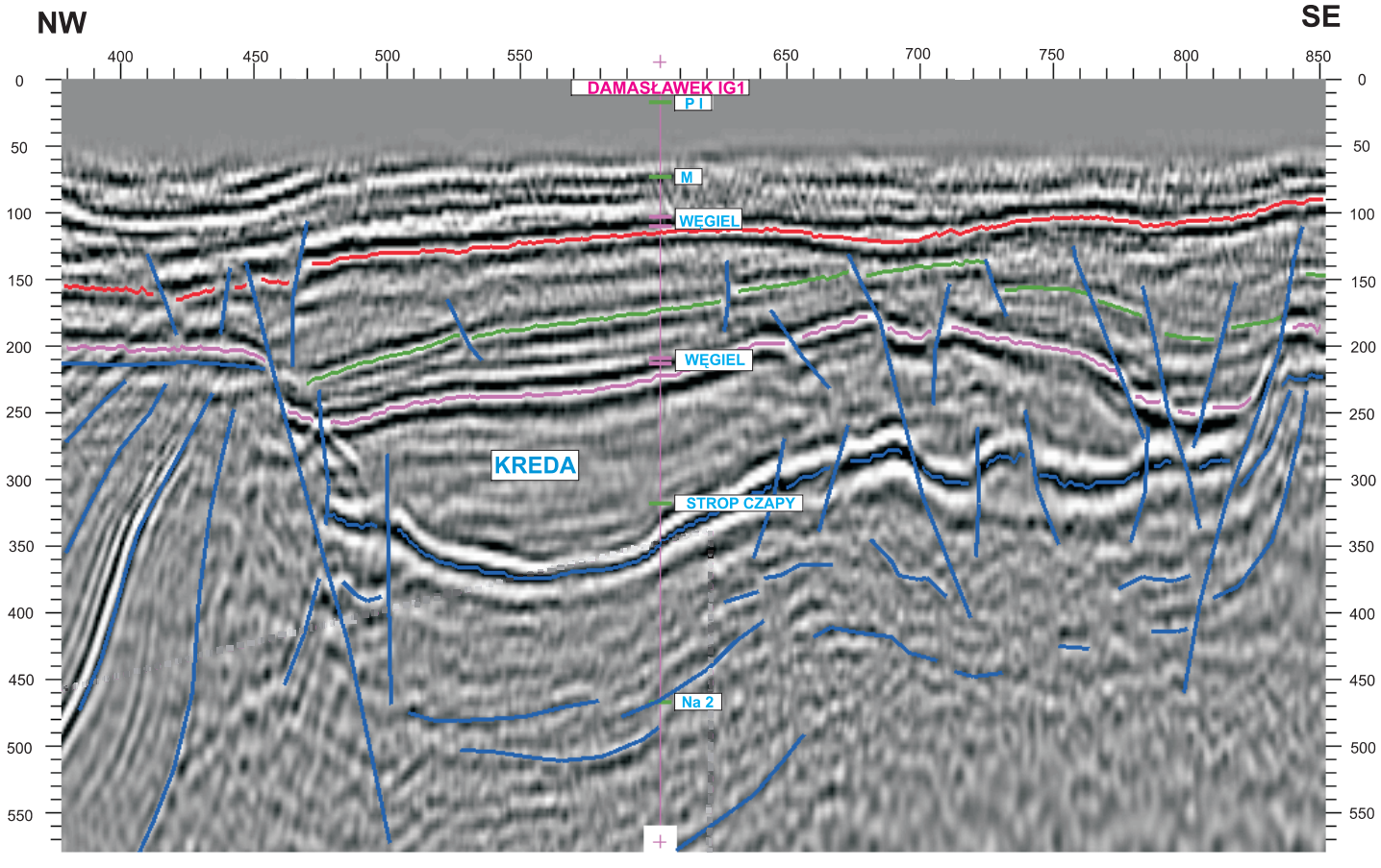


Fig. 15. Głębokościowy przekrój sejsmiczny wzdłuż osi podłużnej wysadu solnego (sejsmika refleksyjna wysokiej rozdzielczości)
Zaznaczono strefy nieciągłości tektonicznych oraz niektóre granice litologiczne i strop utworów kredowych.

W ostatnich latach podjęto próby zastosowania wysokorozdzielczej sejsmiki refleksyjnej w wersji trójwymiarowej, dostarczającej informacji nie wzdłuż arbitralnie wytyczonych profili, a z pełnej bryły badanej przestrzeni geologicznej. Gwałtowny rozwój technik komputerowych oraz obiecujące wyniki pozwalają sądzić, że taka metodyka już w najbliższym czasie wejdzie do szerszego zastosowania w płytkich badaniach geologicznych.

4.4. WIERCENIA BADAWCZE

Podstawowym celem projektowania i wykonywania wierceń badawczych dla poszczególnych arkuszy SMGP jest rozpoznanie budowy geologicznej osadów czwartorzędu oraz jego bezpośredniego podłoża. Uzyskane rdzenie wiertnicze umożliwiają określenie następstwa osadów, ich litologii i głębokości występowania, jak również pobranie odpowiednich próbek do badań laboratoryjnych (litologiczno-petrograficznych, paleontologicznych, datowania itp.), m.in. dla ustalenia stratygrafii osadów.

Projektowanie. Usytuowanie wierceń badawczych powinno pozwalać na sporządzenie reprezentatywnego dla danego arkusza przekroju geologicznego głównego, przebiegającego poprzecznie do ważniejszych jednostek geologicznych i geomorfologicznych. Wiercenia takie, zlokalizowane w dość regularnych odstępach od siebie, projektuje się zatem przeważnie wzdłuż linii o przebiegu NW–SE, SW–NE lub S–N. Zaprojektowanie jednego lub dwóch wierceń poza linią przekroju głównego pozwala na uzyskanie dodatkowego, na ogół równoleżnikowego przekroju geologicznego (fig. 16). Wiercenia badawcze powinny być projektowane zarówno na obszarach wysoczyznowych, jak i w dolinach rzecznych, na powierzchniach sandrowych itp., a ponadto — raczej w lokalnych obniżeniach terenu. Lokalizacja taka pozwala na uniknięcie przewiercania miąższych osadów form rzeźby polodowcowej oraz stwarza możliwość natrafienia na kopalne osady jeziorne lub rzeczne, ponieważ rozmieszczenie obniżeń współczesnej powierzchni może odzwierciedlać występowanie kopalnych obniżeń, również w podłożu osadów czwartorzędu. Obawa, że miąższość utworów plejstoceńskich w miejscach obniżeń współczesnej powierzchni terenu może być mniejsza, nie ma zwykle uzasadnienia.

Lokalizację poszczególnych wierceń badawczych powinna poprzedzać dokładna analiza wyników badań geofizycznych (geoelektryka, grawimetria lub sejsmika refleksyjna wysokiej rozdzielczości), archiwalnych profili otworów przebijających osady czwartorzędowe lub otworów głębszych — zakończonych w osadach czwartorzędowych, istniejących materiałów kartograficznych zawierających przekroje geologiczne sięgające do podłoża czwartorzędu oraz map geologicznych i map ukształtowania podłoża czwartorzędu (m.in. odpowiedniego arkusza *Mapy geologicznej Polski w skali 1:200 000*, wyd. A i B).

Każde wiercenie badawcze musi być zlokalizowane dokładnie na linii projektowanego przekroju geologicznego (chodzi o uniknięcie rzutowania) i dla każdego otworu oddzielnie należy wykonać „Szkic lokalizacji projektowanego otworu... (nazwa otworu lub oznaczenie cyfrowe: np. Nowy Staw lub P-I)", oparty na mapie topograficznej w skali 1:10 000 (fig. 17). Lokalizowanie wierceń badawczych winno być poprzedzone wizją terenową. Zaleca się ustalanie lokalizacji oraz określanie wysokości bezwzględnej każdego projektowanego wiercenia z wykorzystaniem GPS.

Technika wiercenia. Otwory wiertnicze w osadach czwartorzędowych wykonuje się przy użyciu różnego rodzaju urządzeń wiertniczych, stosując technikę udarową oraz obrotowo-okrętną lub obrotowo-rdzeniową. Próbki z otworów udarowych — wierconych dłutami i obro-

Fig. 16. Projektowanie wierceń badawczych poza przekrojem głównym (A–B) na przekroju dodatkowym (C–D)

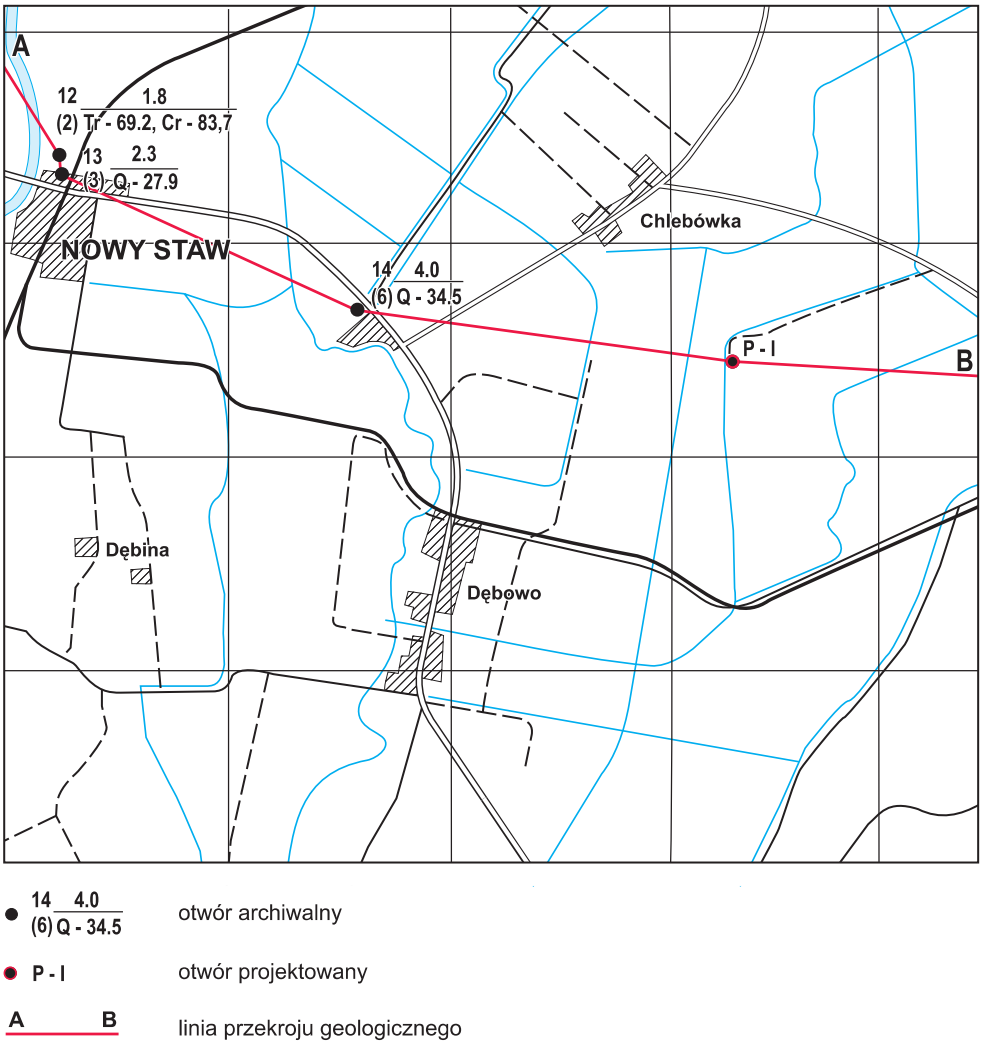


Fig. 17. Szkic lokalizacji projektowanego wiercenia badawczego

towo-okrętnych — pobierane różnego rodzaju świdrami, szapami i łyżkami (szlamówkami) są rozkruszone lub warkoczowo nawinięte na spiralę świdra. Tak więc mają one naruszoną strukturę, z wyjątkiem próbek pobieranych w tuleje. Są też zwykle zubożone pod względem zawartości grubszego ziarna, wbijanego łyżką lub dłutem w dno otworu, a także mają mniejszą zawartość najdrobniejszej frakcji ilastej, jeśli z łyżki (szlamówki) wylewa się woda. Aby uniknąć zasypywania dna otworu i zanieczyszczania opróbowywanych osadów przez osady leżące wyżej,

wiercone w ten sposób otwory ruruje się sukcesywnie, w ślad za postępem wiercenia. Wiercenia systemem udarowym należy projektować tam, gdzie przewiduje się występowanie głównie osadów piaszczysto-żwirowych, z których nie można uzyskać urobku w postaci rdzenia.

Z otworów wierconych techniką obrotowo-rdzeniową próbki skał wydobywa się w postaci rdzeni wiertniczych oraz jako rozkruszony materiał z zasypówki. Niedogodnością w tej technice jest zubożenie próbki spowodowane wypłukiwaniem najdrobniejszej frakcji przez płuczkę. W przypadku zastąpienia płuczki wiertniczej czystą wodą i przy stałym rurowaniu odwiercanych odcinków, najdrobniejsza frakcja może być również pobierana ze specjalnych odstojników. Należy jednak podkreślić, że najbardziej reprezentatywną próbkę stanowi rdzeń wiertniczy, gdyż oddaje on wiernie nie tylko skład (litologię) oraz właściwości fizyczne i chemiczne skały, ale również jej strukturę i teksturę. Średnicę rdzeni, zazwyczaj od 37 do 136 mm, dobiera się w zależności od potrzeby uzyskania próbki o odpowiedniej objętości.

Wieloletnia praktyka i doświadczenie w czasie prac nad realizacją SMGP wykazały, że najlepszym sposobem wiercenia dla potrzeb mapy ze względu na wysoki uzysk rdzenia jest stosowanie techniki obrotowo-rdzeniowej, o małej i średniej średnicy (do 300 mm), z bezwapienną płuczką i przy użyciu podwójnej rdzeniówki. Rdzeniowanie należy prowadzić od powierzchni terenu aż do projektowanej głębokości średnicą 132 mm, co pozwala na uzyskanie rdzenia o podobnej średnicy na całej długości otworu.

Przy ciągłym systemie wiercenia tą techniką (na 3 zmiany) unika się rurowania otworu, gdyż płuczka nie dopuszcza do osypywania się skał luźnych oraz zamyka poziomy wodonośne. Zazwyczaj pierwszy marsz wykonuje się na sucho — szapą. Jeśli stosuje się inny system wiercenia lub wiercenie w zaleconym systemie obrotowo-rdzeniowym z podwójną rdzeniówką, ale w sposób przerywany (na 1 lub 2 zmiany), należy rurować górne odcinki otworu, jak również duże serie osadów sypkich mogących zasypać otwór oraz odcinki z osadami pęczniejącymi i nawodnionymi.

W osadach zwięzłych (iły, mułki, gliny) uzysk rdzenia przy stosowaniu podwójnej rdzeniówki nie powinien być mniejszy niż 90%, natomiast w osadach luźnych (piaski drobnoziarniste, piaski mułkowate) — nie mniejszy niż 70%. Przy stosowaniu podwójnej rdzeniówki wyklucza się możliwość pobierania próbek z koryta. Przy zwiercaniu osadów silnie zwięzłych (iły, mułki ilaste, gliny ilaste) można stosować większe naciski i ciśnienie płuczki oraz dłuższe marsze, tzn. dłuższą rdzeniówkę — nawet do 5 m. Przy mniej zwięzłych osadach (mułki, mułki piaszczyste, piaski mułkowate) stosuje się marsze krótsze, tj. rdzeniówkę o długości do 2 m, mniejsze naciski oraz gęstszą, o mniejszym ciśnieniu, bezwapienną płuczkę. Generalnie, dla maksymalnego uzysku rdzenia ogranicza się długość marszów (w zależności od litologii), powiększa średnicę koronek, stosuje podwójne rdzeniówki, gęstą płuczkę o odpowiednim składzie, zmniejsza szybkość przepływu i ciśnienie płuczki oraz szybkość obrotów koronki.

Dozór geologiczny na wierceniu jest zobowiązany do ciągłych pomiarów długości uzyskanego rdzenia i określania jego uzysku w procentach. W przypadku uzysku rdzenia poniżej 70%, gdy rozkruszony materiał gromadzi się w zasypówce i częściowo wynoszony jest przez płuczkę na zewnątrz otworu, w celu uzyskania reprezentatywnej próbki należy z każdego marszu zebrać rdzeń, materiał z zasypówki oraz najdrobniejszą frakcję z odstojników. Aby to osiągnąć stosuje się płuczkę wodną, po każdym marszu opuszcza rury okładzinowe do spodu otworu (co zapobiega osypywaniu się materiału ze ścian otworu) oraz intensywnie przepłukuje otwór po każdym marszu w celu wyniesienia resztek rozkruszonej skały. Przy drastycznie mniejszym (niż określony w projekcie) uzysku rdzenia, źle rdzeniowane odcinki nie powinny być przyjęte, a wiercenie powtórzone na koszt wykonawcy.

Wiercenie otworu badawczego można rozpocząć tylko w obecności nadzoru lub dozoru geologicznego. W czasie wiercenia wykonawca jest zobowiązany do przekazywania inwestorowi

Fig. 18. Pobieranie próbek na skośnie ustawione koryto (*fot. A. Ber*)

raportów dziennych, protokółów obmiaru robót oraz protokółów rozpoczęcia i zakończenia robót. Geolog lub geologiczny dozór techniczny na bieżąco sporządza w trakcie wiercenia wstępny profil otworu w zakresie koniecznym do decyzji o dalszym prowadzeniu wiercenia oraz wykonywaniu następnych otworów na obszarze arkusza. W uzasadnionych przypadkach powinno się pobierać pojedyncze próbki do doraźnych ekspertyz, umożliwiających bieżące decyzje, m.in. o dalszym prowadzeniu wiercenia. Podczas profilowania rdzeni wiertniczych dokonywany jest wstępny opis makroskopowy skały.

Decyzję o zakończeniu wiercenia, po osiągnięciu zamierzonego zadania geologicznego, podejmuje nadzór lub dozór geologiczny i dokumentuje tę decyzję wpisem do książki inspekcyjnej. Po zakończeniu wiercenia należy zmierzyć ostateczną głębokość otworu, sumując liczbę oraz długość rdzeniówek i żerdzi wyciągniętych z otworu. Jeśli otwór był rurowany, rury należy

Fig. 19. Rdzenie wiertnicze w skrzynkach podwójnych o długości 1 m (*fot. A. Ber*)

wyciągnąć a otwór wiertniczy zlikwidować, wtłaczając do niego pastę iłowo-cementową. W miejscu zlikwidowanego wiercenia stawiany jest słupek (świadek) — z rury stalowej o średnicy nie mniejszej niż 15 cm i o długości nie mniejszej niż 2 m. Słupek ten powinien wystawać 50 cm ponad powierzchnię terenu. Rurę wypełnia się cementem, a na główce słupka umieszcza nazwę otworu, rok wykonania oraz inicjały: PIG (Państwowy Instytut Geologiczny).

Nadzór i dozór geologiczny zobowiązany jest do niezwłocznego sporządzenia karty otworu wiertniczego i przekazania jej do Centralnego Archiwum Geologicznego Państwowego Instytutu Geologicznego.

