

Andrzej Karol TEISSEYRE\*

## WSPÓŁCZESNE PROCESY RZECZNE W DORZECZU GÓRNEGO BOBRU I STRZEGOMKI (SUDETY ŚRODKOWE)

### SPIS TREŚCI

|  |     |
|--|-----|
| Streszczenie . . . . .   | 93  |
| Wstęp . . . . .  | 93  |
| Ogólna charakterystyka badanych rzek . . . . .   | 95  |
| Meandrowanie — opis zjawiska i wnioski genetyczne . . . . .  | 96  |
| Meandrowanie a wegetacja roślinna . . . . .  | 99  |
| Współczesna sedymentacja rzeczna . . . . .   | 101 |
| Problemy regulacji rzek meandrujących . . . . .  | 103 |
| Wnioski końcowe . . . . .  | 104 |
| Literatura . . . . .   | 105 |
| Recent fluvial processes in drainage-basins of the upper Bóbr and Strzegomka Rivers in the Central Sudetes (summary) . . . . . | 107 |

### Streszczenie

Górny Bóbr oraz Strzegomka wraz z ich głównymi dopływami mają charakter górskich, żwironośnych rzek meandrujących co najmniej od początku okresu historycznego (XII—XIV w.). Nowe meandry powstają w dolinach tych rzek także współcześnie, głównie kosztem odcinków prostych, które są najbardziej niestabilne.

Wzdłuż średniego biegu Lesku (prawoboczny dopływ Bobru) stwierdzono pojawienie się dobrze wykształconych meandrów powstających w ciągu ostatnich 50 lat w miejscu sztucznego, wadliwie uregulowanego koryta prostego. Zjawisko to, obserwowane także w innych badanych dolinach, wskazuje, że tak zwany „cykl meandrowy” może mieć istotnie miejsce, przynajmniej w quasi-naturalnym środowisku, częściowo kontrolowanym przez człowieka. Najlepszą miarą aktyw-

ności meandrów jest stosunek promienia zakola do szerokości koryta meandrującego (wskaźnik  $r_m/w_m$ ). Stwierdzono, że koryta meandrujące osiągają największe wartości migracji bocznej, gdy stosunek ten zawarty jest w przedziale 2,5—5. Szybkość migracji bocznej badanych meandrów waha się w granicach 0,002—1,2 m/rok. Oprócz innych czynników szybkość migracji bocznej zależy w dużej mierze od szybkości zarastania łąch meandrowych i naturalnych koryt przelewowych.

Najkorzystniejsza regulacja meandrujących rzek górskich polega na budowaniu progów, utrwalaniu istniejących, dojrzałych zakoli i zapewnieniu drożności łąch meandrowych, a w szczególności znajdujących się na nich naturalnych koryt przelewowych.

### WSTĘP

Badania współczesnych procesów rzecznych w dorzeczu górnego Bobru i Strzegomki (fig. 1) zostały zapoczątkowane w roku 1965. Systematyczne badania wybranych odcinków naturalnych prowadzi autor od roku 1971. W okresie tym nagromadziło się sporo materiału obserwacyjnego, którego syste-

matyczne opracowanie będzie wymagało jeszcze pewnego czasu. Artykuł niniejszy stanowi więc niejako próbę wstępnego podsumowania osiągniętych wyników. Dokładne zestawienie materiału obserwacyjnego, którego część może mieć znaczenie praktyczne, wymagać będzie osobnych opracowań.

\* Instytut Nauk Geologicznych Uniwersytetu Wrocławskiego, ul. Cybulskiego 30, 50-205 Wrocław.

