

ELŻBIETA MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO¹

PRÓBA REKONSTRUKCJI WARUNKÓW PALEOHYDRODYNAMICZNYCH WISŁY NA ODCINKU TARNOBRZEG-SANDOMIERZ

Palaeohydrodynamic conditions of Wisła river between Tarnobrzeg and Sandomierz

Treść: W oparciu o badania stratygraficzne i sedimentologiczne poparte wynikami analiz na węgiel radioaktywny opisano profil syntetyczny przez dolinę Wisły w okolicach Tarnobrzega. Wyjaśnienie wieku, ewolucji doliny oraz próba rekonstrukcji warunków hydrodynamicznych działających w czasie jej tworzenia są głównym tematem referatu.

Badania sedimentologiczne w dolinie Wisły w okolicach Tarnobrzega były prowadzone w oparciu o materiały z licznych wierceń z obszaru zagłębia siarkowego oraz analizę odsłoneń dwóch odkrywkowych kopalń siarki: w Piasecznie i Machowie, usytuowanych po dwóch stronach doliny Wisły.

Poniżej współczesnego dna doliny Wisły zachowana jest kopalna forma dolinna, której ewolucja i próba rekonstrukcji warunków hydrodynamicznych działających w czasie jej tworzenia są głównym tematem pracy.

W najgłębszej części kopalna dolina podcina na odcinku badanym krawędź zachodnią doliny współczesnej. Tworzy ona formę o maksymalnej głębokości 18 m i o spadku dna podobnym do współczesnej doliny (0,3‰, gdy we współczesnej dolinie — 0,4‰).

Kopalna dolina jest wycięta na całej szerokości w osadach miocenijskich (głównie ily krakowieckie). Najniższą jej część wypełnia seria żwirowa o maksymalnej miąższości 8 m. Wyżej przechodzi ona w serię piaszczysto-żwirową o średniej miąższości 2—3 m, która znów z kolei podściela serię piaszczystą (3—6 m miąższości) przykrytą lub przewarstwowaną w stropie osadami madowymi. Przejścia między seriami obserwowane po stronie zachodniej doliny są stopniowe, bez wyraźnych granic.

Wszystkie trzy wspomniane serie (za wyjątkiem pokrywy madowej) zbudowane są z osadów o skośnym warstwowaniu. W dolnej części żwirowej przeważają ławice o grubości około 0,5 m, ku górze średnia grubość ławic maleje sięgając w serii piaszczystej 5—10 cm.

W obrębie całej serii żwirowej i dolnej części piaszczysto-żwirowej notuje się liczne formy struktur mrozowych związanych z istnieniem wiecznej zmarzliny w czasie akumulacji wspomnianej serii (E. Mycielska-Dowgiałło, 1967). Wyróżniono tu dwa typy struktur: struktury szcze-

¹ Warszawa, ul. Krakowskie Przedmieście 30.
Instytut Geografii UW.

linowe i inwolucyjne. Szczątki roślin, na które natrafiono w tej serii, pochodzą z okresu $40\,700 \pm 2000$ lat BP (GrN 4868).

W serii żwirowej licznie spotykane są kości zwierzęce, głównie mamutów. Najliczniej występuje *Mammuthus primigenius*, który żył na tych terenach w okresie od 70 do 12 tysięcy lat BP (A. Krauss, E. Mycielska-Dowgiałło, K. Szczepanek, 1965).

Przedstawione wyżej dane wskazują, że akumulację serii żwirowej i piaszczysto-żwirowej należy łączyć z okresem ostatniego zlodowacenia aż po jego schyłek. W dotychczasowych pracach na temat osadów doliny Wisły z rejonu Tarnobrzega i górnej Wisły autorzy łączą wspomniane osady żwirowe ze schyłkiem interglacjału wielkiego lub początkiem zlodowacenia środkowopolskiego (M. Tyczyńska, 1963; J. Buraczyński, J. Wojtanowicz, 1966). W świetle przedstawionych wyżej danych wiek serii musi jednak ulec odmłodzeniu.

Aby naświetlić warunki istniejące w czasie akumulacji tych serii, wykonano szereg analiz i pomiarów szczegółowych.