Pobieranie rdzeni (próbek). Próbki lub rdzenie wiertnicze (przy wierceniu systemem obrotowo-rdzeniowym na płuczkę z podwójną rdzeniówką) wyjmuje się z rdzeniówki na specjalnie przygotowane koryto, ustawione poziomo lub lekko skośnie (fig. 18). Niedopuszczalne jest zarówno wybijanie rdzenia (który będzie w przyszłości poddawany laboratoryjnym badaniom specjalistycznym) przez uderzanie w rdzeniówkę, jak i pobieranie rdzenia z rdzeniówki wiszącej pionowo. Rdzeń rozsypany czy zniszczony wskutek wadliwego pobierania nie powinien być przyjęty przez dozór geologiczny. Rdzenie wkłada się do znormalizowanych (o długości 1 m) pojedynczych lub podwójnych skrzynek, przestrzegając ułożenia rdzenia „góra-dół" (fig. 19).

Skrzynki powinny być opisane czytelnie i trwale wodoodpornym flamastrem lub wodoodporną farbą: na boku, wieczku i szczycie. Opis powinien zawierać: numer i nazwę otworu, rok wykonania, numer kolejny skrzynki, głębokość pobrania rdzenia (od–do). Na skrzynkach należy dokładnie zaznaczyć i opisać granice poszczególnych marszów, oddzielając je przegródkami. Rdzeń kruchy, w odcinkach lub nie wypełniający całej skrzynki, należy unieruchomić za pomocą przegródek o opisanych głębokościach, aby nie nastąpiło jego przemieszczenie podczas transportu. W miejscach wiercenia i składowania rdzenie muszą być przykrywane wiekami skrzynek oraz dodatkowo papą lub płachtami plastikowymi w celu zabezpieczenia przed zamoknięciem. Rdzenie przewozi wykonawca do wyznaczonego przez nadzór geologiczny Magazynu Rdzeni Wiertniczych Państwowego Instytutu Geologicznego, gdzie są przechowywane przez cały okres opracowania arkusza mapy — do dyspozycji autora arkusza i specjalistów z zakresu badań laboratoryjnych (Poradnik, 1968).

5. PRACE LABORATORYJNE

5.1. BADANIA LITOLOGICZNO-PETROGRAFICZNE

Badania te służą do określania cech osadu i ustalania jego pochodzenia, a co za tym idzie — również warunków transportu oraz paleogeografii środowiska sedymentacyjnego.

Struktura osadu, czyli sposób ułożenia poszczególnych jego składników, wiąże się ściśle z procesami transportu i sedymentacji, a także z szeroko rozumianymi procesami postsedymentacyjnymi. Analiza strukturalna w dużym stopniu nawiązuje do metodyki badań sedymentologicznych, szczegółowo opisanych m.in. przez Gradzińskiego i in. (1986) oraz Mycielską-Dowgiałło, red. (1998).

Prawidłowe **opróbowanie** osadów spełnia podstawową rolę we właściwym określaniu litologii. Liczba próbek, ich wielkość i sposób pobrania powinny być tak dobrane, aby umożliwić dokładną charakterystykę osadu. Opróbowanie powinno więc uwzględniać m.in. wykształcenie osadu, jego zmienność litologiczną i charakter granic, struktury sedymentacyjne, a w przypadku rdzeni wiertniczych — również stopień zachowania osadu. Próbki powinny być pobierane przez wykonawcę badań litologiczno-petrograficznych pod nadzorem autora arkusza.

Metodyka pobierania próbek w terenie zależy od ich przeznaczenia. Zwykle pobiera się próbki punktowe (tj. w określonym punkcie profilu, np. z serii piaszczystej, zastoiskowej itp.) i bruz-

dowe (z określonego odcinka w profilu, bruzdą o stałej szerokości). Próbki rdzeni wiertniczych pobierane są z poszczególnych jednostek litologicznych, a metodyka opróbowania zależy od rodzaju zaplanowanych badań (fig. 20). Gliny zwałowe opróbowuje się zazwyczaj co 1 m, natomiast z osadów dzielących pobiera się próbki punktowe w przelocie 20 cm. Próbki powinny być pakowane do worków (najlepiej z gęsto tkanego płótna) opatrzonych dokładnym opisem próbki oraz jej lokalizacją (nazwa i numer profilu, odkrywki lub miejscowości), głębokością (od–do) i datą pobrania.

Przed przystąpieniem do właściwej analizy pobrane w terenie próbki powinny być odpowiednio przygotowane, przede wszystkim przez wymieszanie i pomniejszenie. Wymieszanie jest szczególnie ważne dla próbek z osadów różnoziarnistych, w których mogło nastąpić częściowe rozsortowanie. Pomniejszanie próbki, poprzedzone jej wymieszaniem w celu uzyskania odpowiedniej dla danej analizy naważki, może być wykonywane ręcznie lub mechanicznie przy użyciu kwartowników (spliterów). Szczegółowe informacje odnośnie opróbowania i przygotowania próbek do analiz podają Mycielska-Dowgiałło, Rutkowski, red. (1995).

Dla osadów mułkowo-ilastych wykonuje się analizę składu granulometrycznego i składu minerałów ciężkich oraz zawartości węglanu wapnia, zaś dla osadów piaszczysto-żwirowych — ponadto analizę obtoczenia ziarn kwarcu oraz analizę składu mineralno-petrograficznego.

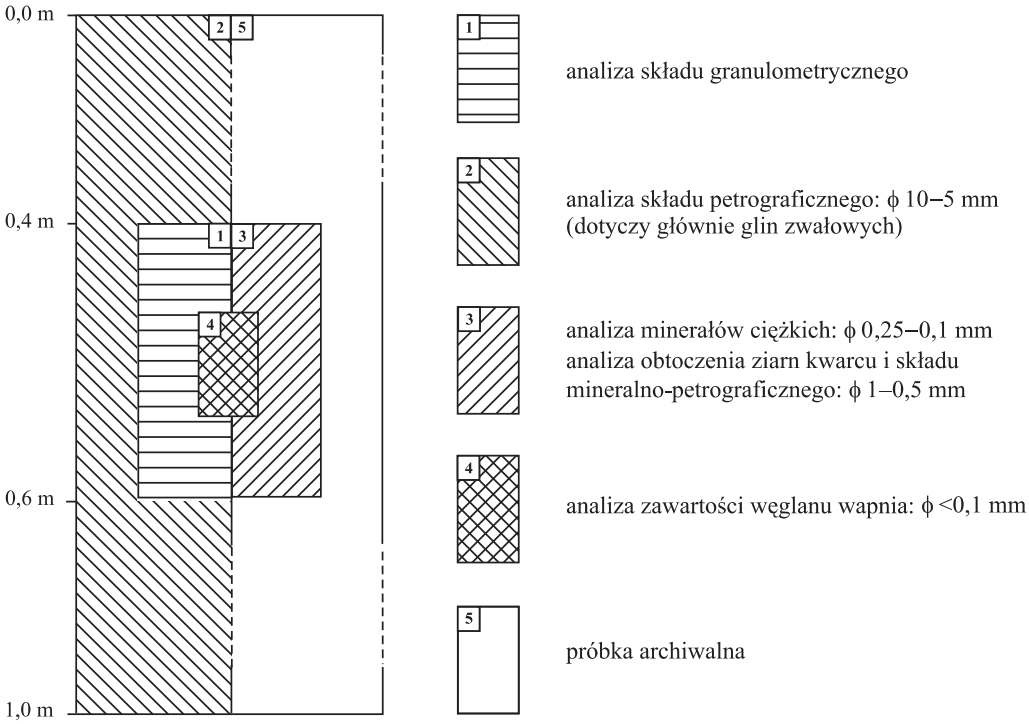


Fig. 20. Schemat opróbowania osadów z rdzeni wiertniczych

5.1.1. Analiza składu granulometrycznego

Analiza składu granulometrycznego (uziarnienia) osadów umożliwia charakterystykę ich podstawowych cech litologicznych, lecz jednocześnie stanowi tylko jeden z elementów interpretacji (np. genetycznej) i musi być uzupełniana innymi badaniami, opartymi na wszechstronnym rozpoznaniu osadów. Kluczową rolę odgrywa tu prawidłowe opróbowanie, zależne m.in. od rodzaju formy rzeźby terenu i jego budowy geologicznej, a także od celu prowadzonych badań (m.in. Krumbein, Graybill, 1965; Griffiths, 1967; Mycielska-Dowgiałło, Rutkowski, red., 1995).

W zależności od skrajnych granic wielkości ziarn stosowane są różne metody badania uziarnienia (Rühle, red., 1973; Gradziński i in., 1986; Mycielska-Dowgiałło, Rutkowski, red., 1995) (tab. 2). Pomiary uziarnienia osadów żwirowych i kamienistych przeprowadza się z reguły w terenie, przede wszystkim ze względu na wymaganą wielkość próbek. Analizę osadów piaszczystych wykonuje się najczęściej przy użyciu kompletu sit o oczkach 0,06–2,5 mm (zaleca się stosowanie możliwie największej liczby sit). Analiza osadów piaszczysto-ilastych prowadzona jest kombinowaną metodą sitowo-areometryczną, metodą sitowo-pipetową lub coraz częściej stosowaną metodą sitowo-laserową.

Wyniki uzyskane różnymi metodami (np. sitową i areometryczną; patrz tab. 2) nie są bezpośrednio porównywalne i wymagają odpowiednich przeliczeń (Mycielska-Dowgiałło, Rutkowski, red., 1995). Sposoby prezentacji wyników analizy uziarnienia są bardzo liczne. Bazują one najczęściej na krzywych rozkładu uziarnienia, krzywych kumulacyjnych lub wzajemnych relacjach między wyliczonymi statystycznymi parametrami uziarnienia, co umożliwia identyfikację środowiska sedymentacji (Gradziński i in., 1986; Mycielska-Dowgiałło, Rutkowski, red., 1995).

Tabela 2

Podstawowe metody badania uziarnienia

Metoda pomiaru	Zastosowanie	Wyniki pomiaru [%]
Bezpośredni pomiar wielkości ziarn	frakcja kamienista (żwirowa): pomiary terenowe frakcja piaszczysta – iłowa pomiary laboratoryjne – mikroskopowe	ilościowe – % liczby ziarn w danym przedziale ich wielkości
Przesiewanie osadu przez zestaw sit (sitowa)*)	frakcja kamienista (żwirowa): przesiewanie w terenie frakcja piaszczysta – iłowa: aparatura laboratoryjna	wagowe – % wagi ziarn w danym przedziale ich wielkości
Sedymentacja cząstek w cieczy (areometryczna, pipetowa*), laserowa)	frakcja piaszczysta – iłowa: aparatura laboratoryjna	objętościowe – % objętości ziarn w danym przedziale ich wielkości
Planimetryczna (powszechnie stosowana dla płytek cienkich)	frakcja bardzo gruboziarnista, trudno dostępne odsłonięcia, uziarnienie skał zwięzłych (np. zlepieńców) – pomiary bezpośrednio w terenie lub na zdjęciach fotograficznych w odpowiedniej skali	powierzchniowe – % powierzchni zajętej przez ziarna w danym przedziale ich wielkości (wyliczany w stosunku do całej powierzchni pomiarowej)

*) metody stosowane powszechnie w badaniach dla SMPG.

Na podstawie wzorów Folka i Warda (1957) obliczane są następujące podstawowe parametry statystyczne uziarnienia:

— mediana Md (pięćdziesiąty centyl), czyli wartość środkowa rozkładu uziarnienia;

— przeciętna wielkość ziarna Mz;

— odchylenie standardowe δ, tj. rozproszenie wartości średnic ziarn, czyli miara wysortowania osadu;

— współczynnik skośności Sk, będący miarą asymetrii rozkładu uziarnienia;

— współczynnik spłaszczenia rozkładu uziarnienia K_G;

oraz jako dodatkowe także:

— pierwszy centyl C_1;

— K_G^1 przeliczony wg formuły $K_G^1 = K_G/(K\ K_G+1)$, dzięki czemu sprowadzono wartości do przedziału {0-1}.

Najczęściej stosowane są dwie metody liczenia tych parametrów (m.in. Grzegorczyk, 1970; Racinowski, Szczypek, 1985; Mycielska-Dowgiałło, Rutkowski, red., 1995):

— graficzna, która bazuje na wartościach odpowiednich percentyli odczytanych z krzywej kumulacyjnej, a do obliczeń stosuje się przeważnie wzory Folka i Warda (1957);

— momentów, która bazuje na bezpośrednich wynikach analizy uziarnienia, zaadaptowana do badań rozkładu uziarnienia przez Krumbeina (1936).

Sposób prezentacji otrzymanych wyników analiz zależy oczywiście w głównej mierze od postawionego do rozwiązania problemu. Zaleca się jednak stosowanie prezentacji graficznej, która przy powszechnej dostępności odpowiedniego oprogramowania komputerowego nie powinna nastręczać większych trudności.

5.1.2. Analiza składu petrograficznego frakcji kamienistej i żwirowej

Polega ona w zasadzie na makroskopowym określaniu przynależności petrograficznej okruchów skalnych, ale w niektórych przypadkach sprawdza się ocenę makroskopową poprzez analizę płytek cienkich w mikroskopie polaryzacyjnym. W dalszym etapie analizy dokonywana jest korelacja stwierdzonych typów petrograficznych skał z obszarami źródłowymi lub przedstawiane ich wzajemne proporcje, co służy do formułowania wniosków litostratygraficznych. Omawiana analiza jest najczęściej stosowana przy określaniu składu petrograficznego frakcji kamienistej i żwirowej glin zwałowych (tab. 3), ale może być również użyteczna przy badaniu osadów innej genezy (np. rzecznych, wodnolodowcowych). Analiza petrograficzna stanowi doskonałe uzupełnienie badań litofacjalnych, jednak należy podkreślić, że prawidłowe wnioski mogą być z niej wyciągnięte tylko w połączeniu z wynikami innych metod badawczych. Przegląd metod badań petrograficznych frakcji kamienistej i żwirowej glin zwałowych, wraz z podaniem bogatej literatury źródłowej, przedstawiła ostatnio Górska (1999).

W analizie składu petrograficznego frakcji żwirowej (5–10 mm, badania wskaźnikowe, patrz tab. 3), wykonywanej na potrzeby SMGP, przy sporządzaniu której bazuje się przede wszystkim na rdzeniach wiertniczych, kluczową rolę odgrywa opróbowanie. Powinno być ono poprzedzone dokładnym oczyszczeniem powierzchni rdzenia z płuczki i w miarę możliwości wnikliwymi obserwacjami i opisem cech strukturalnych i teksturalnych osadu (por. Ruszczyńska-Szenajch *w*: Mycielska-Dowgiałło, red., 1998). Poszczególne warstwy glin zwałowych należy podzielić na jednometrowe odcinki i z każdego z nich pobrać połowę rdzenia na potrzeby analizy składu petro-

Tabela 3

Badania petrograficzne głazów i żwirów glin zwałowych

Frakcja		Analizowany materiał skalny	Znaczenie interpretacyjne	Badania
Kamienista 20–60 mm		eratyki przewodnie – analizowana liczebność przewodnich skał krystalicznych i osadowych z obszaru Skandynawii	– określenie regionalnych kierunków nasunięć lądolodu – stratygrafia (przy dobrym rozpoznaniu regionalnym)	
Żwirowa	wszystkie dostępne frakcje (każda z nich traktowana jako 100%)	różnorodny materiał skalny – wyniki przedstawione w formie diagramów	– analiza porównawcza	pełne
	4–12,5 mm lub 4–10 mm (Niemcy, Skandynawia)	okruchy skał skandynawskich: K– krystaliczne, S – piaskowce, TU – łupki paleozoiczne, F – krzemienie, KK – wapienie kredowe, PK – wapienie paleozoiczne, D – dolomity, L – lidyty, Q – kwarc, WQ – kwarc mleczny; prezentacja w formie wskaźników petrograficznych np.: F/K, S/K, Q/K, K/D, K/PK, PK+DS, PK+D/K	– litologiczne rozpoziomowanie glin zwałowych – wyznaczenie litotypów glin zwałowych i ich korelacja litostratygraficzna w skali lokalnej lub regionalnej – wyznaczenie kierunków transportu na podstawie stożków rozsypu	wskaźnikowe (wybrana frakcja)
	5–10 mm*)	okruchy skał skandynawskich: Kr_p – krystaliczne (w tym łupki krystaliczne), Q_p – kwarc, W_p – wapienie, D_p – dolomity, P_p – piaskowce, $Ł_p$ – łupki (z wyjątkiem krystalicznych); prezentacja w formie współczynników petrograficznych: O/K; K/W; A/B (O – suma skał osadowych [W_p+D_p+P_p+$Ł_p$], K – suma skał krystalicznych [Kr_p+Q_p], W – suma skał węglanowych [W_p+D_p], A – suma skał nieodpornych [W_p+D_p+$Ł_p$], B – suma skał odpornych [Kr_p+Q_p+P_p])		
		skały lokalne (mezozoiczne i trzeciorzędowe): W – wapienie i margle, P – piaskowce, M_1 – mułowce „starsze" (paleogen), M_2 – mułowce „młodsze" (neogen), Q – kwarc, Krz – krzemienie i czerty, R – rogowce, F – konkrecje fosforytowe, Pt – konkrecje pirytowe, C – węgiel brunatny (ew. makroszczątki organiczne)	– wyznaczenie lokalnych kierunków ruchu lądolodu, szczególnie w strefie czołowo-morenowej (np. loby lodowcowe) – określenie intensywności egzaracji – wydzielenie lokalnych litotypów glin zwałowych (w przypadku znacznego nagromadzenia materiału lokalnego)	

*) metoda zaproponowana przez geologów niemieckich i Krygowskiego (1956), stosowana powszechnie w badaniach litologiczno-petrograficznych wykonywanych dla SMGP.

graficznego żwirów (poz. 2 — fig. 20). Ze środka odcinka pobierane są próbki do wykonania analizy uziarnienia i minerałów ciężkich, a także próbka na oznaczenie zawartości węglanu wapnia.

Liczba okruchów będących przedmiotem analizy powinna wynosić około 1000 dla badań frakcji kamienistej (Meyer, 1983) oraz około 300 dla frakcji żwirowej (Krygowski, 1956, 1967; Kenig, 1998). W przypadku mniejszej liczby ziarn (szczególnie <100) należy obliczyć średnią ważoną z dwóch lub trzech sąsiadujących próbek.

W miąższych warstwach (>5 m) dopuszczalne jest wstępne wykonywanie omawianej analizy w interwałach 2 m (pomimo opróbowania co 1 m) i ewentualne zagęszczanie jej w miarę potrzeby (np. w przypadku uzyskania zbyt dużej rozbieżności między współczynnikami, co może sugerować dwudzielność petrograficzną badanej warstwy).

W cienkich warstwach glin zwałowych (<3 m) w celu uzyskania statystycznie jak największej liczby próbek (a stąd maksymalnej liczby poszczególnych współczynników/wskaźników będących przedmiotem uśredniania i porównań) zaleca się w miarę możliwości gęstsze opróbowanie, tj. pobranie próbek np. co 0,5 m. W przypadku braku odpowiedniej frekwencji żwirów (<100 szt.) należy łączyć wypłukane frakcje żwirowe z dwóch sąsiednich próbek.

Wyniki analizy są przedstawiane w formie ilościowej % zawartości poszczególnych grup skalnych oraz w formie tzw. współczynników (wskaźników) petrograficznych O/K, K/W, A/B (tab. 3 — frakcja 5–10 mm), stanowiących proporcje pomiędzy ilościowym udziałem różnych skał skandynawskich (Rzechowski, 1971, 1974).