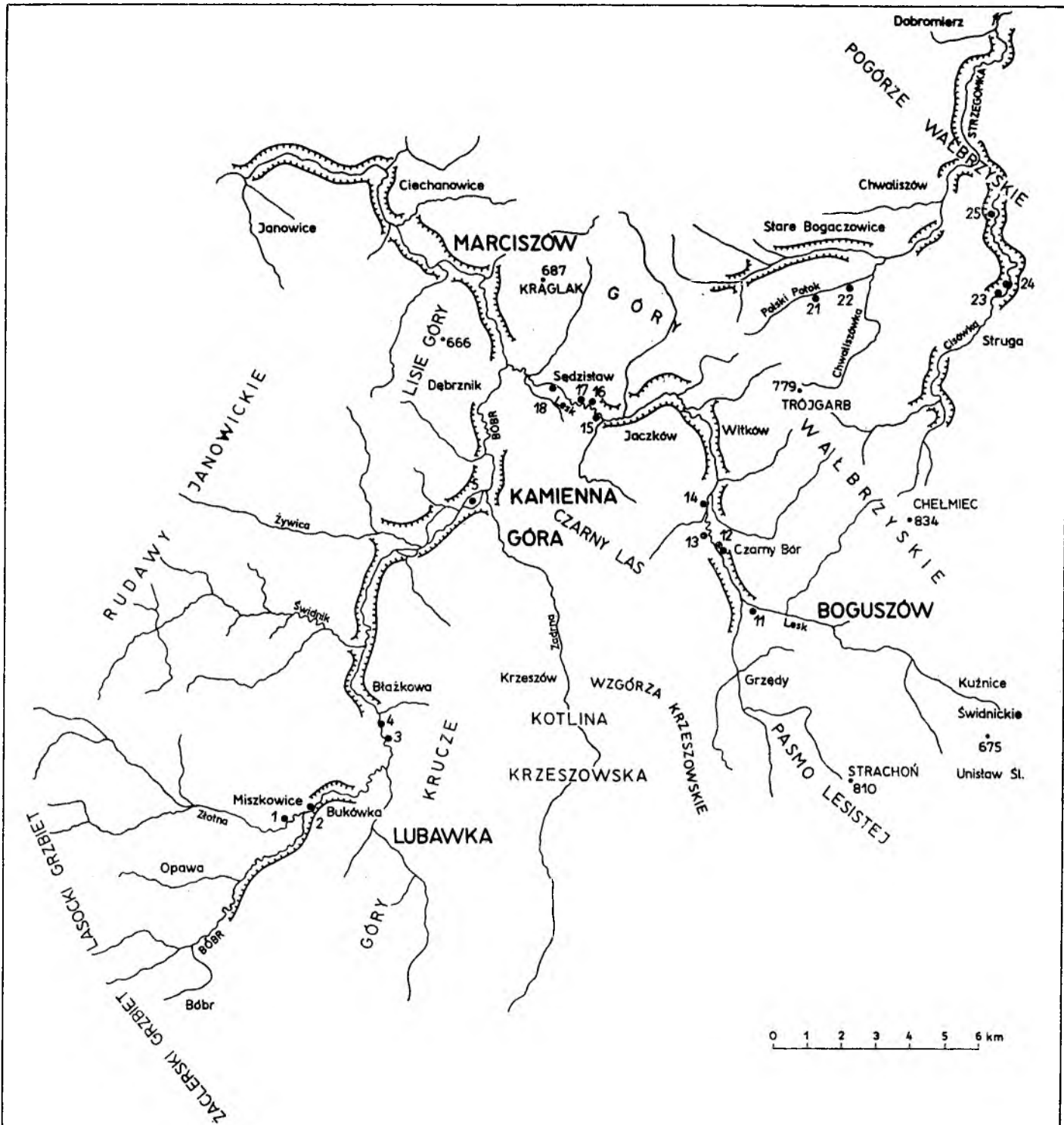


Fig. 1

Mapa dorzeczy górnego Bobru i Strzegomki (Sudety Środkowe). Na mapie zaznaczono główne odcinki przełomowe oraz lokalizację punktów obserwacyjnych omawianych w tekście

Map of drainage basins of the upper Bóbr and Strzegomka Rivers in the Central Sudetes. Shows main gorges and the location of points described in the text

Wybór obszaru badań nie był przypadkowy. Chodziło bowiem o poznanie współczesnych procesów rzecznych na przykładzie małych, górskich rzek meandrujących, niosących głównie żwir. O ile bowiem duże rzeki nizinne doczekały się wyczerpującego zbadania i opracowania, że wymienię tylko takie podstawowe pozycje, jak Leopolda i współpracowników (1964), Schumma (1968), Allena (1965a, b; 1970), Reinecka i Singha (1973) oraz Gradzińskiego (1973), to literatura dotycząca małych, górskich rzek meandrujących przedstawia się raczej skromnie. Poprawę daje się zauważyć dopiero w latach ostatnich (McGowen i Garner 1970, Ackers i Charlton 1970, Bluck 1971, Daniel 1971, McDonald i Lewis 1973 i inni). Z drugiej strony, pewne zjawiska obserwowane przez autora w górskich rzekach meandrujących są zbliżone do zjawisk opisywanych z typowych rzek roztokowych, zwłaszcza przez Krigströma (1962), Rusta (1972), Klimka (1972), Smitha (1974), Blucka (1974) i wielu innych. Przede wszystkim jednak, nieocenioną pomocą było dla autora wzorowe i nowoczesne opracowanie geomorfologiczno-sedymentologiczne rzek prowincji Yukon, opublikowane przez McDonald'a i Lewis'a (1973). W końcu nie sposób pominąć wyników najnowszych badań terenowych, teoretycznych i laboratoryjnych, dotyczących zjawiska meandrowania i form akumulacyjnych właściwych rzekom meandrującym. Należą tu zwłaszcza opracowania Collinsona (1970), Schumma i Kahna (1972), Engelunda i Skovgaarda (1973), Engelunda (1974, 1975), Bridge'a (1975), Parkera (1975) oraz Hooke'a (1974, 1975). W Polsce zjawiska fluwialne i młode osady rzek górskich badane są przede wszystkim w Karpatach (Materiały Terenowej Konferencji Naukowej 1976).