W obrębie serii żwirowej i piaszczysto-żwirowej spotyka się nieregularnie rozrzucone w osadzie wielkie bloki skalne. Ich rozmiary sięgają niekiedy 2,5 m średnicy. Są to w znacznej większości skały pochodzenia skandynawskiego i ich obecność w osadzie należy łączyć z denudacją pokryw morenowych na wyżynie i stokach doliny oraz transportem na krze lodowej w czasie powodzi wiosennych.

Seria żwirowa. Analizy granulometryczne serii żwirowej wykazały duży udział w niej frakcji żwirowej (35—60%). Stopień wysortowania jest bardzo słaby. Wynosi on według wzoru Traska (1932) średnio 3. Tak słabe wysortowanie i duży procent ziarn we frakcji powyżej 2 mm ϕ sugeruje znaczne szybkości prądu transportującego ten osad (A.V. Jopling, 1966; A. Sundborg, 1956). O ile przyjąć, że wspomniana frakcja (≥ 2 mm ϕ) była cała transportowana jako materiał wleczony po dnie to odczytując z krzywej Sundborga szybkości prądu musiały sięgać lub przewyższać 80 cm/sek. O ile uwzględni się, że część z tego materiału była unoszona w masie wody, szybkości przepływu musiały być jeszcze wyższe.

Wskaźnik obtoczenia obliczony na podstawie wydzielenia 3 i 4 klas obtoczenia metodą binokularową i dzięki zastosowaniu graniformametri spychaczowego wykazał słabe obtoczenie ziarn serii żwirowej. Niska wartość wskaźnika obtoczenia we frakcji 0,1—0,2 mm zdaje się wskazywać, że osad tej serii stanowi zwietrzelinę, która nie podlegając długotrwałym procesom obróbki eolicznej była stosunkowo szybko zmywana i osadzana w rzece.

Analiza stopnia zmatowienia ziarn nie wykazała różnic w obrębie trzech wyróżnionych serii. Widoczne jest jedynie zwiększenie ilości ziarn matowych wraz ze wzrostem ich średnicy.

Analizy petrograficzne (we frakcji 0,5—0,8 mm) wykazały zawartość w serii żwirowej 85—86% kwarcu, 9—12% okruchów skał krystalicznych, 2—3% okruchów litytów i 1% skaleni. Znaczny procentowy udział okruchów skał krystalicznych (malejący w wyższych seriach) wskazuje na bezpośrednio pochodzenie osadu żwirowego ze zwietrzelin pokryw plejstocenijskich dostępnych w tym okresie dla działalności procesów denudacyjnych.

W wyróżnionych seriach wykonano szereg pomiarów kierunków i stopnia nachylenia lamin w obrębie ławic. Poszczególne pomiary starano się zlokalizować w punkcie możliwie bliskim osi korytowej formy ławicy, aby

otrzymać kierunek rzeczywisty prądu (J.C. Harms, et al., 1963). Stosunkowo mały rozrzut kierunków w obrębie serii żwirowej wskazuje na szybki spływ wód zbliżony do kierunku prostoliniowego.

Druga z wyróżnionych serii: piaszczysto-żwirowa ma wyraźnie charakter pośredni między serią żwirową a wyżej leżącą serią piaszczystą. Widać tu duże zróżnicowanie w składzie granulometrycznym. Obok ławic żwirowych o słabym wysortowaniu ($S_o = 4$) występują ławice piaszczyste z wyraźnym maksimum ziarn we frakcji 0,25—0,4 mm i dobrym wysortowaniu. Stopień obtoczenia jest na ogół wyższy niż w obrębie serii żwirowej. Do poziomu 7 m (od powierzchni) notuje się występowanie w tej serii form mrozowych świadczących o obecności wiecznej zmarzliny.

Analizy petrograficzne wykazały większy udział w serii piaszczysto-żwirowej ziarn kwarcowych (89—90%) kosztem zmniejszenia się ilości okruchów skał krystalicznych (3—7%). Ponadto, podobnie jak w serii żwirowej, istnieje domieszka ziarn lidytów (do 7%) i skaleni (1%).