Dodatkowo można również posługiwać się wskaźnikiem D_p/W_p dla pokazania proporcji w grupie W, wskaźnikiem P_p/K różnicującym wartości w grupie B itd. Dopuszczalny jest także bardziej szczegółowy podział polegający na wprowadzeniu nowych podgrup lub dzieleniu istniejących (np. w obrębie skał węglanowych wydzielanie mniejszych podgrup: W1— wapienie, W2 — margle itp.), jeżeli ma to odpowiednie uzasadnienie, np. stratygraficzne lub regionalne.

Wyniki analizy składu petrograficznego żwirów służą do litostratygraficznego rozpoziomowywania glin zwałowych (Rzechowski, 1971; Kenig, 1998; Lisicki, 1998).

5.1.3. Analiza minerałów ciężkich

Analiza składu mineralnego frakcji ciężkiej stanowi jedną z ważniejszych metod służących do charakterystyki litologicznej osadów czwartorzędowych. Najczęściej analizę tę wykonuje się dla frakcji 0,25–0,1 mm, uzyskanej z przeszlamowania osadów piaszczystych, mułkowo-piaszczystych i gliny zwałowej. Natomiast z osadów drobnofrakcyjnych analizę tę lepiej jest wykonać dla frakcji 0,1–0,05 mm. Bardzo ważne jest każdorazowe podawanie wielkości zbadanej frakcji, jak również porównywanie wyników analiz wykonanych tylko z jednakowych frakcji.

Frakcję ciężką wydziela się z 10 g naważki w bromoformie lub innej cieczy ciężkiej, waży z dokładnością do 1 mg, a następnie zatapia w balsamie kanadyjskim na szkiełku podstawowym i przykrywa szkiełkiem dodatkowym. W tak uzyskanym preparacie wydziela się minerały ciężkie lub ich grupy.

W metodzie standardowej zasadniczy podział obejmuje minerały nieprzezroczyste, węglany, szczątki fauny, glaukonit oraz grupę minerałów przezroczystych. Do minerałów nieprzezroczystych (rudnych) zalicza się tlenki i siarczki żelaza. Wśród węglanów głównymi minerałami są: kalcyt, dolomit oraz syderyt. Glaukonit występuje w osadach czwartorzędowych w wyniku redepozycji z osadów trzeciorzędowych lub kredowych. W grupie minerałów przezroczystych wyróżnia się minerały lub grupy minerałów ułożone w szeregu — od mniej odpornych do bardziej

odpornych. Są to: amfibole, pirokseny, biotyt, chloryt, epidot, granaty, turmalin, cyrkon, rutyl, tytanit, dysten, staurolit, andaluzyt, silimanit, apatyt, topaz oraz korund. Nie wydziela się natomiast muskowitu, którego zwiększona zawartość – zwłaszcza w drobniejszych frakcjach – zakłóca proporcje frekwencji minerałów. Minerały przezroczyste oznaczane dla populacji 200–300 sztuk, traktowane są jako 100%, a procentowy udział poszczególnych minerałów jest obliczany w stosunku do tej zawartości.

W zależności od rodzaju osadu można stosować zarówno inne wydzielenia minerałów, jak i inny sposób przeliczania wyników. Przykładowo, traktowanie wszystkich minerałów jako 100% daje w wyniku przeliczeń mniejszą liczbę ziarn przezroczystych w stosunku do przeliczeń uzyskanych metodą standardową, ale wyraźnie odzwierciedla zawartość grup mineralnych. Jednak taki sposób przeliczenia sprawia, że jego wynik nie może służyć do bezpośrednich porównań z metodą standardową; należy wówczas podawać w opracowaniach oba rodzaje przeliczeń.

W interpretacji wyników w aspekcie litofacjalnym i litodynamicznym, a w szczególności dla stwierdzenia obecności procesów wietrzeniowych lub glebowych, pomocne może być zastosowanie wskaźników mineralnych. Wartość wskaźnika wynika ze stosunku określonych minerałów (grup) o różnej odporności na niszczenie mechaniczne i chemiczne lub o różnych ekwiwalentach hydromechanicznych i aerodynamicznych. Zwykle przyjmuje się, że minerały bardzo odporne na niszczenie to: andaluzyt, topaz, rutyl, turmalin, cyrkon i korund, minerały odporne to: staurolit i dysten, minerały średnio odporne to: apatyt, granat, epidot (zoizyt) i silimanit, zaś minerały nieodporne to: glaukonit, biotyt, pirokseny i amfibole. Natomiast muskowit i chloryt są odporne na wietrzenie chemiczne, ale łatwo podlegają niszczeniu mechanicznemu. Dla charakterystyki osadów lessowych stosuje się tzw. współczynnik zwietrzenia (tj. cyrkon/granat+amfibol, czyli stosunek minerału odpornego na niszczenie do sumy minerałów: średnio odpornego i nieodpornego). Pozwala to wyróżnić profile glebowe w lessach i zwietrzałe partie tych osadów. W zależności od celu badań używa się również innych współczynników, określając np. stosunek minerałów odpornych do nieodpornych lub odpornych do średnio odpornych na niszczenie.

W przypadkach uzasadnionych celem badań prowadzi się specjalne szczegółowe badania minerałów ciężkich, co może ułatwić interpretację środowiska depozycji (facji) osadów, zwłaszcza drobnofrakcyjnych. Istotną rolę odgrywa często wzajemna zależność składu granulometrycznego osadu i procentowego udziału minerałów frakcji ciężkiej, np. osady mułkowe zawierają z reguły więcej amfiboli niż granatów, a piaszczyste – odwrotnie.

Osady czwartorzędowe w obszarach nizinnych charakteryzują się w miarę jednolitym zespołem minerałów ciężkich. Zróżnicowanie ilościowe w niektórych osadach wynika z dyferencjacji minerałów w środowiskach depozycyjnych o różnej dynamice. Jednocześnie znajduje odzwierciedlenie wpływ naturalnego zróżnicowania składu mineralnego zależnego od badanej frakcji.

W przypadku glin zwałowych analiza minerałów ciężkich może dostarczyć danych do ich charakterystyki facjalnej, określenia obszarów alimentacji oraz stopnia zwietrzenia. Mimo, że nie dają one podstaw dla rozstrzygnięć litostratygraficznych, to jednak można z nich uzyskać wskazówki dla korelacji przestrzennej poszczególnych poziomów glin zwałowych.

Wyniki tej analizy znajdują natomiast zastosowanie w rozdzielaniu osadów czwartorzędowych oraz osadów starszego podłoża, zwłaszcza w Polsce północno-wschodniej i wschodniej. W niektórych regionach Polski północno-zachodniej i zachodniej, gdzie w osadach podłoża znaczny udział mają amfibole, pirokseny, biotyt i granaty, rozdzielanie to nie jest w pełni jednoznaczne.

Analiza minerałów ciężkich spełnia swoją rolę dla jakościowej oceny procesów litodynamicznych zachodzących we współczesnych środowiskach sedymentacyjnych. Badania te mają duże znaczenie zwłaszcza dla piaszczystych, prądowych środowisk sedymentacji wodnej i eolicznej. W osadach rzecznych facji korytowej, gdzie ma miejsce ukierunkowana dynamika

prądu i związana z tym selektywna siła transportowa, na ogół zwiększa się udział minerałów ciężkich — głównie granatów, cyrkonu, rutylu, dystenu i staurolitu. Natomiast w facji pozakorytowej następuje depozycja minerałów o niższych ekwiwalentach hydraulicznych (amfiboli, piroksenów, chlorytu i konkrecji żelazistych).

5.1.4. Analiza składu mineralno-petrograficznego frakcji piaszczystej

Uzupełniającą analizą w badaniach mineralogicznych osadów czwartorzędowych jest analiza minerałów lekkich zawartych we frakcjach piaszczystych. Ze względu na obecność w nich oprócz ziarn mineralnych również rozpoznawalnych ziarn skalnych, poprawne jest używanie pełnej nazwy jak w tytule. Dodatkową zaletą analizy tej frakcji jest również możliwość wybierania z niej ziarn minerałów do innych szczegółowych badań (np. ziarn kwarcu do analizy obtoczenia). Przyspiesza to tok analizy i jednocześnie wzbogaca informacje o środowisku depozycji badanego osadu. Analiza ta nie była dotychczas stosowana w podstawowym standardzie analitycznym przewidzianym dla SMGP, ale wykonywano ją dla wielu innych opracowań (m.in. Kenig, 1997). Ze względu na swoje zalety powinna być wprowadzana, gdy inne analizy nie dają zadowalających wyników.

Analizę składu mineralno-petrograficznego wykonuje się dla frakcji 1,0–0,5 mm wypłukanej z próbki przewidzianej do analizy minerałów ciężkich. Prowadzi się ją pod lupą binokularną w świetle odbitym. W praktyce łatwiej rozpoznaje się ziarna na czarnym tle oraz wilgotne (w kropli wody lub gliceryny). Skały węglanowe można identyfikować za pomocą roztworu HCl, uwzględniając jednak możliwość występowania również niewęglanowych, ale łatwo rozpuszczalnych składników. Z analizowanej frakcji, wysypanej losowo lub w wyniku kwartowania na szkiełko mikroskopowe, wybiera się losowo 200–300 ziarn, wyróżniając: kwarc, skały krystaliczne i skalenie, wapienie skandynawskie, wapienie lokalne, agregaty wapnisto-ilaste, agregaty żelaziste i szczątki roślin. W zależności od rodzaju osadu można wyróżniać dodatkowe składniki, jeśli mają one znaczącą frekwencję. Wyniki przedstawia się w % ilościowych.

Omawianą analizę frakcji piaszczystej wykonuje się przede wszystkim dla osadów wodnolodowcowych, zaś podrzędnie — również dla osadów morenowych, zwłaszcza glin. Zmienny udział zespołów mineralnych może być pomocny dla określenia roli procesów hipergenicznych zachodzących w stropowych partiach poziomu gliny zwałowej. Można to ocenić na podstawie wyliczonego współczynnika zwietrzenia, uwzględniającego np. stosunek kwarcu do skaleni.

W wielu przypadkach wyniki tej analizy mogą służyć do określenia genezy i facji osadu, a w niektórych regionach Polski umożliwiają wyznaczenie granicy pomiędzy piaszczystymi osadami trzeciorzędowymi i plejstoceńskimi, jak również potwierdzają obecność materiału trzeciorzędowego w osadach plejstoceńskich. W przypadku osadów piaszczystych analiza może ułatwić odróżnienie serii rzecznych od eolicznych, stwierdzenie zmian pedogenetycznych w profilach lessowych i wyodrębnienie pokryw zwietrzelinowych.

5.1.5. Analiza obtoczenia ziarn kwarcu

W opracowaniach SMGP analiza ta od wielu lat jest wykonywana metodą projekcji fotograficznej (Morawski, 1955; Racinowski, Rzechowski, 1959). Polega ona na badaniu ziarn kwarcu wybranych pod lupą binokularną z wypłukanej z próbki frakcji 1,0–0,5 mm. Następnie ziarna te

w ilości 200–300 są fotografowane stykowo przy około 10-krotnym powiększeniu. Na uzyskanych fotogramach ziarna są klasyfikowane do trzech klas obtoczenia: obtoczone (O), kanciaste (K) i częściowo obtoczone (CO), a ilościowe wyniki procentowe służą do obliczenia współczynnika obtoczenia:

$$R = K+0,5CO/ O+0,5CO$$

Wyniki tej analizy stosowanej od wielu lat do interpretacji genetycznej lub genetyczno-facjalnej osadów czwartorzędowych skłaniają do krytycznej oceny wartości interpretacyjnej (Kenig *w*: Warsztaty, 1999).

Wartość matematyczna współczynnika obtoczenia R nie może jednoznacznie przesądzać o genezie osadu, ponieważ ma na nią wpływ wiele różnorodnych czynników. Najważniejsze to redepozycja materiału, wpływ stanowiącego obszar źródłowy podłoża, zarówno podczwartorzędowego, jak i plejstoceńskiego. Większe znaczenie w formowaniu ilościowego i jakościowego udziału ziarn kwarcu ma nie tyle ich obróbka w trakcie transportu aluwialnego, co selektywna depozycja w środowiskach prądowych o różnej dynamice.

Czwartorzędowe osady drobnofrakcyjne (np. mułki) zawierają najczęściej mniejszą liczbę ziarn obtoczonych niż ziarn kanciastych, natomiast w różnofrakcyjnych osadach piaszczystych może być obserwowana przewaga ziarn kanciastych lub ziarn obtoczonych. Wyjątkową ostrożność należy zachować w interpretacji wyników pochodzących z obszarów, gdzie w podłożu osadów plejstoceńskich występują piaszczyste osady trzeciorzędowe (wyraźne podobieństwa w wartościach współczynnika R). Genezę i facje środowiska depozycji osadów należy w tym przypadku oceniać na podstawie wyników różnych analiz, m.in. składu mineralno-petrograficznego frakcji 1,0–0,5 mm.

Oprócz omówionej wyżej metody stosowane są w Polsce także:

- metoda graniformametru spychaczowego (Krygowski, 1964) – polega ona na stwierdzeniu liczby ziarn staczających się po równi pochyłej, co zależy od kształtu ziarna i od rodzaju jego powierzchni; na tej podstawie wyliczane są: wskaźnik obróbki i wskaźnik niejednorodności materiału; parametry te służą do określenia dynamiki środowiska sedymentacji oraz źródła materiału;
- metoda morfoskopowa — opracowana przez A. Cailleux a następnie zmodyfikowana (Goździk *w*: Mycielska-Dowgiałło, Rutkowski, red., 1995) obejmuje obserwacje ziarn kwarcu, z uwzględnieniem kształtu ziarna i charakteru jego powierzchni;
- metoda badania w skaningowym mikroskopie elektronowym (SEM) — pozwala na obserwacje całej powierzchni ziarna kwarcu w dużych powiększeniach i z dużą głębią ostrości; dzięki temu można określić rodzaj transportu ziarna oraz stwierdzić obecność procesów postsedymentacyjnych (Goździk, Mycielska-Dowgiałło, 1988; Rywocka-Kenig, 1997).

5.1.6. Analiza zawartości węglanu wapnia

Analizę tę wykonuje się we frakcji <0,1 mm otrzymanej przez szlamowanie próbki wodą destylowaną na sicie 0,1 mm. Następnie oznacza się zawartość $CaCO_3$ metodą objętościową przy użyciu aparatu Scheiblera albo Orsata. W Centralnym Laboratorium Chemicznym Państwowego Instytutu Geologicznego stosuje się ostatnio oznaczanie węglanu wapnia metodą miareczkowania kulometrycznego na sprzęcie Coulomat 702C/F/LI firmy Ströhlein. Obie metody dają wyniki porównywalne. Wyniki analizy przedstawiane w procentach pozwalają na stwierdzenie śladów

procesów hipergenicznych, oddzielenie osadów podłoża od osadów plejstoceńskich oraz określenie genezy i facji osadu.

Wapnistość osadów można w sposób ciągły oznaczać, przy pomocy 10% roztworu kwasu solnego, w odsłonięciach lub w trakcie opisywania rdzenia — bezpośrednio po wyjęciu go z otworu wiertniczego. Stosuje się pięć kategorii oznaczeń: HCl+++, HCl++, HCl+, HCl(+) i HCl-. Są one wystarczająco precyzyjne dla SMGP i w uzasadnionych przypadkach z powodzeniem zastępują analizę laboratoryjną.

5.2. BADANIA PALEOFAUNISTYCZNE

5.2.1. Szczątki bezkręgowców

Szczątki niektórych zwierząt bezkręgowych **(**przede wszystkim **mięczaków, małżoraczków, wioślarek, owadów i otwornic)** oraz ślady ich działalności życiowej występują pospolicie w czwartorzędowych osadach lądowych, słodkowodnych i morskich (tab. 4). Zachowują się one w stanie kopalnym i są stosunkowo łatwe do wypreparowania i oznaczenia.

Najczęściej znajdowane są muszle małży i ślimaków, których niemal wszystkie kopalne gatunki plejstoceńskie wchodzą w skład fauny współczesnej. Zróżnicowanie zespołów kopalnej malakofauny może dostarczyć cennych wskazówek o charakterze zbiornika i warunkach sedy-

Tabela 4

Główne jednostki systematyczne bezkręgowców, których szczątki subfosylne występują w osadach czwartorzędowych na obszarze Polski

Jednostki systematyczne	Charakter szczątków w osadzie	Środowisko sedymentacyjne	Znaczenie interpretacyjne
Pierwotniaki *(Protozoa)*			
– otwornice *(Foraminifera)*	skorupki gł. węglanowe (0,4–100 mm)	morskie, lagunowe	– zmiany zasolenia, klimat (temperatura), biostratygrafia
– ameby skorupkowe *(Testacea)*	skorupki (0,5 mm)	jeziorne, bagienne, gleby	– zmiany hydrologiczne (trofia)
Mięczaki *(Mollusca)*	muszle	lessy, jeziorne, rzeczne, stokowe, morskie, jaskiniowe, trawertyny	– warunki środowiskowe, klimat, biostratygrafia
– małże *(Bivalvia)*			
– ślimaki *(Gastropoda)*			
Skorupiaki *(Arthropoda)*			
– wioślarki *(Cladocera)*	skorupki chitynowe	jeziorne, rzadziej morskie i słonawowodne	– trofia, batymetria, termika, pH
– małżoraczki *(Ostracoda)*	dwuklapowe skorupki węglanowe (0,5–2 mm)	morskie, jeziorne	– temperatura, batymetria, zasolenie, biostratygrafia
Owady *(Insecta)*			
– chrząszcze *(Coleoptera)*	pokrywy chitynowe	rzeczne, jeziorne, bagienne	– zmiany klimatyczne (termiczne)
– ochotkowate (*Chironomidae)*	chitynowe tarczki głowowe, aparaty gębowe, rurki mieszkalne larw	jeziorne (głównie)	– trofia, batymetria, klimat (temperatura)

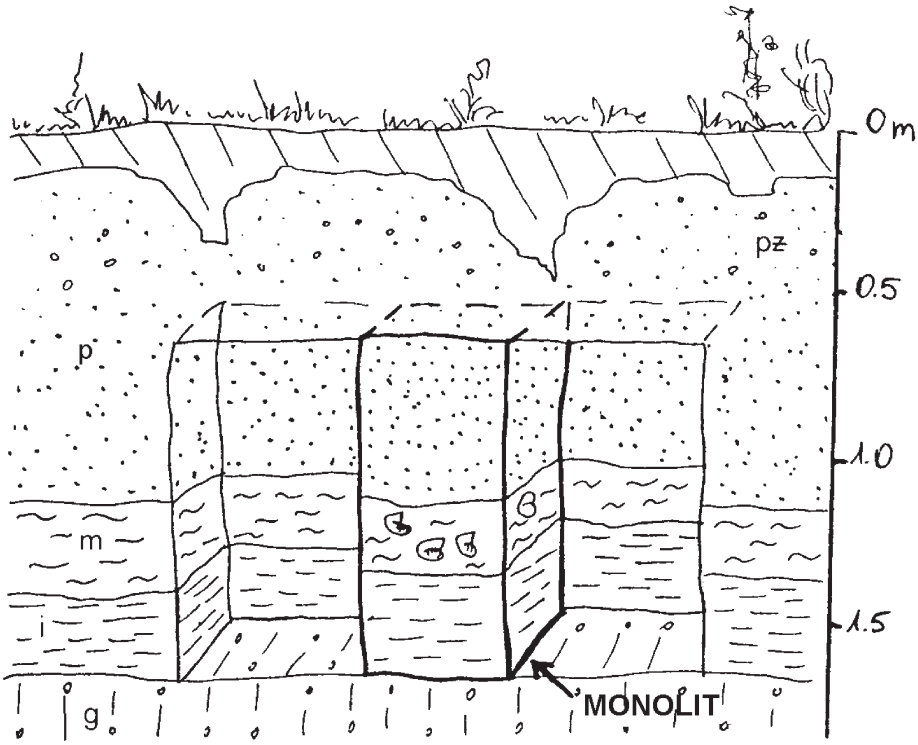


Fig. 21. Pobieranie monolitów

g — glina zwałowa, i — iły, m — mułki, p — piaski, pż — piaski i żwiry

mentacji danych osadów, a w konsekwencji — umożliwić zrekonstruowanie lokalnych warunków paleoekologicznych i paleoklimatycznych (Alexandrowicz, 1987; Skompski, 1991). Analiza malakologiczna obejmuje:

- pobranie próbek, przygotowanie fauny do oznaczenia;
- oznaczenie fauny, zliczenie osobników wyróżnionych gatunków (lista taksonów);
- pogrupowanie taksonów zgodnie z ich wymogami ekologicznymi i rozprzestrzenieniem geograficznym;
- dokonanie interpretacji warunków paleoekologicznych i paleoklimatycznych, z uwzględnieniem cech osadu — należy zwrócić uwagę na kontakty warstw zawierających szczątki fauny (rozmycia erozyjne, obecność gleb kopalnych itp.).