Dający się przez wiele lat odczuć brak wyraźnego postępu w zakresie hydrodynamiki i sedymentologii rzek górskich stwarzał duże trudności w badaniach

nad kopalnymi osadami małych, śródgórskich basenów sedymentacyjnych, jakich resztki zachowały się tak licznie w paleozoiku i mezozoiku Sudetów Środkowych i Zachodnich. Z pewnością też przynajmniej niektóre z tych basenów były zasilane, a zwłaszcza drenowane przez małe rzeki o dużej krętości (Dziedzic 1968, 1971; A. K. Teisseyre 1975a). Autor jest przekonany, że istnieją szerokie możliwości porównawczych badań sedymentologicznych nad osadami współczesnymi i wspomnianymi utworami kopalnymi. W pierwszym etapie badania takie można z powodzeniem prowadzić analizując zjawiska i formy akumulacyjne w kategoriach ustroju prądu (ang. flow regime; por. Visser 1965). Co więcej, w przypadku określonych struktur sedymentacyjnych możliwe są nawet daleko idące rekonstrukcje paleohydroliczne (Jopling 1965; Hand *et al.* 1969 i inni).

Dodatkową podniętą do podjęcia badań współczesnych procesów rzecznych był fakt występowania na omawianym obszarze licznych odcinków koryt naturalnych. Niektóre z nich zachowały się w stanie prawie pierwotnym, inne pozostawione same sobie powróciły niebawem do takiego właśnie stanu. Badaniami objęto oczywiście także współczesne formy akumulacji rzecznej oraz utwory holocenijskie odsłaniające się w skarpach podcinanych przez pętle meandrowe. Charakterystykę osadów czwartorzędowych i opisy geomorfologiczne omawianego terenu opublikowali między innymi: H. Teisseyre (1952), Radwański (1954) i Szczepankiewicz (1954). Syntetyczne opracowanie czwartorzędu Sudetów wraz z zestawieniem bogatej literatury przedmiotu podał Jahn (1960). W posiadaniu autora znajduje się ponadto nie ukończony rękopis H. Teisseyre'a, dotyczący morfologii i utworów czwartorzędowych Sudetów Wałbrzyskich. Zasadniczy zrąb tej pracy powstał w latach 1946–1952.

## OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA BADANYCH RZEK

Szczegółowe obserwacje sedymentologiczne i geomorfologiczne prowadzone są w korycie Bobru powyżej Janowic Wielkich, wzdłuż Lesku stanowiącego najważniejszy prawoboczny dopływ górnego Bobru oraz w dolnych odcinkach Złotnej, Świdnika i Żywicy stanowiących jego dopływy lewobrzeżne. Wszystkie te rzeki mają charakter górskich rzek żwironośnych i odznaczają się znaczną przewagą obciążenia dennego nad zawieszinowym. Spadki hydrauliczne badanych odcinków wahały się w przedziale 0,002–0,03. Przepływ w badanych odcinkach zmieniał się w szerokich granicach od około 0,01 do

10 m<sup>3</sup>/sec przy niskim stanie wody. Przepływ powodziowy niejednokrotnie przekracza te wartości 40–60 razy lub więcej. Powodzie zdarzają się zwykle wiosną (marzec–maj), w lecie (czerwiec–lipiec) lub w jesieni (listopad–grudzień). Wezbrania jesienne są zwykle drugorzędne (jeśli idzie o natężenie przepływu). Z wyjątkiem najbardziej gwałtownych przyborów wody, przepływ w badanych rzekach ma charakter zbliżony do naturalnego, a jedyny znajdujący się na omawianym obszarze zbiornik w Bukówce wykorzystywany jest tylko w wyjątkowych przypadkach. Jazy znajdujące się na Bobrze

i Lesku powodują na ogół niewielkie tylko zakłócenia przepływu. Natomiast dolne odcinki Żywicy, Świdnika i Złotej mają charakter naturalny.

Prawie na całym odcinku poniżej Bukówki Bóbr jest uregulowany. Szczęśliwym zbiegiem okoliczności regulacja przeprowadzona w sposób umiętny nie zatarła meandrującego charakteru tej rzeki. W wielu odcinkach Bobru stwierdzono powolną migrację boczną pętli meandrowych, mimo umocnienia ich zewnętrznego brzegu.

W wyniku regulacji rzeka Strzegomka uległa niemal całkowitemu przekształceniu. Zmniejszenie krętości koryta, połączone z budową licznych progów i jazów, prawie zlikwidowało tendencję do bocznego przesuwania się łóżyska rzeki, które na całej prawie długości biegu górskiego ma charakter sztuczny. W obrębie tego koryta można było więc obserwować jedynie tworzenie się współczesnych korytowych form akumulacyjnych oraz dokonywać pomiarów ułożenia żwirów. Doskonałe warunki do prowadzenia

badń sedymentologiczno-geomorfologicznych stwarza natomiast naturalny bieg dwu potoków — Chwałiszówki i Polskiego Potoku (pl. I). Stanowią one pierwsze, większe prawobrzeżne dopływy Strzegomki. Bardzo interesujące zjawiska można obecnie obserwować wzdłuż dolnego i środkowego biegu Cisówki (Czyżynki; pl. VII). Niestety, naturalne środowisko tego potoku ulega ostatnio szybkiej dewastacji na skutek regulacji prowadzonej nie zawsze w sposób umiętny.