Pomiary kierunków nachylenia lamin skośnych w obrębie ławic serii piaszczysto-żwirowej wskazują na stopniowe poszerzanie się wachlarza kierunków spływu. Rosnący udział kierunków w sektorze wschodnim, notowany w zachodniej części doliny, świadczy o stopniowym spychaniu wód pod krawędź wschodnią. Zostało to przypuszczalnie spowodowane narastaniem stożków napływowych rzek spływających z Wyżyny Sandomierskiej.

W obrębie obu omówionych serii nie notuje się śladów koryt rzecznych czy starorzeczy. Widoczne jest stopniowe narastanie osadu bez śladu erozji wgłębnej. Ten typ osadu należy łączyć z akumulacją tzw. rzeki dzikiej czy warkoczowej, którą charakteryzuje dodatni bilans aluwiów (większy dopływ rumowiska niż zdolność jego odprowadzenia) (E. Falkowski, 1967). Przeciążenie rzeki rumowiskiem zmniejsza zdolność erozji bocznej, która ogranicza się jedynie do bocznego niszczenia sypkich, nie utrwalonych jeszcze, złożonych poprzednio aluwiów (H.N. Fisk, 1947). W czasie akumulacji serii żwirowej i piaszczysto-żwirowej erozja boczna była ograniczona nie tylko nadmiernym doływem rumowiska, ale również stale zamrożonym podłożem. Dopiero po ustąpieniu wiecznej zmarzliny (okres akumulacji górnej części serii piaszczysto-żwirowej) obserwuje się erozję boczną wód i poszerzanie doliny na wschód.

Najwyżej leżąca seria piaszczysta najdalej odbiega swym charakterem i wykształceniem osadów od omówionych już dwóch serii. Budują ją drobne ławice piasków średnio- i drobnoziarnistych, dobrze wysortowanych i dobrze obtoczonych. Wysoki stopień obtoczenia we frakcji 0,1—0,2 mm świadczy, że ziarna tej serii przeszły już obróbkę eoliczną i w rzece są na wtórnym złożu. Skład petrograficzny tej serii przypomina niżej leżącą serią piaszczysto-żwirową. Pomiary kierunków nachylenia lamin skośnych wykazują dalsze zwiększenie ich rozrzutu. Było to przypuszczalnie spowodowane dalszym spychaniem wód Wisły pod krawędź wschodnią oraz zmianą charakteru odpływu rzeki. W obrębie serii piaszczystej zachowane są liczne kopalne koryta rzeczne oraz starorzecza wskazujące na przejście od rzeki dzikiej do meandrującej.

W jednym z kopalnych koryt po stronie zachodniej doliny (w kopalni Piaseczno) znaleziono osady torfowe. Analiza na węgiel radioaktywny wykazała wiek 9070 ± 90 lat BP (GrN-4867), czyli okres preborealny holocenu. Przypuszczalnie więc zmiana charakteru odpływu była związana z początkiem holocenu. W związku ze zwiększeniem się gęstości pokrywy roślinnej zmienił się bilans aluwiów na ujemny, co spowodowało wcinanie się rzeki i wytworzenie się silnie meandrujących koryt rzecznych.

Najmłodszy etap rozwoju doliny jest notowany pod krawędzią wschodnią, gdzie w starorzeczu podcinającym tę krawędź, w spągu serii piaszczystej, w poziomie około 6 metrów od powierzchni występują wielkie pnie dębów. Analiza na węgiel radioaktywny wykonana z trzech punktów z przekroju jednego pnia wykazała wiek 2060 ± 35 lat BP (GrN-5789) ze środka pnia, 2030 ± 35 lat BP (GrN-5814) — z punktu pośredniego w przekroju pnia, i 1850 ± 35 lat BP (GrN-5790) z zewnętrznej partii pnia. Wskazuje ona na włożenie w staroholocenijską serię piaszczystą, budującą stropową część zachodniej części doliny, młodo holocenijskiej serii piaszczystej po jej stronie wschodniej.

Również świadczy to o stopniowym przesuwaniu się w czasie holocenu głównego koryta rzeki pod krawędź wschodnią co powodowało wzmożoną erozję boczną tej krawędzi oraz stałe poszerzanie się doliny ku wschodowi.

Pozostaje jeszcze do wyjaśnienia kwestia, dlaczego w kopalnej dolinie, której spadek był podobny dzisiejszej Wiśle, były składane osady żwirowe, gdy dziś przeważają mułki i piaski.