Szczątki bezkręgowców opróbowuje się z odsłonięć naturalnych (skarpy nad rzekami i potokami, ściany wąwozów i jarów oraz brzegi jezior), odkrywek sztucznych (żwirownie, piaskownie, glinianki oraz wyrobiska kredy jeziornej i gytii), wierceń badawczych i sond mechanicznych. Szczątki fauny przeznaczone do oznaczania pobiera się razem z fragmentami pokruszonymi.

W trakcie wierceń należy stosować rdzeniówkę podwójną przy niskim ciśnieniu płuczki, co zapobiega rozmywaniu rdzenia.

Próbki pobiera się metodą punktową lub w sposób ciągły. W przypadku stosowania metody punktowej każda próbka powinna reprezentować warstwę o stosunkowo małej miąższości (w celu uniknięcia mieszania zespołów fauny). Gęstość opróbowania zależy od tempa akumulacji osadu (dla osadów mineralnych co 10–20 cm, dla osadów organogenicznych, węglanowych i gleb kopalnych co 5 cm), natomiast objętość próbek – od stopnia nagromadzenia szczątków fauny (próbki duże 4–8 kg i próbki małe 2–4 kg; przy obserwacjach rekonesansowych warto pobierać próbki o ciężarze około 1 kg, tj. o wymiarach 10x10x10 cm). Dla opisów warstw i pobierania próbek należy stosować kolejność stratygraficzną, gdyż w takim porządku będzie prowadzone dalsze zestawianie materiałów i ich interpretacja.

Opróbowanie w sposób ciągły polega na wycinaniu kolejnych cienkich odcinków profilu (monolitów) od spągu do stropu odkrywki (fig. 21). Metoda ta stosowana jest najczęściej dla opracowań kompleksowych lub celów ekspozycyjnych. Uzyskanie pełnego rdzenia z zachowanym kontaktem warstw umożliwia sonda *GEOPROBE*. Materiał zaczerpnięty taką sondą (rdzeń znajduje się w plastikowej „tubie") jest ponadto znacznie łatwiejszy podczas transportu i magazynowania niż drewniane skrzynie.

Próbki osadu ze szczątkami fauny pobiera się do torebek (najlepiej papierowych). Na oddzielnej kartce należy zapisać ołówkiem: miejscowość, numer otworu/odsłonięcia, głębokość i datę pobrania próbki. Tak przygotowaną metryczkę, złożoną napisem do wewnątrz, umieszcza się w torebce z osadem.

5.2.2. Kości kręgowców

Zmiany klimatu jakie zachodziły w plejstocenie powodowały zmiany roślinności, a w konsekwencji również składu fauny kręgowców w danym rejonie. Zasadnicze znaczenie w biostratygrafii czwartorzędu ma tempo przekształceń ewolucyjnych, które jest różne dla różnych gatunków występujących w tym samym czasie. Wśród ssaków najszybszą ewolucją w czwartorzędzie charakteryzują się **gryzonie** (ściśle związane z określonym typem pożywienia), a ich istotne znaczenie stratygraficzne powiększa fakt szerokiego rozprzestrzenienia geograficznego, dając duże możliwości korelacji osadów (profili).

Ryby, płazy, gady i ptaki prawie nie podlegały zmianom ewolucyjnym, ich odpowiednikami są gatunki żyjące współcześnie. Znaleziska takich szczątków nie mają większego znaczenia stratygraficznego, natomiast mogą być przydatne dla interpretacji warunków środowiskowych. Wśród **ssaków**, które były zwierzętami bardziej progresywnymi, można prześledzić zmiany ewolucyjne prowadzące do powstania nowych gatunków. Do takich gatunków dużych ssaków należą m.in. słoniowate, jeleniowate, niedźwiedzie i hieny.

Możliwość wykorzystania kręgowców w stratygrafii czwartorzędu oraz rekonstrukcji środowiska związana jest także ze sposobem gromadzenia się ich szczątków w stanie kopalnym. Szczątki drobnych ssaków (gryzonie) można znaleźć głównie w jaskiniach — w wypluwkach sów (zachowują się części czaszek i żuchwy) oraz u stóp ścian skarp i wąwozów rozmywanych przez wody deszczowe. Szczątki dużych ssaków występują najczęściej w pojedynczych egzemplarzach w osadach jeziornych i rzecznych (są to zwykle pojedyncze elementy szkieletu na wtórnym złożu) lub w lessach (często całe okazy). Na większe skupiska kości dużych ssaków można natrafić w jaskiniach (współwystępowanie ze szczątkami człowieka paleolitycznego) i w szcze-

linach krasowych, a także podczas eksploatacji w kopalniach odkrywkowych, żwirowniach, cegielniach i w trakcie robót budowlanych.

W przypadku znalezienia szczątków kostnych, oprócz standardowej dokumentacji stosowanej w badaniach geologiczno-zdjęciowych, należy:

- zanotować miejsce znalezienia i położenie w profilu (zdjęcie fotograficzne i szkic);
- szczątki drobnych zwierząt przepłukać pod bieżącą wodą, na sicie około 2 mm; wybrane z próbki zęby i kości osuszyć na słońcu, schować do probówki lub pudełka i załączyć odpowiednią metryczkę (napisaną ołówkiem) z miejscem znaleziska, datą i głębokością;
- większe kości wydobywać z profilu przy użyciu młotka, kilofa i łopatki, unikając zbyt starannego oczyszczania z osadu (można je uszkodzić);
- wybrane z profilu lub luźno znalezione kości przesuszyć (nie na słońcu ani na ogniu!), owinąć ligniną, papierem, zaopatrzyć w etykietkę i przetransportować — najlepiej w pudle lub skrzyni wysłanej np. trocinami;
- kości kruche i rozsypujące się, przed wyjęciem z osadu utrwalić klejem (wikolem lub stolarskim); po utrwaleniu wystającej części kości — stopniowo odsłaniać, osuszać i utrwalać klejem jej pozostałą część, tkwiącą uprzednio w osadzie;
- szkielety dużych zwierząt wydobywać w postaci monolitu; o takich znaleziskach niezwłocznie zawiadomić odpowiednie placówki paleontologiczne (Warszawa: Zakład Paleozoologii PAN, Muzeum Ziemi PAN, Al. Na Skarpie 20/26; Kraków: Zakład Sozologii Systematycznej PAN, ul. Sławkowska 17; Wrocław: Zakład Paleozoologii Uniwersytetu Wrocławskiego, ul. Sienkiewicza 21; katedry archeologii w uniwersytetach i muzea archeologiczne).

5.3. BADANIA PALEOBOTANICZNE

W badaniach paleobotanicznych osadów czwartorzędowych i trzeciorzędowych powszechnie stosuje się **analizę pyłkową** (palinologiczną). Jest to metoda jakościowego i ilościowego badania składu pyłku i zarodników zachowanych w różnego rodzaju osadach (Faegri, Iversen, 1978; Moore i in., 1991). Wykorzystanie analizy pyłkowej jako metody badawczej pozwala na odtworzenie historii roślinności, zmian klimatycznych i określenie wieku względnego badanych osadów, dostarcza informacji o charakterze zbiornika i warunkach sedymentacji oraz służy do rekonstrukcji lokalnych warunków paleoekologicznych (tab. 5). Uzyskane wyniki, przedstawiane w formie diagramów, pozwalają na stwierdzenie charakterystycznych zespołów pyłkowych (sukcesji) typowych dla okresów interglacjalnych, co jest przydatne do ustalania stratygrafii osadów czwartorzędowych.

Do analizy pyłkowej osadów czwartorzędowych wykorzystuje się osady jeziorne (gytie, iły, mułki, ziemia okrzemkowa, kreda jeziorna i dy) oraz torfy. W przypadku braku takich osadów można wykonać analizę pyłkową osadów rzecznych i deltowych (piaski mułkowate, mułki piaszczyste i mułki) oraz gleb kopalnych, jednak interpretacja wyników jest wówczas bardzo utrudniona, przede wszystkim ze względu na znaczną domieszkę materiału na wtórnym złożu. W analizie pyłkowej osadów trzeciorzędowych badane są iły, mułki, mułki piaszczyste, piaski i węgiel brunatny.

Badania palinologiczne osadów czwartorzędowych obejmują również **analizę diatomologiczną** (okrzemek). Okrzemki należą do gromady złocienic (Baccillariophyceae), obejmującej organizmy jednokomórkowe bez wici. W osadach czwartorzędowych okrzemki występują

Tabela 5

Główne metody paleobotaniczne

Metoda	Typ osadu	Gęstość opróbowania	Znaczenie interpretacyjne
Analiza pyłkowa – **czwartorzęd** – **trzeciorzęd**	gytie, torfy, kreda jeziorna, ziemia okrzemkowa, iły, mułki węgiel, iły, mułki, piaski	osady **holoceńskie**: – nie rzadziej niż co 5cm, osady **plejstoceńskie**: – nie rzadziej niż co 10 cm – nie rzadziej niż co 25 cm	– odtworzenie zmian roślinności, klimatu i paleośrodowiska, – palinostratygrafia
Analiza diatomologiczna	gytie, torfy, ziemia okrzemkowa, iły i mułki jeziorne	torf 5–10 cm, piaski 50 cm, pozostałe osady 10–20 cm	– odtworzenie warunków paleoekologicznych zbiornika (batymetria, zasolenie, rodzaj zbiornika), zmiany klimatu
Analiza fitoplanktonowa	iły, mułki i piaski morskie	w zależności od typu osadu i potrzeb badawczych	– rekonstrukcja warunków paleośrodowiska: zasolenie, temperatura, głębokość, odległość od brzegu, zmiany poziomu morza
Analiza makroszczątków	gytie, torfy, piaski	w zależności od częstotliwości pobierania próbek do analizy pyłkowej	– określenie zmian roślinności lokalnej, odtworzenie paleoekologii jeziora/torfowiska

w zbiornikach słodkowodnych — reprezentują one bentos osiadły i ruchomy oraz plankton (Siemińska, 1964). Mają znaczenie zarówno dla biostratygrafii osadów, jak i odtwarzania warunków paleoekologicznych zbiorników wodnych (batymetria, stopień zasolenia, charakter zbiornika) oraz warunków paleoklimatycznych. Osadem szczególnie przydatnym do badań diatomologicznych jest diatomit (ziemia okrzemkowa).

W badaniach palinologicznych osadów trzeciorzędowych stosuje się także **analizę fitoplanktonu**, na obszarze Polski ograniczoną zazwyczaj do iłów, mułków i piasków morskich paleogenu (Grabowska, 1996). Badania fitoplanktonowe koncentrują się na analizie glonów jednokomórkowych należących do bruzdnic (*Dinoflagellata*) i zielenic (*Chlorophyta*), zielenicach kolonijnych i polifiletycznej grupy *Acritarcha* (Powell, red., 1992). Szczególnie przydatne do celów biostratygraficznych są *Dinoflagellata*, których długowieczne gatunki — łącznie z niektórymi przedstawicielami zielenic i akritarcha — są wskaźnikami paleośrodowiska (zasolenia, temperatury, głębokości zbiorników, odległości od brzegu i zmian poziomu morza).

Analiza makroszczątków (szczątków makroskopowych) polega na oznaczaniu różnych organów roślin (najczęściej nasion, owoców, liści i drewien, rzadziej pączków, kolców i fragmentów kwiatów) występujących w osadach — głównie w torfach, gytiach i kredzie jeziornej. Makroszczątki są szczególnie przydatne do badań zmian składu szaty roślinnej, gdyż często oznaczyć je można z dokładnością do gatunku. Umożliwia to odtworzenie zmian roślinności lokalnej, wyrażone zarastaniem jezior lub przekształcaniem torfowisk, ale nie może być podstawą do wyróżniania jednostek stratygraficznych (por. Wasylikowa, *w*: Rühle, red., 1973).

Pobieranie próbek do analiz palinologicznych i makroszczątków wymaga specjalnej staranności. Należy bezwzględnie unikać zanieczyszczenia materiału, tzn. do żadnej próbki nie powinien dostać się zarówno materiał z innego poziomu, jak i pyłek roślin kwitnących (nie opróbowuje się w porze kwitnienia roślin wiatropylnych). Narzędzia do pobierania próbek należy starannie oczyszczać po zakończeniu pobierania każdej próbki. Próbki mogą być pobierane z odsłonięć naturalnych i sztucznych oraz z rdzeni wiertniczych i sond. Dokumentacja stanowiska winna zawierać wszystkie te elementy, które są stosowane standardowo w pracach geologiczno-zdjęciowych.

Próbki pobiera się metodą punktową lub w sposób ciągły. W metodzie punktowej wielkość próbki i gęstość opróbowania zależą od celu badań; należy jednak pobierać próbki maksymalnie gęsto, aby można było następnie opracować odpowiednią do charakteru badań liczbę próbek. Próbki do analizy pyłkowej osadów plejstoceńskich pobiera się z każdej warstwy; w przypadku warstw o dużej miąższości w odstępach nie większych niż 10 cm, natomiast jeżeli tempo akumulacji osadów jest małe należy pobierać próbki co 5 cm, a nawet gęściej. Próbki osadów holoceńskich powinny być pobierane nie rzadziej niż co 5 cm. Pobieranie próbek do analizy makroszczątków powinno odbywać się według zasady, że jednej a co najwyżej dwóm próbkom do analizy pyłkowej odpowiada jedna próbka do badań makroskopowych. Gęstość pobierania próbek z osadów trzeciorzędowych zależy od typu osadu i potrzeb badawczych. Dla osadów organicznych i mineralnych (iły i mułki) próbki powinny być pobierane z każdej warstwy, nie rzadziej niż co 25 cm (ewentualnie co 20 cm lub jeszcze gęściej), natomiast dla osadów piaszczystych — w zależności od występowania substancji organicznej.

W opróbowaniu ciągłym kolejne odcinki osadu wycina się od spągu do stropu odkrywki, ale do badań makroszczątków wygodniej jest pobierać próbki w kolejności odwrotnej.

Najczęściej stosowanym sposobem przechowywania próbek jest umieszczanie ich w torebkach z papieru pergaminowego lub w małych, plastikowych pojemniczkach. Torebki lub pojemniczki powinny być opisane ołówkiem i zawierać nazwę stanowiska, głębokość i numer próbki.

5.4. DATOWANIE OSADÓW

Celem datowania osadów jest ich korelacja wiekowa, prowadząca do opracowania stratygrafii niezbędnej dla ustalenia porządku legendy do mapy geologicznej. Jednak powszechnie używane sformułowanie „oznaczanie wieku bezwzględnego" jest niepoprawne, ponieważ datowanie osadów czwartorzędu opiera się na metodach geochronologicznych (tab. 6), które nie służą do bezpośredniego pomiaru czasu, lecz do określenia zmian składu chemicznego lub/i mineralnego, warstwowania, stosunków izotopowych, defektów sieci krystalicznej itp. Natomiast czas jest obliczany według wzorów odzwierciedlających zmiany zachodzące w przeszłości (Burchart, 1971). Stosowane są dwie podstawowe grupy metod geochronologicznych (Lindner, red., 1992):

- fizykochemiczne — umożliwiające obliczenie upływu czasu, czyli wieku skał (tzw. wiek bezwzględny);
- sedymentacyjne — umożliwiające uporządkowanie w czasie (tzw. wiek względny).

Metody fizykochemiczne są oparte na rejestracji zmian będących funkcją czasu a zachodzących w skałach, minerałach i skamieniałościach przewodnich. Należy do nich: zanik pierwiastka promieniotwórczego (metody radiowęgla, izotopu ołowiu ^{210}Pb, cezu ^{137}Cs i chloru ^{36}Cl), akumulacja nuklidów radiogenicznych (metody uranowe oraz potasowo-argonowa), zapis oddziaływania promieniowania na minerały (metody termoluminescencji, elektronowego rezonansu

Tabela 6

Główne metody datowania osadów czwartorzędu

Grupy metod	Metody	Zasięg czasowy w latach	Datowany materiał (wielkość próbek)	Dodatkowe znaczenie interpretacyjne
Metody sedymentacyjne	dendrochronologia	0–10 000	grubość pierścieni przyrostowych w przekroju poprzecznym pni dębów i sosen, skład izotopów stabilnych C i H	– opady, temperatura
	warwochronologia	0–18 000	warstwowane osady jeziorne	– warunki w środowisku sedymentacyjnym
	paleobotaniczne		mikro- i makroszczątki roślin	– stratygrafia, klimat, warunki siedliskowe
	tefrochronologia	cały Q	popioły wulkaniczne	– kierunki wiatrów
	lichenometria	kilkaset	średnica plech porostów	
	archeologiczne	0–1 mln	narzędzia, ceramika i inne szczątki kulturowe	– warunki środowiskowe, klimat, stratygrafia
	paleomagnetyczna	cały Q	składniki ferromagnetyczne osadu	
	paleotemperatur ($^{18}O/^{16}O$)	cały Q	węglany morskie, jeziorne i jaskiniowe, martwice wapienne	– temperatura, zasolenie
Metody fizykochemiczne	radiowęgla (^{14}C)	0–40 000 (75 000)	materiał zawierający C, np. drewno (40 g), węgiel drzewny (20 g), torf (50–100 g), kości (0,25 kg), osady jeziorne (0,5–1 kg)	
	^{210}Pb	150	osady jeziorne	
	^{137}Cs	200	osady jeziorne	
	uranowe $^{230}Th/^{234}U$ $^{231}Pa/^{235}U$ $^{234}U/^{238}U$	 0–350 000 0–150 0–1 mln	 nacieki jaskiniowe, trawertyny skorupki mięczaków węglany morskie i jeziorne	
	potasowo-argonowa (K/Ar)	>100 000	skały wulkaniczne, glaukonit	
	termoluminescencji (TL)	0–100 000 (1 mln)	lessy, piaski różnej genezy: przede wszystkim wydmowe, również jeziorne, morskie i rzeczne (1–3 kg)	
	elektronowego rezonansu paramagnetycznego (ESR)	1000–200 000	apatyt, kalcyt (nacieki jaskiniowe), cyrkon, dolomit, halit, kości, muszle (0,5–1 kg)	
	trakowa (FT)	cały Q	apatyt, cyrkon, tytanit, szkliwa i popioły wulkaniczne	
	racemizacji aminokwasów (AAR)	cały Q	skorupki węglanowe (mięczaków), kości	
	fluoro-chloro-apatytowa	0–300 000	sfosylizowane kości	
	^{36}Cl	1 mln	skały lite, głazy narzutowe (0,5 kg)	– paleogeografia

paramagnetycznego, trakowa) i zmiany chemizmu (metody fluoro-chloro-apatytowa, racemizacji aminokwasów).