Badania przeprowadzone przez autora objęły pomiary objętości przepływu i parametrów określających zakola rzeczne, zdjęcia stolikowe wybranych odcinków rzek oraz poszczególnych form akumulacyjnych, szczegółowe profilowanie odsłoniętych utworów holocenijskich, opis współczesnych form akumulacyjnych, pomiary szybkości migracji koryt, pomiary ułożenia żwirów oraz dokumentację fotograficzną. W stadium początkowym znajdują się szczegółowe badania granulometryczne i petrograficzne.

#### MEANDROWANIE — OPIS ZJAWISKA I WNIOSKI GENETYCZNE

Wszystkie badane rzeki należy ogólnie określić jako rzeki meandrujące (pl. I—III; V—VII). Krętość tych strumieni zmienia się jednak w szerokich granicach od około 1,125 do około 4. Regułą jest występowanie na przemian odcinków o większej i mniejszej krętości. Odcinki roztokowe (braided, termin polski wg Dżułyńskiego — wiadomość ustna) pojawiają się zwykle zupełnie lokalnie w takich miejscach, jak ujścia dopływów prowadzących gruby materiał denny, w niektórych odcinkach dolin przełomowych, gdzie zachodzi intensywna erozja, poniżej szypotów i kotłów erozyjnych, poniżej niektórych jazów, przy wyjściu z niektórych pętli meandrowych, a także w miejscu degenerujących meandrów (Teisseyre 1977).

Istnieje określona prawidłowość w rozmieszczeniu odcinków o dużej i małej krętości. W prawie każdej z badanych dolin rzecznych można wyróżnić odcinki przełomowe i przedzielające je partie o znacznie większej szerokości doliny. Odcinki przełomowe odznaczają się z reguły większymi spadkami hydraulicznymi, mniejszą średnią krętością koryt, a nawet tendencją do tworzenia roztok. Jest także charakterystyczne, że historyczna zabudowa miast i wsi ograniczona jest na badanym obszarze prawie wyłącznie do takich odcinków przełomowych, w których na wyższych terasach istniały lepsze warunki budowania, a niebezpieczeństwo powodzi i straty związane z migracją koryt były mniejsze.

Miasto Kamienna Góra (punkt 5, fig. 1) zostało na przykład lokowane na prawie niemieckim (1249)

w miejscu, gdzie Bóbr rozwidła się na kilka ramion w dolinie o charakterze przełomowym (wszelkie daty por. Hołubowicz, Maleczyński 1960). Z drugiej strony, odcinki szerokich dolin zalewowych były i często są niezamieszkałe, przynajmniej do połowy XIX w. (pl. I, 1, 3). Odznaczają się one mniejszymi spadkami hydraulicznymi, większą krętością koryt ustawicznie migrujących w obrębie płaskiego terasu zalewowego. Studium utworów holocenijskich wskazuje, że przynajmniej w czasach historycznych obszary rozszerzeń dolinnych odgrywały rolę naturalnych basenów powodziowych i z pewnością były często zalewane (pl. VI). Potwierdzają to obserwacje warstw mad, których miąższość związana z pojedynczymi epizodami sedymentacyjnymi może dochodzić w typowych obszarach pozakorytowych do co najmniej kilkunastu cm.

Wzdłuż Lesku istnieją na przykład następujące odcinki doliny: basen powodziowy Sędziszawia (brak zabudowy), odcinek przełomowy Jaczków—Witków (dwie wsie historyczne), basen powodziowy Czarnego Boru (brak zabudowy, z wyjątkiem ruin zamku wodnego, czyli tzw. nizinnego z XIV w.), odcinek przełomowy górnego Czarnego Boru (wieś historyczna), basen powodziowy Grzęd (brak zabudowy) oraz wąskie, wcięte doliny w źródłowym obszarze Lesku (fig. 1).

W celu ilościowego opisu meandrów badanych rzek autor wykonał szereg szkiców, zdjęć stolikowych oraz zebrał dane pomiarowe. W szczególności

interesujące są wyniki pomiarów szerokości koryt meandrujących ( $w_m$ ) i promienia meandrów ( $r_m$ ), pozwalające na wyliczenie stosunku  $r_m/w_m$  oraz krętości (por. Hickin 1974; Hickin i Nanson 1975). Szerokość badanych koryt wahała się w przedziale 0,4–16 m. Stosunek  $r_m/w_m$  zmienia się natomiast w zakresie 1–20. Wskaźnik ten częściowo zależy od krętości (w przypadku idealnie regularnych meandrów jest to nawet zależność ściśle określona). Ponieważ jednak naturalne odcinki meandrujące bardzo rzadko składają się z regularnych pętli meandrowych, przeto wspomniana zależność nie jest prosta. Ogólnie biorąc, odcinki o małej krętości odznaczają się z reguły dużymi wartościami stosunku  $r_m/w_m$ . Natomiast w odcinkach o dużej krętości (2,5–3,5) wartość liczbowa tego stosunku zmienia się w dość szerokich granicach — zwykle w przedziale 1–6.