Decydujące znaczenie miały prawdopodobnie warunki klimatu peryglacjalnego o typie kontynentalnym, które panowały na tym terenie w czasie akumulacji serii żwirowej i przeważającej części piaszczysto-żwirowej.

Opierając się na pracach P a r d é g o i D a w i d o w a przeprowadzono porównanie wartości odpływów jednostkowych ($1/\text{sek}$ z km^2) rzek współczesnej strefy wiecznej zmarzliny o kontynentalnym klimacie i rzek klimatów umiarkowanych (L. K. D a w y d o w, 1955, M. P a r d é, 1957). Rząd wartości odpływów jednostkowych w obu tych reżimach rzecznych jest podobny, waha się w granicach 5—10 $1/\text{sek}$ z km^2 . To podobieństwo jest spowodowane obecnością nieprzepuszczalnego podłoża wiecznej zmarzliny i niską intensywnością parowania w strefie zimnej, które sprawiają, że suma opadów znacznie wprawdzie niższa w tym klimacie niż w strefie klimatów umiarkowanych dostaje się prawie w całości do rzek, wykazując małe straty ilościowe.

O ile porówna się dwie rzeki dwóch wspomnianych stref klimatycznych o podobnych wielkością i rzeźbą zlewniach, to całkowity ich odpływ roczny jest zbliżony. Zasadniczą różnicę stanowi jego rozkład roczny. W rzekach klimatu umiarkowanego odpływ rozkłada się na cały rok, gdy tymczasem w strefie zimnej notuje się wyjątkowo niskie stany zimowe i dużą siłę oraz krótkotrwałość wezbrań wiosennych (S.P. S u s ł o w, 1961).

Aby poznać przybliżone warunki reżimu wodnego Wisły w okresie peryglacjalnym, przeprowadzono porównanie jej z dwoma rzekami wschodnio syberyjskimi (Chatanga i Anabar), które wielkością odpływu rocznego i rzeźbą swych dorzeczy zbliżone są do Wisły. Znajac całkowity przepływ roczny Wisły na odcinku badanym (w Sandomierzu 9325 mil. m^3) przeprowadzono porównanie z wspomnianymi wyżej rzekami i otrzymano przypuszczalne wartości przepływu w ciągu czerwca w Wiśle peryglacjalnej wahające się w granicach od 2 133 560 tys. m^3 do 5 408 500 tys. m^3 wody oraz średnią objętość przepływu od 823 m^3/sek do 2087 m^3/sek . Przy tych średnich objętościach przepływu średnie szybkości spływu wód w obrębie współczesnego koryta (zanotowane w okresie absolutnego maksimum przepływu) wahają się w granicach od 0,9 m/sek do 1,2 m/sek .

Brak zachowanych koryt rzecznych w obrębie serii żwirowej i piaszczysto-żwirowej nie pozwala ustalić powierzchni przekroju koryt, którymi płynęły wody w okresach maksimum letnich Wisły peryglacjalnej i mimo znanego spadku rzeki i orientacyjnej masy wody trudno określić dokładne granice prędkości. Pomimo to jednak wartość uzyskana z krzy-

wej Sundborga w oparciu o wyniki analiz granulometrycznych serii żwirowej ($\geq 0,8$ m/sek), a zbliżona do wartości podanych wyżej ze współczesnej Wisły zdaje się wskazywać, że szybkości wód Wisły peryglacialnej w okresach wiosenno-letnich roztopów musiały być znaczne, wahające się około 1 m/sek. Tym należy tłumaczyć fakt, że w dolinie o stosunkowo małym spadku, w której dziś odkładają się mady i piaski, w okresie zlodowacenia bałtyckiego osadzały się żwiry. Było to spowodowane wysokimi i krótkotrwałymi przepływami roztopowymi i letnimi, powodującymi znaczne szybkości prądu, jak również brakiem zwartej pokrywy roślinnej i występowaniem zwietrzliny odsłoniętej na procesy zmywania. Zwietrzlina ta stanowiła główne źródło materiału akumulowanego w rzece. Stopniowe przechodzenie od serii żwirowej do piaszczysto-żwirowej należy tłumaczyć zmniejszaniem się szybkości rzeki na skutek stopniowego poszerzania się dna doliny.