Metody sedymentacyjne zakładają powtarzalne tempo depozycji w czasie. Najbardziej znaną z nich jest warwochronologia, ale na zbliżonych zasadach funkcjonują również metody: paleomagnetyczna i paleotemperatur oraz tefrochronologia. Datowanie osadu można przeprowadzić na podstawie rekonstrukcji historii roślinności w oparciu o szczątki organiczne w osadach (metody paleobotaniczne), artefakty (metody archeologiczne), regularnego lub cyklicznego przyrostu tkanki roślinnej — pierścieni przyrostowych (czyli słoi) w przekrojach poprzecznych pni żywych oraz martwych i kopalnych drzew (dendrochronologia), a także rozmiarów plech porostów (lichenometria). Najdokładniejszymi metodami geochronologicznymi są: dendrochronologia (por. Krąpiec, red., 1998) i warwochronologia, ponieważ umożliwiają datowanie w latach kalendarzowych.

Inwentarz metod datowania osadów stosowanych w trakcie opracowania SMGP jest zwykle bardzo ograniczony (analiza pyłkowa, ^{14}C, TL). Jednak nic nie stoi na przeszkodzie, aby w uzasadnionych przypadkach korzystać ze znacznie bogatszych możliwości innych metod geochronologicznych, które mogą być stosowane dla osadów czwartorzędu (por. Lindner, red., 1992).

Rzetelna interpretacja uzyskanych wyników datowań musi uwzględniać liczne przyjęte założenia teoretyczne oraz istniejące czynniki uboczne. Bardzo często konstrukcja korelacji wiekowych i związanej z nimi stratygrafii osadów jest oparta o pojedyncze daty lub — jeśli o kilka dat, to z różnych i słabo ze sobą skorelowanych profili osadów. Brak zrozumienia istoty danej metody geochronologicznej oraz jej ograniczeń może prowadzić albo do bezkrytycznej akceptacji otrzymanych dat, albo do negacji metody w przypadku otrzymania wyników niezgodnych z obserwacjami geologicznymi. Biorąc pod uwagę wielość komplikacji podczas i po depozycji osadu, za typowe należy uznać właśnie pozorne niezgodności w wynikach datowań oraz ich niejednoznaczność. Dodatkowe zamieszanie powoduje również wprowadzanie korekt instrumentalnych lub metodycznych w danej metodzie geochronologicznej w miarę jej rozwoju; np. dokładniejsze określenie czasu połowicznego rozpadu izotopu ^{14}C spowodowało konieczność przeliczenia wyników wcześniejszych datowań uzyskanych metodą radiowęgla.

Podstawową rolę w ocenie istotności uzyskanej daty odgrywa jednoznaczne określenie momentu datowanego, tj. punktu zerowego „zegara geologicznego". Zaczyna on zwykle „odliczać" w momencie depozycji materiału, którego skład może jednak podlegać późniejszym zmianom, np. w wyniku infiltracji wód gruntowych, działalności organizmów, jak również częściowej lub całkowitej redepozycji. W ocenie wieku osadu należy również uwzględniać nagminnie występujące, już w momencie początku odliczania, zróżnicowanie zawartości składników służących do datowania osadu. Z uwagi na fakt, że bezkrytyczne wykorzystywanie otrzymanych dat może prowadzić do wielu błędów i nieporozumień, należy w miarę możliwości weryfikować daty stosując różne metody geochronologiczne lub/i różny rodzaj datowanego materiału z tej samej warstwy osadów. Różna czułość poszczególnych metod geochronologicznych może jednak powodować poważne komplikacje interpretacyjne.

W wielu metodach geochronologicznych obok wieku rzeczywistego (odpowiadającego faktycznemu momentowi depozycji), stosuje się również pojęcie wieku pozornego. Jest to wypadkowa niejednorodności środowiska sedymentacji, zróżnicowanych źródeł dopływu materiału datowanego i przemian postsedymentacyjnych, co powoduje odchylenie otrzymanego wyniku od wieku rzeczywistego. Sporządzane niekiedy w ten sposób wykresy statystyczne z rozkładem częstości otrzymanych dat dla jakiegoś obszaru mogą wobec tego — i na przekór intencjom autorów — nie mieć większego znaczenia. Jest wielce prawdopodobne, że stanowią one jedynie kon-

glomerat dat rzeczywistych oraz dat zawierających wiek pozorny, a tym samym nie mogą stanowić podstawy do datowania wydarzeń geologicznych.

Głównym i często powielanym błędem jest utożsamianie dat uzyskanych metodami fizykochemicznymi z latami kalendarzowymi (astronomicznymi). Tymczasem te ostatnie można ewentualnie uzyskać jedynie przy wykorzystaniu metod sedymentacyjnych (przede wszystkim dendrochronologii i warwochronologii), które są wykorzystywane do kalibracji kalendarza geochronologicznego, zwykle dla ostatnich kilkunastu tysięcy lat, umożliwiając przeliczenie uzyskanych dat na daty astronomiczne. Dlatego cytując daty należy zawsze określać metodę ich uzyskania (np. wiek albo chronologia radiowęglowa lub warwowa, data radiowęglowa lub termoluminescencyjna itp.). Z kolei daty uzyskane metodami sedymentacyjnymi tworzą często tzw. chronologię pływającą, z przerwami w sedymentacji oraz po jej zakończeniu.

Podawany błąd datowania (zwykle ze znakiem ±) wynika wyłącznie ze statystyki zliczeń (a więc z błędu laboratoryjnego), natomiast nie uwzględnia żadnych czynników geologicznych, które w różnym (niekiedy znacznym) stopniu wpływają na wartość otrzymanej daty.

Metody datowania osadów czwartorzędu dostarczają zwykle również informacji paleoklimatycznych i paleośrodowiskowych (tab. 6). Przykładowo, zawartość izotopu ^{13}C w celulozie pierścieni przyrostowych drzew wykazuje korelacje z opadami i temperaturą miesięcy letnich (por. Krąpiec, red., 1998).

6. PRACE ZESTAWCZE

6.1. MAPA GEOLOGICZNA

Po zakończeniu prac geologiczno-zdjęciowych geolog wykonujący dany arkusz SMGP przystępuje do kameralnych prac zestawczych, a w tym — do końcowego opracowania mapy geologicznej. W wyniku prac zdjęciowych powstaje obraz kartograficzny terenu z granicami litologicznymi w wersji ostatecznej. Do rozwiązania w ramach kameralnych prac zestawczych pozostają jedynie niektóre zagadnienia genetyczne i stratygraficzne o zasięgu regionalnym oraz te, których rozwiązanie może zależeć od wyników badań laboratoryjnych. W celu uzyskania kompletu danych pozwalających na opracowanie końcowej wersji mapy geologicznej należy zakończyć wszelkie zestawienia robocze oraz analizowanie całości materiałów (zaktualizowane zestawienie archiwalnych wierceń i dokumentacji geologicznych, przekroje robocze, analiza wyników badań laboratoryjnych, regionalna analiza budowy geologicznej), jak również sporządzić szkice i inne załączniki graficzne wymagane Instrukcją (1996).

Na przekroje robocze należy precyzyjnie nanieść granice geologiczne z mapy terenowej i dokonać pełnej interpretacji geologicznej. Szczegółowa analiza ułożenia na przekrojach poszczególnych warstw osadów występujących na powierzchni terenu pozwala na ostateczną kontrolę prawidłowej kolejności stratygraficznej wydzieleń na mapie. Wraz z interpretacją przekrojów roboczych i konstruowaniem przekroju (lub przekrojów) do mapy (oraz ewentualnie dodatkowych do tekstu), niezbędne jest opracowanie **objaśnień barw i symboli** (legendy). Może wówczas ujawnić się konieczność dokonania uzupełnień na mapie geologicznej dotyczących np. numeracji tarasów czy wydzieleń łączonych (co leży na czym). Jednak w żadnym przypadku nie mogą ulec zmianie granice litologiczne.

Szczególne znaczenie na tym etapie prac ma opracowanie **szkicu geomorfologicznego** arkusza. Szkic ten wykonuje się na podstawie mapy geologicznej w skali 1:25 000, a następnie zmniejsza do skali 1:50 000 lub mapę geologiczną zmniejsza się do skali 1:50 000 i szkic wykonuje w tej skali. Opracowanie szkicu geomorfologicznego wymaga ostatecznych decyzji co do genezy wszystkich form ukształtowania terenu i innych wydzieleń przewidzianych Instrukcją (1996), które stwierdzono na obszarze objętym arkuszem i które zostaną wyróżnione na szkicu. Zatem w trakcie wykonywania szkicu następują ostateczne ustalenia wszystkich wydzieleń litogenetycznych na mapie geologicznej. Uzupełnienia na mapie geologicznej mogą dotyczyć jednak wyłączne genezy niektórych form akumulacyjnych (np. moreny lub formy szczelinowe) oraz innych wydzieleń (np. wydmy lub pokrywy eoliczne, poziomy sandrowe i tarasowe itp.).

Ostateczne przygotowanie mapy geologicznej do cyfrowania (druku) wymaga zwykle **generalizacji** niektórych wydzieleń do skali 1:50 000. Z reguły pomija się pola o średnicy poniżej 5 mm w skali 1:25 000 lub pola podłużne o szerokości poniżej 3 mm (Instrukcja, 1996), jednak jeśli wydzielenie ma istotne znaczenie paleogeograficzne lub stratygraficzne, pola powinny zostać odpowiednio powiększone. Powiększać należy również istotne stratygraficznie wychodnie osadów starszych (np. odsłaniające się wąskimi listwami w zboczach lub skarpach). Jeśli obok siebie występują dwa lub trzy bardzo małe pola tego samego wydzielenia, można je połączyć w jedno większe. Generalizacja może również dotyczyć skomplikowanego przebiegu granic geologicznych, np. dendrytycznej sieci drenażu. W każdym przypadku generalizacja musi być przemyślana i nie powinna zubażać merytorycznej treści mapy geologicznej (por. fig. 12).

Ważną czynnością w ramach końcowego opracowania mapy jest **uzgodnienie styków** z arkuszami sąsiednimi. Obowiązuje idealna zgodność granic geologicznych i wydzieleń litologicznych. W przypadku sąsiedztwa z arkuszem już wydrukowanym należy „dopasować się" do niego na możliwie wąskim odcinku stykowym mapy, przejmując ewentualnie przechodzące nowe wydzielenia do swojej legendy. W wyjątkowych przypadkach dopuszczalne są niezgodności stratygraficzne lub genetyczne wynikające z odmiennej, a w pełni uzasadnionej merytorycznie interpretacji autorskiej. Niezgodności takie wymagają skomentowania w tekście objaśniającym do danego arkusza.

6.2. PRZEKROJE GEOLOGICZNE

Konstruowanie przekrojów geologicznych jest jedną z podstawowych umiejętności zdobywanych na studiach geologicznych. Z tego powodu w niniejszym podrozdziale zostaną omówione jedynie niektóre aspekty związane z wykonywaniem przekrojów geologicznych, zarówno roboczych jak i tych, które są dołączane do arkusza i tekstu objaśniającego.

Zdecydowanie niewystarczająca, a niejednokrotnie nieprawidłowa jest konstrukcja przekroju geologicznego wyłącznie na podstawie podobnego położenia hipsometrycznego warstw o zbliżonej litologii. Należy również uwzględniać zróżnicowanie współczesnej i kopalnej rzeźby terenu oraz możliwość występowania deformacji glacitektonicznych i tektonicznych.

Interpretacja deformacji glacitektonicznych na podstawie profili wiertniczych przysparza wielokrotnie wiele problemów, ale jednocześnie lekceważenie możliwości ich występowania może prowadzić do przedstawienia błędnego obrazu budowy geologicznej oraz stratygrafii (fig. 22). Należy jednak z całą mocą podkreślić, że interpretacja struktur glacitektonicznych wyłącznie na podstawie profili wiertniczych jest niewystarczająca. Nawet w przypadku występo-

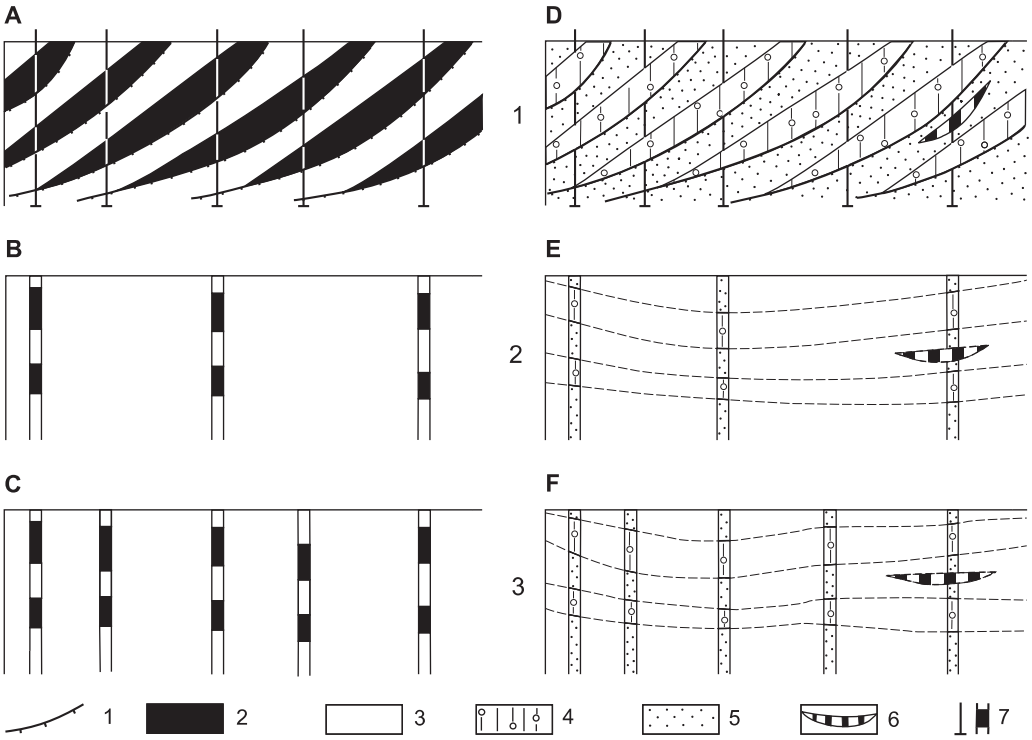


Fig. 22. Glacitektoniczne struktury łuskowe i trudności w ich interpretacji na podstawie różnej liczby profili wiertniczych
wg Rotnickiego (mat. niepublikowane), nieco zmienione

A–C — naprzemianległe występowanie osadów trzeciorzędowych i czwartorzędowych, **D–F** — naprzemianległe występowanie osadów czwartorzędowych o różnej litologii; *1* — powierzchnie ścięciowe, *2* — osady trzeciorzędowe, *3* — osady czwartorzędowe, *4* — gliny zwałowe, *5* — piaski i żwiry czwartorzędowe, *6* — torfy, *7* — otwory wiertnicze.

wania naprzemianlegle zdeformowanych osadów trzeciorzędowych i czwartorzędowych, przedstawienie prawidłowego modelu budowy geologicznej jest przedsięwzięciem niezwykle trudnym (fig. 23) i wymaga konsultacji z koordynatorem regionalnym SMGP.

Interpretacja uskoków na przekrojach geologicznych przez osady czwartorzędowe zawsze przysparza znacznych trudności, szczególnie dla obszarów nizinnych. Wynika to z miąższej pokrywy czwartorzędowej w tych obszarach, podścielenia przez porównywalnie gruby kompleks osadów trzeciorzędowych o podobnej konsystencji oraz stosunkowo słabego rozpoznania struktur tektonicznych występujących w głębiej położonych, skonsolidowanych skałach mezozoicznych i starszych.

Dyslokacje nieciągłe, zwykle małoskalowe, obserwuje się dość często w odsłonięciach (m.in. osadów lodowcowych) i powszechnie wiąże z procesami postsedymentacyjnymi — głównie różnego rodzaju ruchami masowymi (np. osuwiskami). Także w strefach występowania deformacji glacitektonicznych stwierdza się obecność różnoskalowych struktur nieciągłych, przede wszyst-

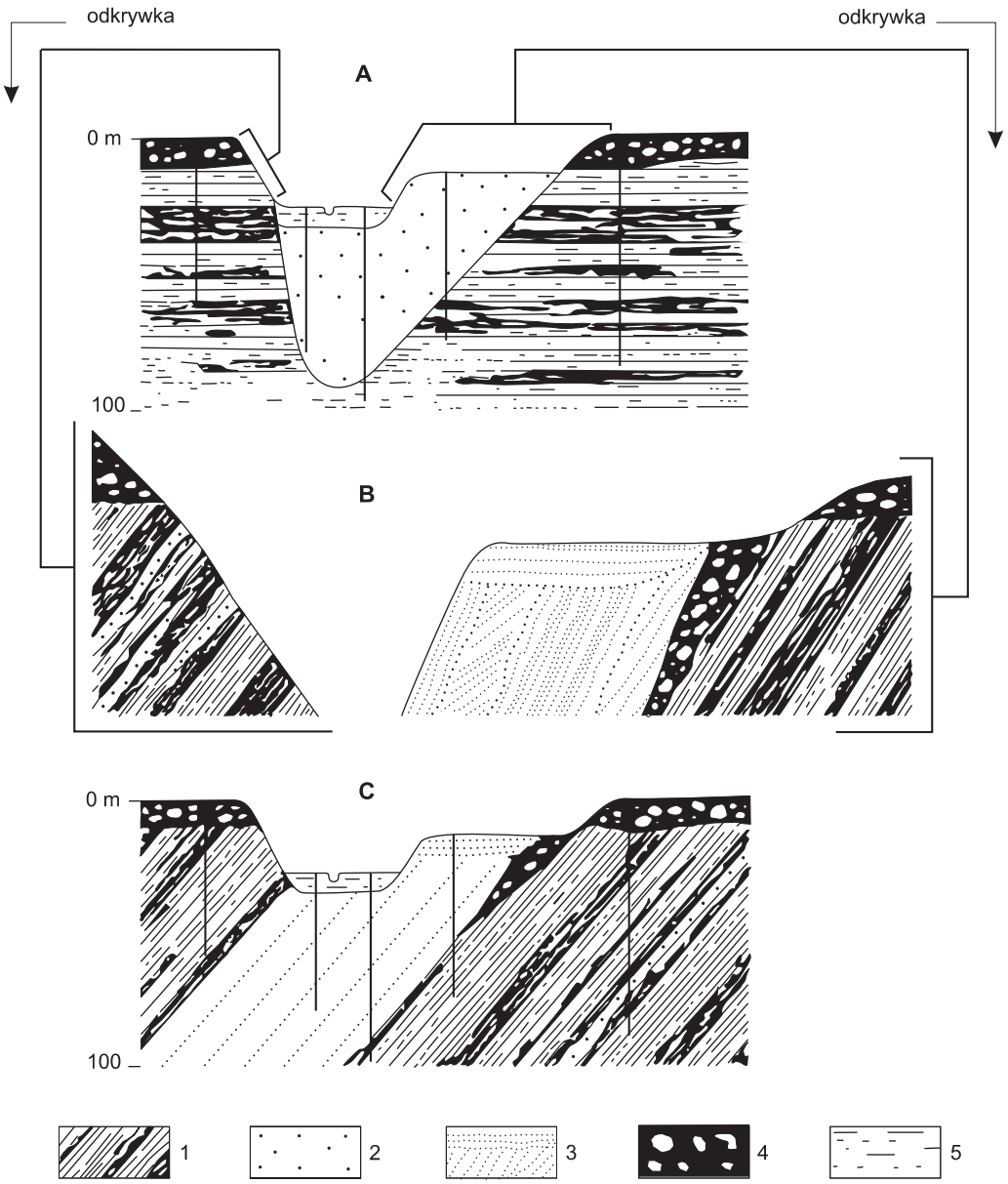


Fig. 23. Problem poprawnej konstrukcji przekrojów geologicznych w obszarach z deformacjami glacitektonicznymi

wg Rotnickiego (1983)

A — przekrój geologiczny skonstruowany wyłącznie na podstawie profili wierceń; **B** — odsłonięcia powstałe po skonstruowaniu przekroju geologicznego; **C** — poprawiony przekrój geologiczny uwzględniający występowanie deformacji glacitektonicznych; *1* — iły trzeciorzędowe, *2* — piaski czwartorzędowe o nierozpoznanej strukturze, *3* — piaski czwartorzędowe z rozpoznanymi deformacjami glacitektonicznymi, *4* — gliny zwałowe, *5* — piaski i mady rzeczne (holoceńskie).

kim uskoków oraz powierzchni odkłucia, wzdłuż których następuje przemieszczanie struktur łuskowych lub płaszczowinowych. W takich sytuacjach nie uwzględnianie uskoków w interpretacji przekrojów geologicznych, może być również przyczyną poważnych błędów w przedstawieniu modelu budowy geologicznej.