Podobnie jak w przypadku rzek amerykańskich badanych przez Hickina (1974) oraz Hickina i Nansona (1975), stosunek  $r_m/w_m$  wydaje się być idealną miarą aktywności, czyli szybkości migracji meandrów. Największą szybkość migracji bocznej wykazują meandry, których stosunek  $r_m/w_m$  wynosi 2–4, podobnie jak to stwierdzili Hickin i Nanson (*op. cit.*, str. 491–493). Szybkość migracji bocznej takich meandrów wynosi nierzadko 0,6–1,2 m/rok, szybkość migracji w dół doliny wydaje się być nieco mniejsza, choć także jest znaczna. W konsekwencji meandry te przesuwać się w dół doliny wzrastają jednocześnie szybko w kierunku bocznym (pl. I, 4; III, 2; VII, 2). Meandry, których stosunek  $r_m/w_m$  wynosi 2 lub mniej są z reguły mało aktywne lub nieaktywne (pl. II, 4). Zwykle przejawia się to zamieraniem erozji bocznej wzdłuż brzegu zewnętrznego, spłycając przegłębienie korytowe i złagodzeniem form brzegu zewnętrznego w wyniku spelzwywania i osuwisk. Z drugiej strony, łagodne łuki rzek ( $r_m/w_m =$  około 10–20) wykazują zwykle przejawy silnej, zlokalizowanej erozji, której nasilenie wzrasta w miarę jak stosunek ten maleje (fig. 2; pl. III; pl. IV, 1). Początkowo pojawiają się zwykle odosobnione nisze erozyjne atakujące brzeg zewnętrzny, na przykład w miejscach słabiej bronionych przez roślinność. Z reguły u stóp takich nisz wykształcają się przegłębienia korytowe (fig. 2), wpływające w sposób istotny na wzmocnienie tempa erozji, zwłaszcza w czasie wyższych stanów wód. Nawet w czasie niskiego stanu wód można w nich z reguły stwierdzić występowanie silnych wirów stacjonarnych, których kompetencja (competence) jest wystarczająca do transportowania piasku i drobnego żwirku. Przez połączenie poszczególnych nisz może wytworzyć się zaczątkowy meander (fig. 2c). W meandrach takich nie wystę-

puje wprawdzie zjawisko separacji prądu, niemniej mają one już wszystkie elementy „dojrzałych” meandrów, a mianowicie erodowany brzeg zewnętrzny, przegłębienie korytowe u stóp takiego brzegu, asymetryczny profil koryta i spiralny charakter przepływu, w końcu nadbudowywany brzeg wewnętrzny i zaczątki płaskiej łachy meandrowej (pl. II, 1; V, 1). Obserwacje zebrane przez autora wydają się wskazywać, że w zbliżony sposób naturalne lub sztuczne koryta proste mogą istotnie przeobrażać się w koryta kręte. Niekiedy proces ten przebiega bardzo prędko, jak na przykład w jednym z odcinków badawczych na Lesku w Czarnym Borze, gdzie w ciągu ostatnich 50 lat sztuczne koryto proste przeobraziło się w regularne meandry (fig. 3; pl. I, 2; II, 2; VI, 1, 2).

Na zakończenie słów parę o problemach szybkości migracji meandrów. Dane dendrochronologiczne (oparte na wieku roślinności) oraz prowadzone przez autora pomiary położenia różnych naturalnych reperów wskazują, że szybkość migracji bocznej omawianych rzek waha się w granicach 0,002–1,2 m/rok. Najszybciej rosną w bok dojrzałe, regularne meandry, których wskaźniki  $r_m/w_m$  wynoszą 2,5–5. Jednocześnie pomiary prowadzone wzdłuż brzegów umocnionych oraz mostów i innych budowli inżynierskich wskazują, że mimo umocnienia zakoli drzewami i dużymi blokami skalnymi brzegi te również cofają się z szybkością około 0,02–0,03 m/rok. Cofanie to trzeba więc wyrównywać systematycznym nadsypywaniem brzegu.

Jak wszędzie, migracja meandrów jest zjawiskiem kierunkowo zróżnicowanym. Ogólnie biorąc różniamy migrację boczną (wzrost „na amplitudę”) i migrację w dół doliny (wzrost w fazie). Jeżeli szybkość migracji meandrów w tych dwu kierunkach jest w przybliżeniu równa, powstają regularne meandry stopniowo przesuujące się w dół doliny (pl. I, 2; II, 3; III, 1, 2; V, 4; VI, 2; VII, 2). Silniejszy wzrost w fazie prowadzi do powstania asymetrycznych meandrów haczykowatych (pl. II, 2; III, 4; fig. 2).