WYKAZ LITERATURY

REFERENCES

- Buraczyński J., Wojtanowicz J. (1966), Rozwój doliny Wisły i Sanu w czwartorzędzie w północnej części Niziny Sandomierskiej. *Ann. UMCS*, 21, 7, sec. B.
- Dawydow L.K. (1955), *Gidrografija SSSR*. cz. II. Leningrad.
- Falkowski E. (1967), Ewolucja holocenijskiej Wisły na odcinku Zawichost-Solec i inżyniersko-geologiczna prognoza jej dalszego rozwoju. *Biul. Inst. Geol.*, 198.
- Fisk H.N. (1947), Fine-grained alluvial deposits and their effects on Mississippi River activity. *Waterways Expt. Station*. Vicksburg.
- Harms J.C., Mac Kenzie D.B., Mc Cubbin D.G. (1963), Stratification in modern sands of the Red River, Louisiana. *J. Geol.*, 5.
- Jopling A.V. (1966), Some principles and techniques used in reconstructing the hydraulic parameters of paleo-flow regime. *J. Sediment. Petrol.*, 36, 1.
- Krauss A., Mycielska-Dowgiałło E., Szczepanek K. (1965), Wstępne wyniki badań nad wiekiem osadów doliny Wisły pod Tarnobrzegiem. *Prz. geol.*, 6.
- Mycielska-Dowgiałło E. (1967), Formy szczelinowe i inwolucyjne w piaskach i żwirach doliny Wisły pod Tarnobrzegiem. *Biul. Perygl.* 16.
- Pardé M. (1957), *Rzeki*. Warszawa.
- Sundborg A. (1956), The river Klarälven, a study of fluvial processes. *Ann. Stockholm* 38.
- Susłow S.P. (1961), *Geografia Fizyczna Azjatyckiej części ZSRR*. Warszawa.
- Trask P.D. (1932), *Origin and Environment of Source Sediments of Petroleum*. Houston, Gulf Publ. Co.
- Tyczyńska M. (1963), The Old Valley of the Upper Vistula. *Bull. Acad. Polon. Sc.* 11, 4.

SUMMARY

The fossil valley is preserved below the recent Wisła sediments. Its maximum depth amounts to 18 m and the bottom gradient is cognate to the recent one. The valley is filled with three sedimentary units. In stratigraph-

ical order they are: gravel, sandy-gravel and sandy series. Diagonal bedding is present in all these sediments.

In the first series and in the lower part of the second numerous frost structures are found. The radiocarbon analysis of plant remains present in the lowermost series shows that they were accumulated in the Baltic glaciation stage (40.700 ± 2.000 years BP). The same age is indicated by the bone remains. Bad sorting and large content of gravel fraction indicate rather considerable velocity of the currents. Low roundness index of grains and relatively large number of crystalline rocks suggest the weathering cover as source material for the gravel. Diagonal bedding shows small scattering of flow direction, which is characteristic for braided rivers. In this series no fossil river beds were found.

In the sandy series the grains are well rounded and sorted. Considerable scattering of paleocurrent directions and preserved dead channels are indicative of meandering waters. By C^{14} analysis of peat filling one of the dead channels the series was found to belong to preboreal period of Holocene (9.070 ± 90 years BP).

The youngest stage of development is noted in a dead channel undercutting the slope of the valley where oak stems 6 m deep from the surface were found. Their age was estimated to be 1850 ± 35 years BP.

In the recent and fossil Wisła valleys which do not differ much in the bottom gradient, quite different sediments were accumulated: sand and muds in the former and gravel in the latter. The author concludes that the total yearly outlet of the recent Wisła is adequate to the outlet existing in the Baltic glaciation stage and the difference consists only on its seasonal distribution.

In the periglacial climate of the last glaciation the accumulation of gravels and sands were caused by the concentration of high waters in the short period of spring thaws.

translated by K. Pasierbiewicz

Uwaga autorki: Powyżej przedstawiony materiał stanowi streszczenie szerszych opracowań autorki, które ukazały się w *Przeglądzie Geograficznym* (1969, z. 3, 1972 z. 1).