Występowanie czwartorzędowych ruchów tektonicznych na obszarze płytkiego lub powierzchniowego występowania litych skał podłoża jest raczej powszechnie akceptowane (np. Dadlez, Jaroszewski, 1994). W Polsce do takich obszarów zaliczane są m.in. Karpaty i Sudety, w mniejszym stopniu Wyżyna Małopolska i Wyżyna Lubelska, ale także pozostała część Niżu Polskiego poza platformą prekambryjską (Rühle, red., 1973). Zaznaczone są one m.in. zróżnicowanym nachyleniem powierzchni tarasów i profilu podłużnego koryt rzecznych (np. występowaniem progów).

Szerszemu uwzględnianiu w interpretacji uskoków w osadach czwartorzędowych sprzyjałoby z pewnością bardziej powszechne stosowanie wyników badań modelowych, prowadzonych już od 30 lat dla estymacji reakcji podłoża na obciążenie przez transgredujący lądolód. Poza raczej oczywistym zjawiskiem glaciizostatycznej subsydencji w obszarze występowania lądolodu, szczególnie rzadko uwzględnia się efekt wypiętrzania jego dalekiego przedpola, tj. w odległości 180–400 km od krawędzi lądolodu, z maksymalnym kilkunastometrowym wypiętrzeniem w odległości około 280 km. Oczywiście takie rozważania modelowe przyjmują dla uproszczenia jednorodny charakter podłoża (a zatem deformacje ciągłe), chociaż powszechna anizotropia ośrodka geologicznego raczej sprzyja powstawaniu deformacji nieciągłych (Liszkowski, 1993).

W sytuacji, kiedy nie ma możliwości obserwacji budowy geologicznej w odsłonięciach i z konieczności interpretacja tektoniczna oparta jest wyłącznie na analizie profili wiertniczych, za występowaniem uskoków w osadach czwartorzędowych mogą przemawiać następujące fakty:

- obecność dyslokacji nieciągłych w litych skałach podłoża,
- prostolinijny przebieg obniżeń i elewacji podłoża,
- nienaturalnie duża lub/i zmienna miąższość osadów,
- piętrowe występowanie różnowiekowych interglacjalnych kopalnych dolin rzecznych.

Interpretacja dyslokacji nieciągłych w osadach czwartorzędowych nie powinna budzić poważniejszych zastrzeżeń, przy zachowaniu umiaru i wykluczeniu — jako nieprawdopodobnych lub mało prawdopodobnych — innych sposobów przedstawienia modelu budowy geologicznej. Jeszcze lepiej, jeśli interpretacja dyslokacji nieciągłych w osadach czwartorzędowych znajduje potwierdzenie, np. w wynikach badań geofizycznych.

6.3. SCHEMAT STRATYGRAFICZNY

Opracowanie schematu stratygraficznego stanowi końcowy etap zestawiania zebranych materiałów terenowych i archiwalnych oraz wyników badań laboratoryjnych. W idealnym przypadku stratygrafia osadów poszczególnych stanowisk (profili) dokumentacyjnych powinna być ustalona niezależnie i możliwie najbardziej precyzyjnie. Obecnie dla potrzeb SMGP najszerzej stosowana jest analiza pyłkowa (palinologiczna), a w ograniczonym zakresie metody radiowęgla i termoluminescencji, zaś do korelacji osadów służą metody litologiczno-petrograficzne. W praktyce datować można jedynie niektóre typy osadów, natomiast poza zasięgiem możliwości datowania pozostają wszelkie przerwy w sedymentacji. Z tych powodów podział stratygraficzny

i korelacja osadów czwartorzędu opiera się na całym zespole różnych metod (Zasady, 1988), obejmujących:

— strukturę i teksturę osadów (litostratygrafia, magnetostratygrafia),
— skamieniałości (biostratygrafia),
— rozwój rzeźby terenu i procesów glebotwórczych (morfostratygrafia, pedostratygrafia),
— warunki klimatyczne w czasie depozycji (klimatostratygrafia).

Rytmiczne globalne zmiany klimatu w czwartorzędzie wpływały na charakter sedymentacji oraz skład zbiorowisk roślinnych i zespołów faunistycznych. Ta rytmiczność zmian klimatycznych jest podstawą każdego schematu stratygraficznego czwartorzędu, opierającego się na określeniu warunków depozycji poszczególnych typów osadów, przerw w sedymentacji lub niezgodności oraz superpozycji osadów. Wszystkie metody paleontologiczne i geochronologiczne (a tym bardziej litostratygraficzne) odgrywają jedynie pomocniczą rolę, na obszarze arkusza ograniczoną zwykle do punktowego (profilowego) umocowania ustanowionego lokalnego schematu stratygraficznego. Natomiast mogą one ułatwiać korelację w skali regionalnej i/lub ponadregionalnej.

W ustalaniu schematu stratygraficznego należy uwzględniać zróżnicowaną intensywność procesów denudacyjnych na obszarach staro- i młodoglacjalnych. Drobna frakcja większości osadów czwartorzędowych i na ogół ich słaba zwięzłość sprzyjają intensywnej denudacji, szczególnie w warunkach drastycznego rozrzedzenia szaty roślinnej w okresach kolejnych zlodowaceń. Denudacja jest najbardziej intensywna na obszarach wysoczyznowych (wododziałowych) oraz w skupiskach moren czołowych, szczególnie moren czołowych spiętrzonych (ze względu na pasowe zróżnicowanie litologii). Określenie rozmiarów denudacji jest możliwe przez powiązanie utworzonych form denudacyjnych z odpowiednimi osadami w sąsiednich niżej położonych obszarach (Rotnicki, 1974). Tak więc denudacja prowadzi nie tylko do likwidacji powierzchni pierwotnej (razem z jej treścią geologiczną), ale również do powstania specyficznych i niekiedy bardzo rozległych form denudacyjnych, które mogą być niewłaściwie wiązane z zupełnie innym środowiskiem sedymentacyjnym (np. lodowcowym).

Wyodrębnienie na arkuszu słabo udokumentowanych jednostek stratygraficznych sprawia, że wskutek stosunkowo szybko zmieniających się poglądów na stratygrafię, w tym stratygrafię czwartorzędu Polski, może niejednokrotnie szybko nastąpić dezaktualizacja treści arkusza już opracowanego, wprowadzonego do komputerowej bazy danych i wydrukowanego. Jednocześnie konieczność „dopasowywania" styków (patrz rozdz. 6.1) może wymuszać łańcuchowe uwzględnianie nieudokumentowanych lub słabo udokumentowanych jednostek stratygraficznych na arkuszach kończonych w późniejszym terminie. W ten sposób obraz budowy geologicznej, który powinien mieć w pewnej mierze charakter ponadczasowy, podlegać musi zbyt często zmianom o charakterze „koniunkturalnym". Wprowadzają one niepotrzebne zamieszanie, opóźnienie i zwiększenie kosztów realizacji takiego podstawowego seryjnego opracowania kartograficznego, jakim jest *Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000*.

W celu zminimalizowania możliwości pojawienia się takich sytuacji, arkusz mapy musi uwzględniać tylko te jednostki stratygraficzne, których wyróżnienie jest w pełni uzasadnione. W niektórych przypadkach może to spowodować, że nie będą wyróżnione jednostki mniejsze niż pododdziały, a stopień szczegółowości podziału stratygraficznego będzie różny dla poszczególnych części profilu osadów czwartorzędu. Natomiast objaśnienia tekstowe, stanowiące załącznik do każdego arkusza SMGP, są odpowiednim miejscem dla przedstawienia słabiej udokumentowanych jednostek stratygraficznych (litostratygraficznych). Można w nich zamieścić w formie wniosków wynikających z opracowanego arkusza (w razie potrzeby również wariantowo) wszelkie uwagi i propozycje zmian w dotychczasowym, powszechnie akceptowanym schemacie

podziału stratygraficznego, załączając również odpowiednie ilustracje. Objaśnienia tekstowe nie mogą być jedynie nieco rozszerzonym opisem objaśnień graficznych zamieszczonych na każdym arkuszu. Powinny one zawierać wnioski wynikające z badań laboratoryjnych, jak również przedstawiać pełną problematykę stratygraficzną i paleogeograficzną na tle krytycznego przeglądu całej literatury związanej z obszarem arkusza.

Te ogólne zasady należy stosować również w odniesieniu do skał starszych od czwartorzędu, szczególnie zaś, gdy wyróżnienie odpowiednich jednostek stratygraficznych jest oparte na litostratygrafii i wynika głównie z korelacji w skali regionalnej i/lub ponadregionalnej.

6.4. SYNTETYCZNY PROFIL GEOLOGICZNY

Po ostatecznym ustaleniu schematu stratygraficznego sporządza się syntetyczny profil geologiczny, którego celem jest graficzna prezentacja wzajemnego położenia wszystkich różnowiekowych osadów występujących na obszarze arkusza — na mapie geologicznej, przekrojach geologicznych i w profilach wierceń. Dla obszarów o małej miąższości osadów czwartorzędowych syntetyczny profil geologiczny opracowuje się oddzielnie dla utworów czwartorzędowych i dla utworów starszych od czwartorzędu.

Profil syntetyczny utworów starszych od czwartorzędu sporządza się przeważnie w postaci słupka, uwzględniając miąższości warstw, np. 1 cm = 100 m (wartości podaje się z boku słupka), przerwy sedymentacyjne i w miarę możliwości wzajemne ułożenie osadów, które mogą miejscami występować w sposób nieciągły lub zaburzony. Słupek zbyt miąższych, lecz jednolitych litologicznie i równowiekowych osadów może być poprzerywany fragmentami bez treści (barwy i litologii); konieczne jest w tym przypadku podanie pełnej miąższości warstwy z boku profilu.

Utwory czwartorzędowe przedstawia się na profilu syntetycznym mającym formę przekroju, lecz bez skali poziomej, natomiast z zastosowaniem z obu stron skali pionowej w m n.p.m., w której najczęściej 1 cm = 10 lub 20 m. Przy konstrukcji profilu syntetycznego utworów czwartorzędowych uwzględnia się maksymalne i minimalne miąższości wszystkich warstw, najwyższe i najniższe ich położenie nad poziom morza, ułożenie w stosunku do warstw podścielających i nadległych, jak też nieciągłości w występowaniu. Dla obszarów różniących się znacznie budową geologiczną sporządza się dwa lub nawet trzy regionalne profile syntetyczne.

7. ZASTOSOWANIE TECHNIK KOMPUTEROWYCH

Rozwój technologii komputerowych udostępnił wiele nowych narzędzi sprzętowych i programowych, w istotnej mierze zmieniając również sposób opracowywania materiałów kartograficznych. Komputer wyposażony w programy biurowe, graficzne oraz typu GIS i CAD staje się podstawowym narzędziem pracy geologa kartującego.

W cyfrowym opracowaniu SMGP wykorzystywane jest obecnie oprogramowanie Arc/Info v. 7.x.x. i ArcView 3.x oraz programy dedykowane konkretnym czynnościom (sekwencjom technologicznym), będące aplikacjami systemu GIS Arc/Info (ArcSMGP, KODA). Wdrażana jest aplikacja ArcTeren, opracowana przy pomocy narzędzi programistycznych PowerBuilder 6.0,

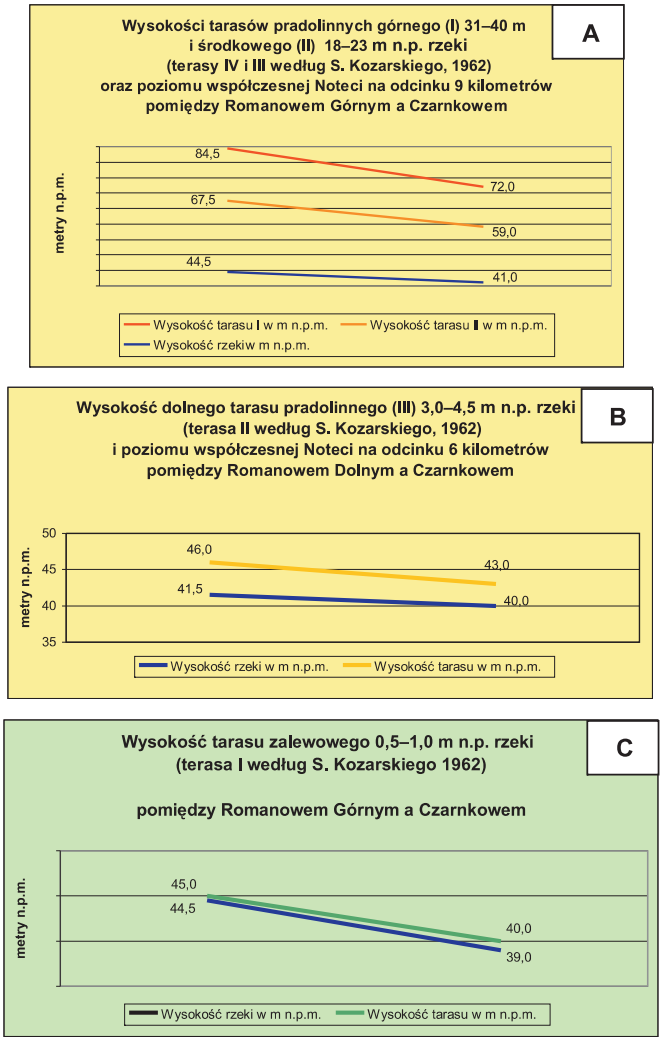


Fig. 24. Wykresy liniowe ilustrujące wysokości i nachylenie tarasów

Arkusz Czarnków SMGP; tarasy pradolinne i taras zalewowy w dolinie Noteci.

MapObjects 1.2 (firmy ESRI) i Watcom C++. W celach pomocniczych wykorzystuje się m.in. program AutoCad v.12–14 oraz CorelDraw v.7–8. W przyszłości znajdą z pewnością powszechniejsze zastosowanie przenośne komputery (notebook) i urządzenia GPS (Global Positioning System) z odpowiednim oprogramowaniem. Obecnie barierą w ich wykorzystaniu jest wysoka cena, co uniemożliwia wyposażenie w nie każdego geologa kartującego.

Techniki komputerowe mogą być stosowane na wszystkich etapach opracowania *Szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1:50 000* (tab. 7), a więc:

Tabela 7

Czynności przy opracowywaniu arkusza SMGP, możliwe do wykonania przy zastosowaniu wybranego oprogramowania narzędziowego

Etap lub element opracowania	Oprogramowanie narzędziowe, ew. sprzęt
Tekst projektu badań, tekst Objaśnień	MS Word
Szkic geologiczny zakryty i odkryty	AutoCad, Arc/Info, ArcView
Mapa dokumentacyjna	Arc/Info, ArcSMGP, ArcTeren
Przekroje geologiczne	ArcInfo, ArcView, ArcSMGP, CorelDraw
Szkice z projektowaną lokalizacją otworów wiertniczych	skaner, Arc/Info, ArcView
Wstępna analiza geomorfologiczna	ArcView – cyfrowa mapa rzeźby terenu 1:200 000 Arc/Info, ArcView – cyfrowy model terenu 1:50 000
Zdjęcie geologiczne	ArcTeren
Graficzna prezentacja współczynników petrograficznych glin zwałowych	MS Excel
Graficzna prezentacja ułożenia dłuższych osi klastów w glinie zwałowej	MS Excel
Mapa geologiczna	Arc/Info, ArcView, ArcTeren
Objaśnienia barw i symboli	Word, ArcView, ArcTeren, ArcSMGP
Syntetyczny profil geologiczny	Arc/Info, ArcView
Skorowidz autorski zdjęcia geologicznego	Word, Arc/Info, ArcView
Szkic geomorfologiczny	AutoCad, Arc/Info, ArcView
Tabela litologiczno-stratygraficzna	MS Word
Inne tabele i zestawienia	MS Word, MS Excel, ArcTeren
Inne załączniki graficzne	CorelDraw, ArcView
Cyfrowanie materiałów autorskich	Arc/Info, ArcSMGP, ArcTeren
Komputerowa redakcja merytoryczna i techniczna oraz przygotowanie do druku	Arc/Info, ArcSMGP

- w trakcie prac projektowych;
- w terenie;
- w trakcie zestawczych prac kameralnych;
- do cyfrowego opracowywania autorskich materiałów kartograficznych;
- do opracowywania, uzupełniania i aktualizacji bazy danych SMGP;
- do merytorycznej i technicznej redakcji materiałów autorskich oraz bezpośredniego przygotowywania ich do druku.