W przypadku pętli o dużej krętości pojawia się także migracja w górę doliny, co prowadzi w konsekwencji do degeneracji odcinka na skutek przecięcia szyi meandrowej (neck cut-off degeneration, fig. 2g). Degeneracja taka jest właściwa odcinkom dolin o stosunkowo małym spadku i dużej krętości strumieni. Z drugiej strony, w odcinkach o dużym spadku i mniejszej krętości (1,3–2) obserwuje się często degenerację wywołaną częściowym i powtarzającym się odcinaniem pętli meandrowych (chute cut-off degeneration, Teisseyre 1977; pl. IV; fig. 2f).

Przechodząc do zagadnień genetycznych nie sposób w tym krótkim artykule przedyskutować tak złożony problem, jakim jest meandrowanie rzek

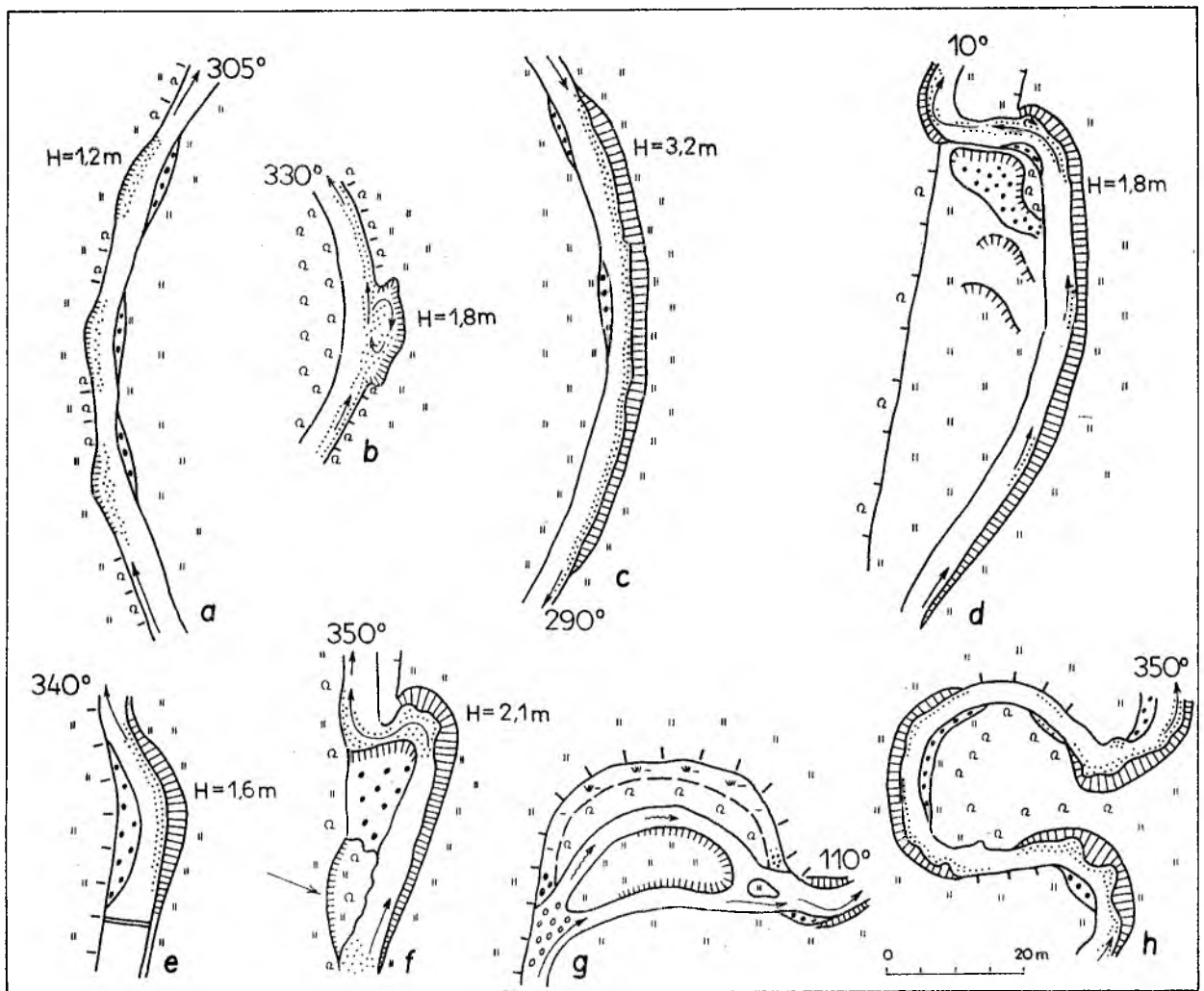


Fig. 2

## Szkice ilustrujące rozwój odcinków krętych

*a* – zlokalizowane podcięcia erozyjne (wysokość skarpy = 1,2 m) wzdłuż sztucznego koryta Bobru powyżej Błażkowej (punkt 4). Krętość koryta około 1,3. W pobliżu podcinanych skarp utworzyły się przegłębienia korytowe (kropki), przy brzegu wewnętrznym – wynurzone łachy żwirowe (czarne punkty); *b* – nisza erozyjna w brzegu zewnętrznym umocnionego meandra naturalnego, Bóbr powyżej Błażkowej (punkt 3). Krętość koryta około 1,35–1,50; *c* – wysoka skarpa wzdłuż sztucznego koryta Lesku w Sędziszawiu (punkt 18). Szybkość migracji bocznej koryta wynosi tu w ostatnich latach do 0,6 m/rok. Przy brzegu wewnętrznym tworzy się już łacha meandrowa. Krętość koryta około 1,3; *d* – haczykowata pętla na Lesku powyżej Witkowa (punkt 14). Widoczny zarys sztucznego, prostego koryta, podcinana skarpa, płaska łacha meandrowa z odsypami przelewowymi (chute bars) i nisza erozyjna w punkcie przegięcia koryta. Średnia szybkość migracji bocznej = 0,14 m/rok (ostatnio do 0,35 m/rok). Szybkość migracji w dół doliny co najmniej dwukrotnie większa; *e* – tendencja do meandrowania poniżej jazu, Lesk, Czarny Bór (punkt 12). Powstanie łachy żwirowej przy lewym brzegu łączy się z silną erozją brzegu prawego, w pobliżu którego utworzyło się przegłębienie korytowe; *f* – haczykowata pętla w sztucznym, prostym odcinku Lesku, Czarny Bór (punkt 12). Tendencja do meandrowania spowodowana osuwiskiem w górnej części pokazanego odcinka (strzałka); *g* – degeneracja