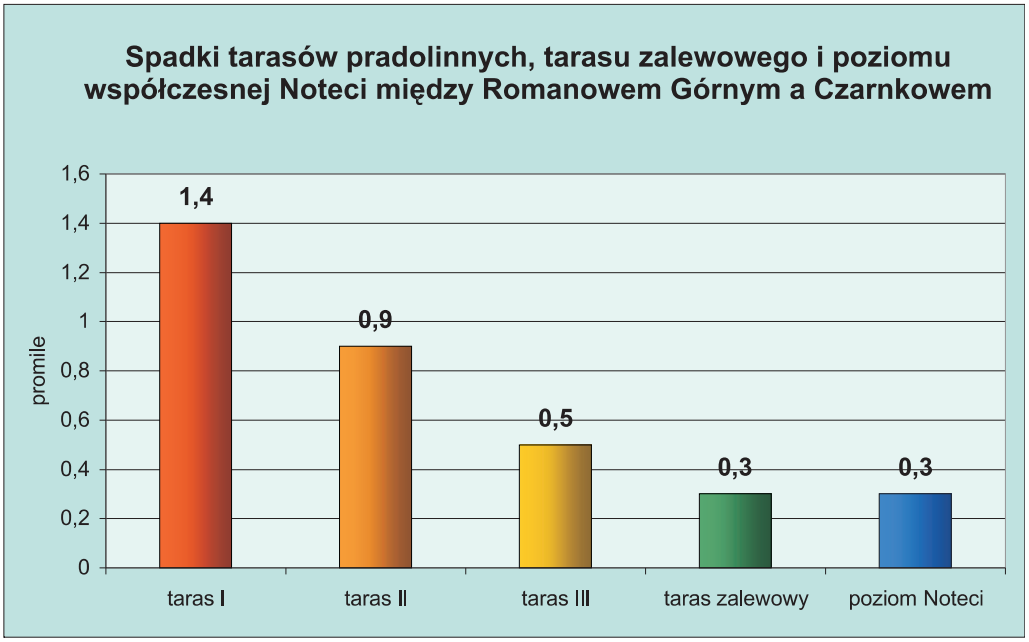


Fig. 25. Spadki tarasów przedstawione w postaci wykresów słupkowych

Arkusz Czarnków SMGP.

	gW2
O/K	1,72
K/W	0,61
A/B	1,61

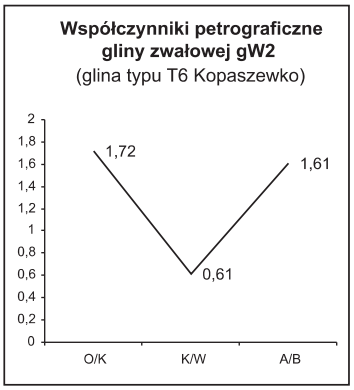


Fig. 26. Wykres liniowy ilustrujący współczynniki petrograficzne gliny zwałowej

Arkusz Czarnków SMGP; górna glina zwałowa zlodowacenia Warty.

Kierunki	Ilość pomiarów	Klasa od	Klasa do
N		0	9
		10	19
		20	29
	2	30	39
	2	40	49
	7	50	59
	5	60	69
	3	70	79
	4	80	89
E	2	90	99
		100	109
		110	119
		120	129
		130	139
		140	149
		150	159
		160	169
		170	179
S		180	189
		190	199
		200	209
	2	210	219
	2	220	229
	7	230	239
	5	240	249
	3	250	259
	4	260	269
W	2	270	279
		280	289
		290	299
		300	309
		310	319
		320	329
		330	339
		340	349
		350	359

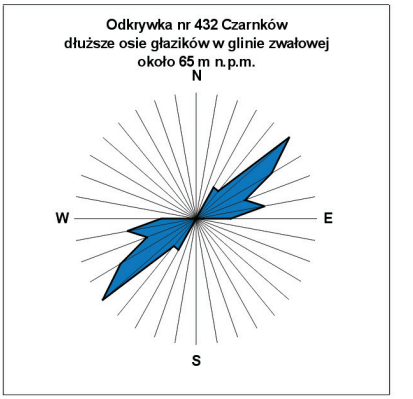


Fig. 27. Zestawienie wyników pomiarów i wykres radarowy kierunków dłuższych osi głazików w glinie zwałowej

Arkusz Czarnków SMGP; pomiary w odkrywce.

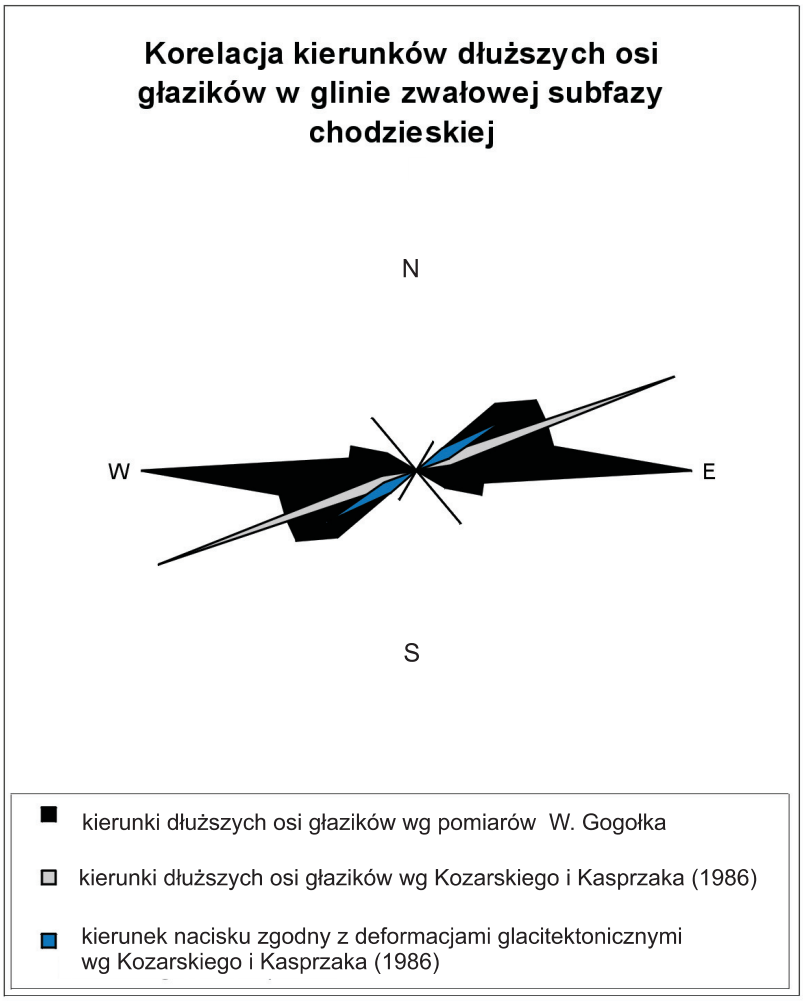


Fig. 28. Wykres korelacyjny pomiarów dłuższych osi głazików w glinie zwałowej

Odkrywka w Ujściu nad Notecią.

W niniejszym rozdziale zostaną przedstawione przykłady zastosowania różnego typu oprogramowania komputerowego, które może być wykorzystane w trakcie wymienionych wyżej etapów opracowania SMGP. Przykłady te nie obejmują wszystkich obecnych i przyszłych procedur, lecz wskazują jedynie na istniejące obecnie możliwości techniczne. Nie będzie opisywany sprzęt komputerowy, gdyż jest on jedynie platformą, służącą do uruchomienia danego programu. W wielu przypadkach te same programy mogą być użytkowane na różnych platformach sprzętowo-systemowych. Przykładowo, system GIS Arc/Info może być używany na dowolnych kompu-

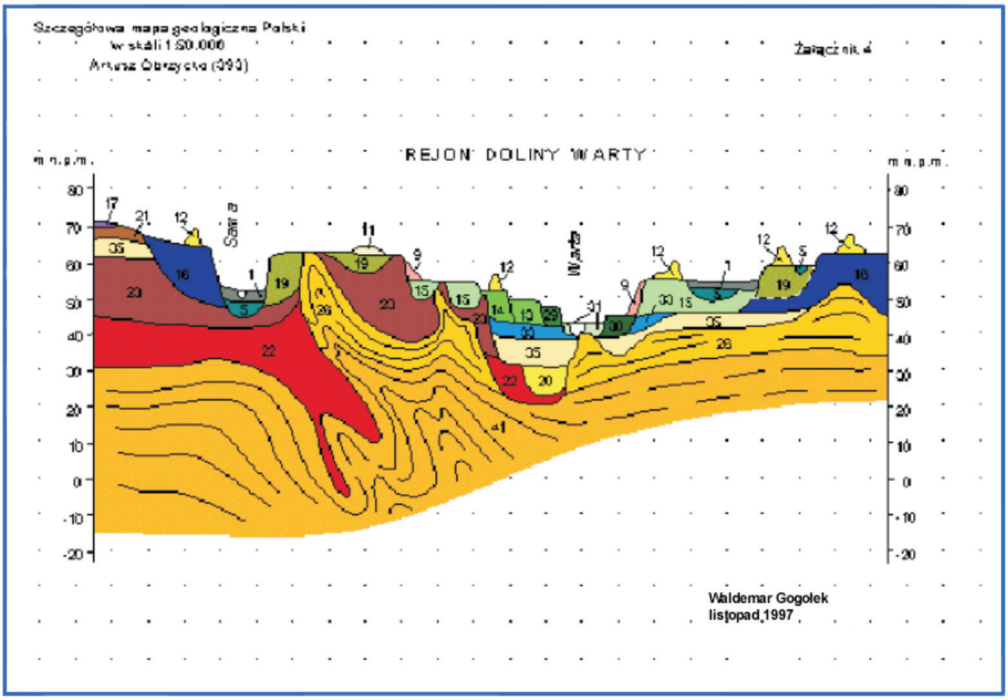


Fig. 29. Kompozycja syntetycznego profilu geologicznego

Arkusz Obrzycko SMGP; rejon doliny Warty, program ArcView 3.0.

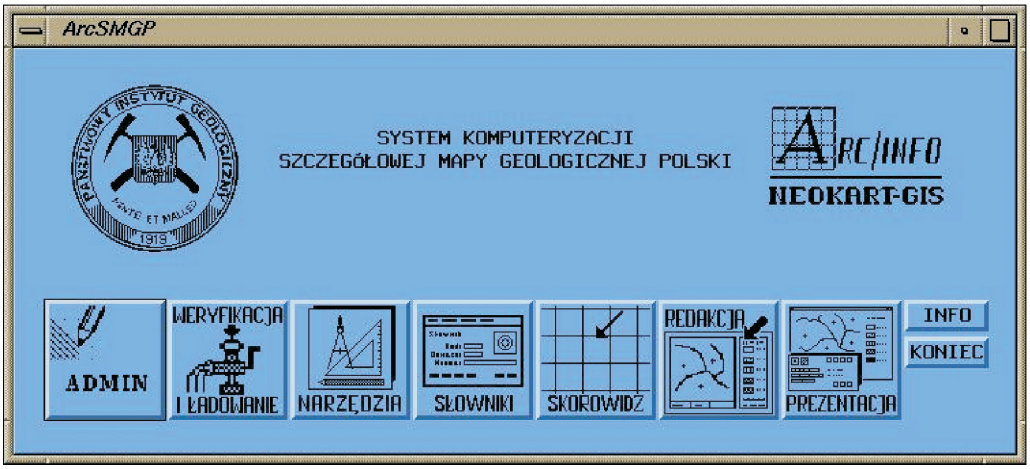


Fig. 30. Główne menu aplikacji ArcSMGP

Fig. 31. Główne menu aplikacji KODA v. 1.1

terach osobistych (PC Arc/Info 3.4) lub na stacjach graficznych działających w systemie Unix lub Windows NT (Arc/Info 6.x–7.x).

Microsoft Office v. 6.0/95–97. Najpowszechniejszym zastosowaniem komputera jest zastąpienie maszyny do pisania, jednak o nieporównywalnie większych możliwościach. Stosowane obecnie oprogramowanie biurowe daje ogromne możliwości w zakresie opracowania materiału tekstowego, tabelarycznego i ilustracyjnego. Standardem w opracowywaniu dokumentów tekstowych jest obecnie edytor tekstów **MS Word**. Pozwala on na integrację elementów tekstowych, grafiki rastrowej, wektorowej, wykresów i tabel. Z kolei arkusz kalkulacyjny **MS Excel** wchodzący w skład pakietu MS Office może być m.in. użyty do przygotowania kart ewidencyjnych (załącznik 19 A–D: Instrukcja 1996) oraz wykresów wspomagających analizę materiału geologicznego zebranego dla opracowania arkusza (fig. 24–28).

Arc/Info v. 7.x. System Arc/Info jest wykorzystywany w celu przygotowania podkładu topograficznego dla mapy, cyfrowania autorskiej wersji mapy geologicznej i dokumentacyjnej oraz wprowadzania danych opisowych w formacie wejściowym dla bazy danych SMGP. Wdrażane jest cyfrowe opracowywanie arkusza na etapie prac projektowych i terenowych (patrz dalej — aplikacja ArcTeren).

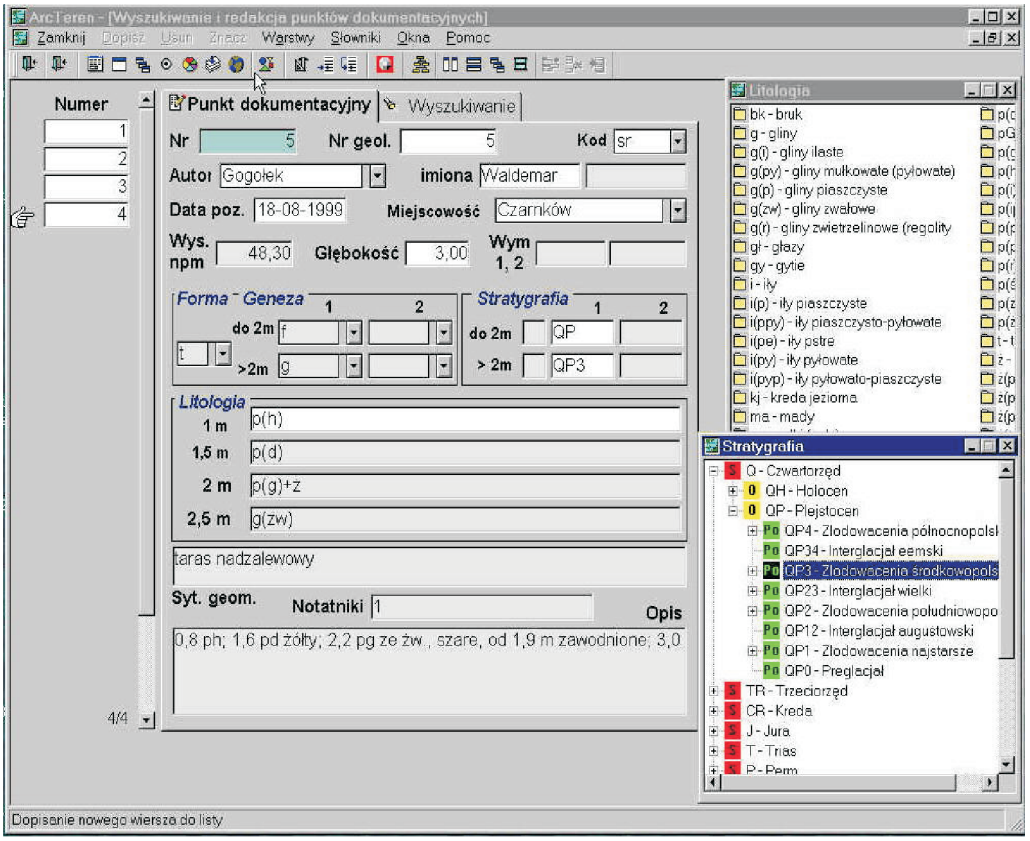


Fig. 32. Aplikacja ArcTeren — formularz do edycji opisu punktu dokumentacyjnego

ArcView GIS 3.x. Jest to program umożliwiający analizę i prezentację danych geograficznych w formie profesjonalnych map. Posiada on narzędzia do prostej edycji mapy oraz bardzo liczne ułatwienia pozwalające na łatwe i szybkie jej opracowanie. Należy jednak dysponować wcześniej przygotowanym źródłowym materiałem cyfrowym, np. w systemie Arc/Info. Przy zastosowaniu ArcView można przygotować wszystkie elementy arkusza SMGP, w tym autorską wersję mapy geologicznej z objaśnieniami, syntetyczne profile geologiczne (fig. 29) i przekroje geologiczne.

Aplikacja **ArcSMGP**, sporządzona w języku programowym Arc/Info, w tzw. AML (Arc/Info Macro Language), jest wielofunkcyjnym narzędziem do weryfikacji scyfrowanych arkuszy SMGP, tworzenia i obsługi bazy danych SMGP oraz cyfrowej redakcji technicznej arkuszy. Narzędzie to służy operatorom Arc/Info cyfrującym materiały autorskie oraz redaktorom przygotowującym cyfrowo arkusze SMGP do druku. ArcSMGP współpracuje z systemem Arc/Info oraz systemem relacyjnych baz danych Oracle. Aplikacja składa się z siedmiu modułów: administra-

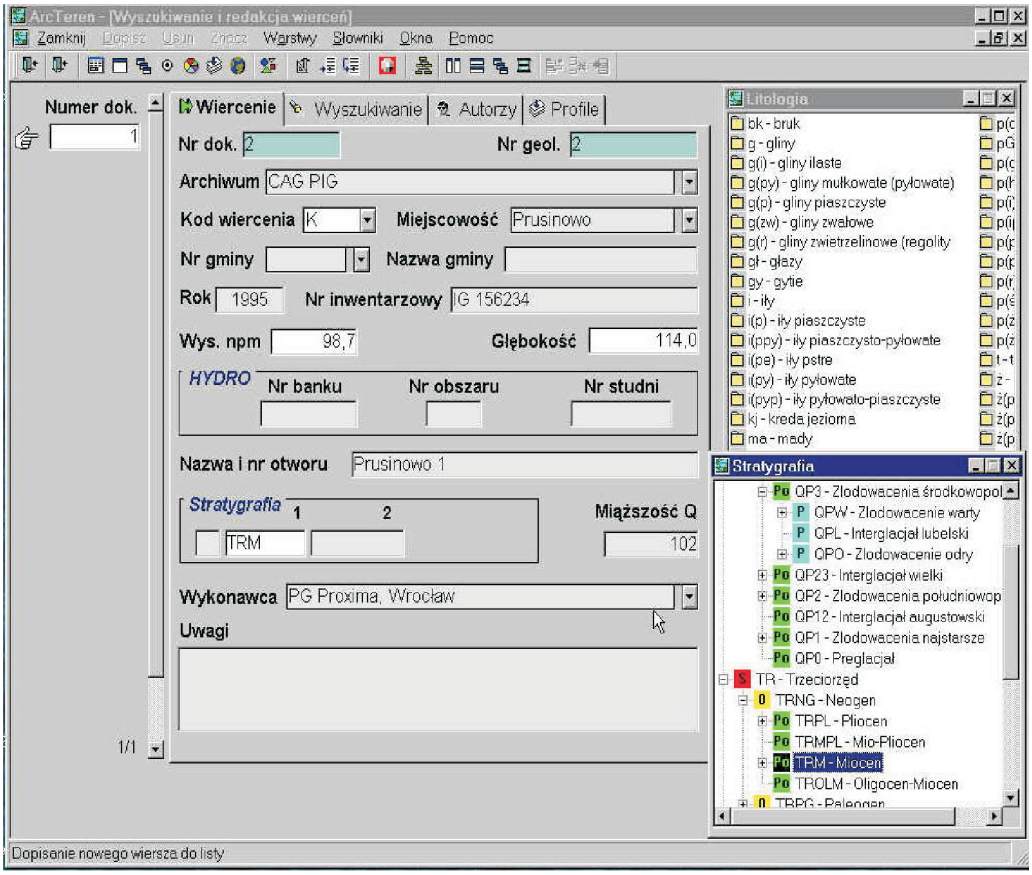


Fig. 33. Aplikacja ArcTeren — formularz do edycji opisu wiercenia badawczego

cji, weryfikacji i ładowania danych, narzędzi, słowników, skorowidza, redakcji i prezentacji. W celu ułatwienia pracy operatorów cyfrujących arkusze SMGP bez dostępu do systemu Oracle i pełnej wersji aplikacji ArcSMGP, przygotowano aplikację KODA (fig. 30 i 31).