odcinka krętego na skutek powtarzającego się częściowego odcinania pętli meandrowej, rzeka Złotna poniżej Miskowice (punkt 1). Widać trzy fazy degeneracji meandra, brzeg zewnętrzny nieaktywny; *h* – pętla meandrowa na dolnym Lesku poniżej Jaczkowa (punkt 16). Stadium bliskiej degeneracji na skutek przecięcia szyi meandrowej. Lokalna krętość koryta około 4,5. (Skala szkicu *g* powiększona około 1,5 raza)

## Showing the development of sinuous reaches

*a* – local cutting (height = 1.2 m) along artificial channel of the River Bóbr above Błażkowa (locality 4 in fig. 1). Channel sinuosity ca. 1.3. Note pools (dots) accompanying the cuttings and corresponding gravelly channel-edge bars at the inner bank (heavy black dots); *b* – erosional niche in the outer bank of protected natural meander, River Bóbr above Błażkowa (locality 3). Channel sinuosity ca. 1.35–1.50; *c* – high scarp along artificial channel of the Lesk Creek in Sędziszawiu (locality 18). The rate of lateral migration is actually up to 0.6 m/yr. A point bar has been forming at the inner bank. Channel sinuosity ca. 1.3; *d* – hook-shaped bend on the Lesk Creek above Witków (locality 14). Note traces of artificial straight channel and chute bars on the point bar. The mean rate of lateral migration is 0.14 m/yr (lately up to 0.35 m/yr). Downvalley migration of the erosional niche just below the axis of bend is at least twice the lateral migration; *e* – a tendency to meandering below weir, Czarny Bór, Lesk Creek, locality 12. The development of gravelly channel-edge bar at the left bank is accompanied by the formation of asymmetrical channel and cutting in the right bank. Note pool at the cutting; *f* – hook-shaped bend in artificial straight channel, Lesk Creek, Czarny Bór, locality 12. The bend has been growing owing to landslide just above it (arrow); *g* – chute cut-off degeneration of sinuous reach, Złotna Creek below Miskowice (locality 1). Note three stages of meander degeneration and inactive outer bank; *h* – meander loop on the lower Lesk Creek below Jaczków, locality 16. A stage approaching neck cut-off degeneration. Local channel sinuosity ca. 4.5. Scale of the sketch *g* 1.5 times greater)