Aplikacja **ArcTeren** służy do opracowywania SMGP w trakcie prac terenowych i kameralnych. Zakres funkcji tej aplikacji umożliwia cyfrowe przygotowanie mapy geologicznej, mapy dokumentacyjnej oraz odpowiednich załączników do tych map. Aplikacja ArcTeren jest funkcjonalnie zintegrowana z bazą danych SMGP i aplikacją ArcSMGP oraz zapewnia zgodność słowników z bazą danych SMGP oraz z Instrukcją (1996). Aplikacja pracuje w systemie MS Windows 95/98/NT na każdym komputerze obsługiwanym przez ten system. Z aplikacji ArcTeren powinien korzystać każdy geolog pracujący przy realizacji SMGP (tab. 8). Aplikacja umożliwia:

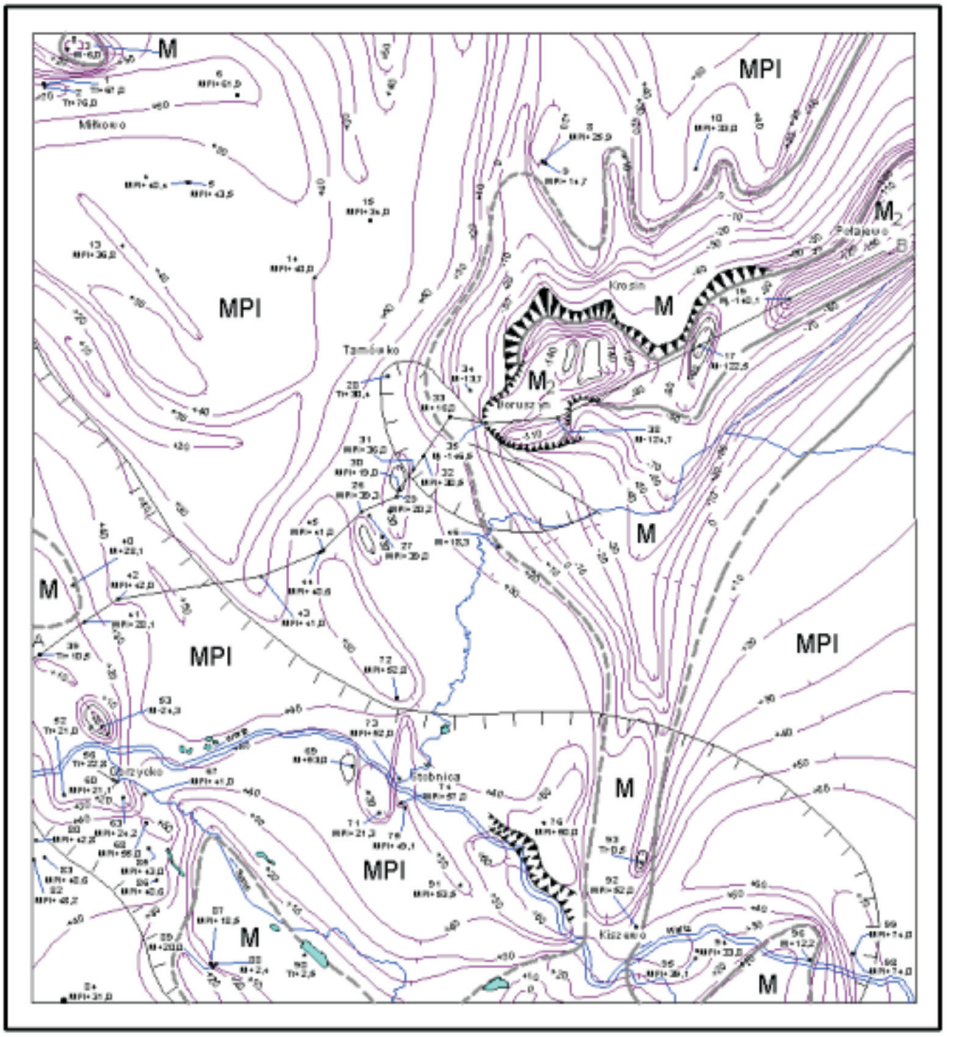


Fig. 34. Szkic geologiczny odkryty wykreślony w programie AutoCad v. 14

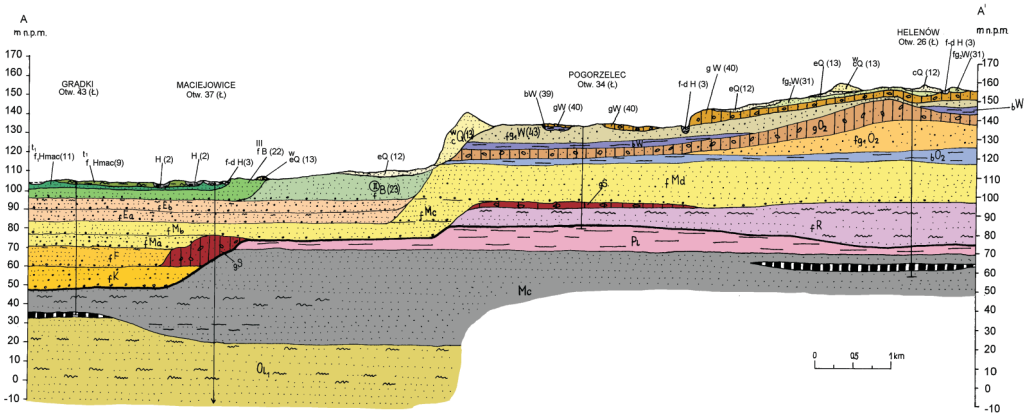


Fig. 35. Przekrój geologiczny opracowany w sposób hybrydowy

W pierwszym etapie został wykreślony tradycyjnie, w drugim etapie — po zeskanowaniu — część elementów opisowych i kolorowanie wykonano przy zastosowaniu programu CorelDraw.

- edycję granic i wydzieleń geologicznych na tle zeskanowanej mapy topograficznej;
- edycję elementów geometrycznych mapy geologicznej i dokumentacyjnej (poligony, linie i punkty) oraz ich wizualizację;
- edycję danych opisowych (fig. 32, 33) przy pomocy formularzy zgodnych z wymogami Instrukcji (1996);
- kontrolę spójności danych geometrycznych i opisowych;
- eksport i import danych z/i do systemu Arc/Info, czyli formatu danych wejściowych aplikacji ArcSMGP oraz bazy danych SMGP.

Aplikacja ArcTeren umożliwia również przygotowanie i wydruk wielu raportów w formie gotowych załączników do projektu (programu) badań geologicznych, bądź opracowania końcowego SMGP, np.:

- tabel zgodnych z wzorami kart ewidencyjnych z Instrukcji (1996);
- wykazu wydzieleń geologicznych arkusza;
- wykazu znaków konwencjonalnych wprowadzonych na arkusz;
- wykazu profilów (metryczek) otworów wiertniczych;
- wydruku mapy geologicznej i mapy dokumentacyjnej.

AutoCad v. 14. Wszelkie pomocnicze prace kreślarskie mogą być wykonane w programie AutoCad. Dotychczas w tym programie sporządzono liczne diagramy palinologiczne, zestawienia profilów otworów wiertniczych z prezentacją wyników badań tych profilów, szkice geomorfologiczne, szkice geologiczne odkryte (fig. 34) i objaśnienia do nich oraz inne załączniki graficzne dla arkuszy SMGP. Do tych samych celów nadaje się oprogramowanie typu CAD.

Tabela 8

Czynności i elementy opracowania arkusza SMGP możliwe do wykonania przy zastosowaniu aplikacji ArcTeren

Etap opracowania	Czynność lub element opracowania
Projektowanie prac geologicznych	edycja danych geometrycznych dla mapy dokumentacyjnej
	wprowadzanie opisów wierceń geologicznych, dokumentacji badań geologicznych i map
	wydruk mapy dokumentacyjnej
	wydruk objaśnień do mapy dokumentacyjnej
	wydruk wykazów opracowań i dokumentacji geologicznych, map i otworów wiertniczych
Prace geologiczno-zdjęciowe	edycja lokalizacji i opisów punktów dokumentacyjnych
	edycja na bieżąco wyników zdjęcia geologicznego (mapy geologicznej): wprowadzanie granic wydzieleń geologicznych i tworzenie ich słownika dla arkusza
	edycja na bieżąco wyników zdjęcia geologicznego (zjawiska geologiczne i obserwacje pomocnicze): wprowadzanie na mapę odpowiednich znaków konwencjonalnych i tworzenie ich słownika dla arkusza
Autorskie opracowanie mapy geologicznej	przygotowanie i wydruk autorskiej przedredakcyjnej wersji mapy geologicznej oraz jej objaśnień
	uzupełnianie danych i ponowny wydruk mapy dokumentacyjnej z objaśnieniami, wykazów opracowań i dokumentacji geologicznych, map i otworów wiertniczych
	przygotowanie plików eksportowych z danymi z mapy geologicznej i dokumentacyjnej dla bazy danych SMGP

CorelDraw v. 7–8 może służyć do szybkiego opracowywania załączników graficznych o różnym stopniu komplikacji, takich jak: proste mapy, szkice, profile i przekroje (fig. 35). Jest to program umożliwiający pracę z rysunkiem wektorowym i obrazem rastrowym.

8. ZALECANA LITERATURA

ALEXANDROWICZ S. W., 1987 — Analiza malakologiczna w badaniach czwartorzędowych. *Kwart. AGH*, **13** (1–2).

ALLUM J. A. E., 1969 — Photogeology and regional mapping. Pergamon Press, Oxford.

BAŻYŃSKI J., 1982 — Metody interpretacji geologicznej zdjęć satelitarnych wybranych obszarów Polski. *Instrukcje i Metody Badań Geologicznych*, **44**. Warszawa.

BURCHART J., 1971 — Geochronologia bezwzględna, stan i kierunki rozwoju. *Postępy Nauk Geol.*, **3**: 5–59.

CIOŁKOSZ A., MISZALSKI J., OLĘDZKI J. R., 1978 — Interpretacja zdjęć lotniczych. PWN, Warszawa.

CIOŁKOSZ A., KĘSIK A., 1989 — Teledetekcja satelitarna. PWN, Warszawa.

DADLEZ R., JAROSZEWSKI W., 1994 — Tektonika. PWN, Warszawa.

FAEGRI K., IVERSEN J., 1978 — Podręcznik analizy pyłkowej. Wyd. Geol., Warszawa.

FOLK R. L., WARD W. L., 1957 — Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *J. Sed.*, **38** (4).

GOŁĄB J., 1951 — Zasady zdjęć geologicznych. Państw. Wyd. Techn., Katowice.

GOŹDZIK J., MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO E., 1988 — Geneza zmatowienia powierzchni dobrze zaokrąglonych ziaren kwarcu w świetle badań w mikroskopie elektronowym. *W*: Geneza osadów i gleb w świetle badań w mikroskopie elektronowym, Wyd. Uniw. Warsz.: 57–64. Warszawa.

GÓRSKA M., 1999 — Advantages and disadvantages of petrographic analyses of glacial sediments. *Geol. Quart.*, **43** (2): 241–249.

GRABOWSKA I., 1996 — Flora. *W*: Budowa geologiczna Polski, t. III. Atlas skamieniałości przewodnich i charakterystycznych, Paleogen: 328–348; 387–390. Państw. Inst. Geol., Warszawa.

GRADZIŃSKI R., KOSTECKA A., RADOMSKI A., UNRUG R., 1986 — Zarys sedymentologii. Wyd. Geol., Warszawa.

GRANICZNY M., 1989 — Fotolineamenty i ich znaczenie geologiczne. *Instrukcje i Metody Badań Geologicznych*, **50**. Warszawa.

GRANICZNY M., 1998 — Satelitarne systemy teledetekcyjne u schyłku XX wieku — aktualne możliwości i perspektywy. *Prz. Geol.*, **46** (2).

GRIFFITHS J. C., 1967 — Scientific method in analysis of sediments. McGraw-Hill Book Co., New York.

GRODZICKI J., red., 1977 — Zdjęcie geologiczne. Wyd. Geol., Warszawa.

GRZEGORCZYK M., 1970 — Metody przedstawiania uziarnienia osadów. *Pr. Kom. Geogr.-Geol. PTPN*, **10** (2).

GUZIK K., HAKENBERG M., red., 1966 – Zdjęcia geologiczne. Wyd. Geol., Warszawa.

INSTRUKCJA opracowania i wydania Szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1:50 000, 1996 — Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.

JAROSZEWSKI W., MARKS L., RADOMSKI A., 1985 — Słownik geologii dynamicznej. Wyd. Geol., Warszawa.

KENIG K., 1997 — Badania litologiczne osadów z otworów wiertniczych Mapy geologicznej Polski 1:200 000. *Prz. Geol.*, **45** (11): 1181–1187.

KENIG K., 1998 — Petrograficzne podstawy stratygrafii glin morenowych Polski północno-wschodniej. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **380**.

KLIMASZEWSKI M., 1978 — Geomorfologia. PWN, Warszawa.

KOZARSKI S., KASPRZAK L., 1986 — Facies analysis and depositional models of Vistulian ice-marginal features in North-Western Poland. International Geomorphology. Part II.

KRĄPIEC M., red., 1998 — Progress in dendrochronology of the last millennia in Poland. *Folia Quatern.*, **69**.

KRUMBEIN W.C., 1936 — Application of logarithmic moments of size frequency distribution of sediments. *J. Sedim. Petrol.*, **6**: 35–47.

KRUMBEIN W. C., GRAYBILL F. A., 1965 — An introduction of statistical models in geology. McGraw-Hill Book Co., New York.

KRYGOWSKI B., 1956 — Z badań granulometrycznych nad utworami plejstoceńskimi w Polsce Zachodniej. *Biul. Inst. Geol.*, **100**.

KRYGOWSKI B., 1964 — Graniformametria mechaniczna — teoria, zastosowanie. *Pr. Kom. Geogr.-Geol., PTPN,* 2 (4).

KRYGOWSKI B., 1967 — Zmienność glin morenowych w zakresie uproszczonego składu petrograficznego. *Zesz. Nauk. UAM, Geografia*, **7**: 59–65.

LINDNER L., red., 1992 — Czwartorzęd: osady, metody badań, stratygrafia. Wyd. PAE, Warszawa.

LISICKI S., 1998 — Interpretacja wyników analizy petrograficznej frakcji żwirowej glin zwałowych w nawiązaniu do ich genezy. *Prz. Geol.*, **46** (5): 410–416.

LISZKOWSKI J., 1993 — The effects of Pleistocene ice-sheet loading-deloading cycles on the bedrock structure of Poland. *Folia Quatern.*, **64**: 7–23.

MARCINKIEWICZ A., 1960 — Atlas form i typów rzeźby terenu Polski, skala 1:25 000. Zarz. Topogr. Sztabu Gen., Warszawa.

MEYER K.-D., 1983 — Indicator pebble and stone count methods. *W*: J. Ehlers (Ed.), Glacial deposits in North-West Europe. A. A. Balkema, Rotterdam: 275–287.

MILLER V. C., 1961 — Photogeology. McGraw-Hill Book Co., New York.

MOORE P. D., WEBB J. A., COLLINSON M. E., 1991 — Pollen analysis. Blackwell, Oxford.

MORAWSKI J., 1955 – Metodyka badań morfologii ziaren piasku za pomocą powiększalnika fotograficznego. *Ann. UMCS*, B, **10**.

MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO E., RUTKOWSKI J., red., 1995 — Badania osadów czwartorzędowych, wybrane metody i interpretacja wyników. Wydz. Geogr. i Stud. Region. Uniw. Warsz., Warszawa.

MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO E., red., 1998 — Struktury sedymentacyjne i postsedymentacyjne w osadach czwartorzędowych i ich wartość interpretacyjna. Wydz. Geogr. i Stud. Region. Uniw. Warsz., Warszawa.

OSTAFICZUK S., 1978 — Fotogeologia, fotointerpretacja i fotogrametria geologiczna. Wyd. Geol., Warszawa.

PORADNIK pracownika służby geologicznej, 1968 — Wyd. Geol., Warszawa.

POWELL A. J., red., 1992 — A stratigraphic index of Dinoflagellate cysts. Chapman and Hall, London.

RACINOWSKI R., RZECHOWSKI J., 1959 — Próba wykorzystania stopnia obtoczenia ziaren skalnych dla genetycznej klasyfikacji osadów plejstoceńskich. *Ann. UMCS*, B, **13** (4).

RACINOWSKI R., SZCZYPEK T., 1985 — Prezentacja i interpretacja wyników badań uziarnienia osadów czwartorzędowych. Skrypt Uniw. Śl., **359**: 1–143. Katowice.

ROTNICKI K., 1974 — Slope development of Riss Glaciation end moraines during the Wűrm; its morphological and geological consequences. *Quest. Geogr.*, **1**: 109–139

ROTNICKI K., 1983 — Glaciotectonics and the problem of correct stratigraphy and correlation of the Quaternary deposits in the area of Pleistocene inland glaciations. *W*: A. Baillard, O. Conchon, F. W. Shotton (Eds.), Quaternary glaciations in the northern hemisphere, IGCP Project 73 1/24. Paris.

RÜHLE E., red., 1973 — Metodyka badań osadów czwartorzędowych. Wyd. Geol., Warszawa.

RYWOCKA-KENIG K., 1997 — Mikrorzeźba powierzchni ziaren kwarcu z lessów. *Prace Państw. Inst. Geol.*, **155**.

RZECHOWSKI J., 1971 — Granulometryczno-petrograficzne własności glin zwałowych w dorzeczu środkowej Widawki. *Biul. Inst. Geol.*, **254**: 111–155.

RZECHOWSKI J., 1974 — O litotypach glin zwałowych dolnego i środkowego plejstocenu na Niżu Polskim. *Zesz. Nauk. UAM, Geografia*, **10**: 87–99.

SABINS Jr. F. F., 1986 — Remote sensing, principles and interpretation. Freeman and Co., New York.

SIEMIŃSKA J., 1964 — Baccillariophyceae, okrzemki. Flora słodkowodna Polski, 6. PWN, Warszawa.

SKOMPSKI S., 1971 — Rysunek zawodowy, cz. III. Wyd. Geol., Warszawa.

SKOMPSKI S., 1991 — Fauna czwartorzędowa Polski: bezkręgowce. Wyd. Uniw. Warsz., Warszawa.

SŁOWAŃSKI W., red., 1989 — Kartografia geologiczna. Wyd. Geol., Warszawa.

STEEPLES, D. W., 1998 — Shallow seismic reflection section — introduction. *Geophysics*, **63** (4): 1210–1212.

WARSZTATY METODOLOGICZNE „Metody petrograficzne i mineralogiczne w stratygrafii czwartorzędu", 1999 — Streszcz. ref. i posterów. Państw. Inst. Geol., Warszawa.

WYBRANIEC S., 1999 — Transformations and visualization of potential field data. *Polish Geol. Inst. Special Papers*, **1**: 1–88.

ZASADY polskiej klasyfikacji, terminologii i nomenklatury stratygraficznej czwartorzędu, 1988 — *Instrukcje i Metody Badań Geologicznych*, **47**. Warszawa.

ISBN 83-86986-40-9