górkich. W związku z tym wszystko, co zostanie powiedziane niżej ma charakter sugestii lub co najwyżej hipotez roboczych. W omawianej kwestii wielce pomocne okazują się wyniki najnowszych badań teoretycznych. Ostatnio między innymi Parker (1975) wykazał, że tendencja do meandrowania strumieni nadkrytycznych wiąże się z niestabilnością przepływu nadkrytycznego w korycie prostym (Engelund 1974, 1975). Inaczej mówiąc, meandrowanie jest naturalną formą przepływu nadkrytycznego, nawet jeżeli przepływ taki nie prowadzi żadnego obciążenia. Przepływ nadkrytyczny jest właśnie charakterystyczny dla wielu z badanych przez autora odcinków koryt rzecznych, a w korytach o większym spadku hydraulicznym jest w ogóle jedyną formą przepływu. Nie wdając się więc w szczegóły teorii przedstawionej przez Engelunda i Parkera przyjmujemy, że układ meandrujący jest najbardziej naturalną formą rzeki górskiej płynącej doliną aluwialną, czyli płaskodenną doliną z wykształconym terasem zalewowym. Przegląd materiałów kartograficznych (od wieku XVII), znajdujących się w zbiorach Instytutu Geograficznego Uniwersytetu Wrocławskiego wskazuje, że badane rzeki były w omawianym okresie zawsze rzekami meandrującymi. Jak zobaczymy później, istnieją wskazówki pozwalające przypuszczać, że meandrowanie omawianych rzek miało miejsce co najmniej od początku okresu historycznego.

Oczywiście, w procesie meandrowania omawianych rzek pewną rolę odgrywają z pewnością także i inne czynniki. Przede wszystkim chodzi tu o zmiany natężenia przepływu i obciążenia tych rzek, które w okresie historycznym dają się z grubsza przewidzieć. Niewątpliwie bowiem, zmiany związane z wylesieniem terenu i coraz intensywniejszą uprawą roli musiały spowodować zmiany przepływu (w kierunku zwiększenia jego nierównomierności) i zmianę

obciążenia (w kierunku wzrostu zawartości materiału drobnoziarnistego). Wypadkowy efekt współdziałania tych wszystkich czynników był taki, że w większości badanych dolin zdecydowanie przeważała tendencja do meandrowania. Skłonność do tworzenia roztok (przeciążenie strumieni) występuje obecnie tylko lokalnie. Również meandrowanie, dzisiejszych przynajmniej, rzek związane jest częściowo z oczywistym ich niedociążeniem, zwłaszcza w okresach średnich stanów i drugorzędnych wezbrań.

Upraszczając zagadnienie można też powiedzieć, że problem powstawania nowych odcinków meandrujących w dolinach rzek górskich jest do pewnego stopnia problemem „pierwszego zakola”. Obserwacje naturalnych i sztucznych odcinków prostych o dużym spadku hydraulicznym i skłonności do przepływu nadkrytycznego potwierdzają wnioski genetyczne Parkera (1975), co do niestabilności takich koryt i tendencji do przeradzania się w odcinki kręte. Wydaje się także, że owa naturalna tendencja może być w istotny sposób spotęgowana przez wydarzenia losowe, jakimi są na przykład obrywy któregoś z brzegów lub nierównomierny przebieg akumulacji w korycie (fig. 2e, f; pl. III, 1). Powoduje to odchylenie nurtu w stronę przeciwległego brzegu, gdzie z czasem (niekiedy bardzo krótkim) wytwarza się przegłębienie korytowe i erodowana skarpa. Rozwój erozji bocznej w takich miejscach prowadzi do powstania niszy erozyjnej, która z kolei może przeobrazić się w nowe zakole. Cechą charakterystyczną takich nisz i nowych zakoli jest szybka migracja w dół strumienia, przy wolniejszej migracji bocznej. Prowadzi to do powstania meandrów haczykowatych (fig. 2d; pl. II, 2; III, 4; V, 1). Meandry haczykowate występują albo samodzielnie, albo zapoczątkowują szeregi bardziej regularnych zakoli, jak na przykład w Czarnym Borze (fig. 3).

## MEANDROWANIE A WEGETACJA ROŚLINNA

Badania prowadzone przez Leopolda i współpracowników (1964) oraz Schumma (1968) spowodowały przewartościowanie wiedzy o charakterze zjawisk fluwialnych. Badaczom tym udało się wyrazić w formie matematycznej związek między takimi czynnikami, jak krętość, spadek hydrauliczny i zawartość drobnoziarnistego materiału w osadach dna i brzegów z podstawowym parametrem, jakim jest natężenie przepływu. Nie wchodząc tu w rozważania nad słusznością przyjętej przez wspomnianych autorów metody, ani nad zastosowalnością tak uzyskanych wzorów do małych rzek górskich (która wydaje się raczej wątpliwa) wypada zaznaczyć, że wymie-

nione parametry nie są jedynymi czynnikami, istotnymi dla zjawiska meandrowania. Takimi dodatkowymi czynnikami, zupełnie nie uwzględnionymi w tych wzorach, są: obecność, charakter i szybkość wzrostu szaty roślinnej w obrębie aktywnego koryta, a zwłaszcza na łachach meandrowych. Niewątpliwie, intensywne nawożenie pól w ostatnich dziesięcioleciach wytworzyło zjawiska negatywne, których rosnący wpływ łatwo daje się zauważyć. Użyźnienie wód rzecznych nie tylko spowodowało ich zagłonięcie, lecz wskutek znacznego użyźnienia mań wpłynęło na przyspieszenie wzrostu roślinności nadrzecznej. Obszarami szczególnie szybko zarastającymi są łachy



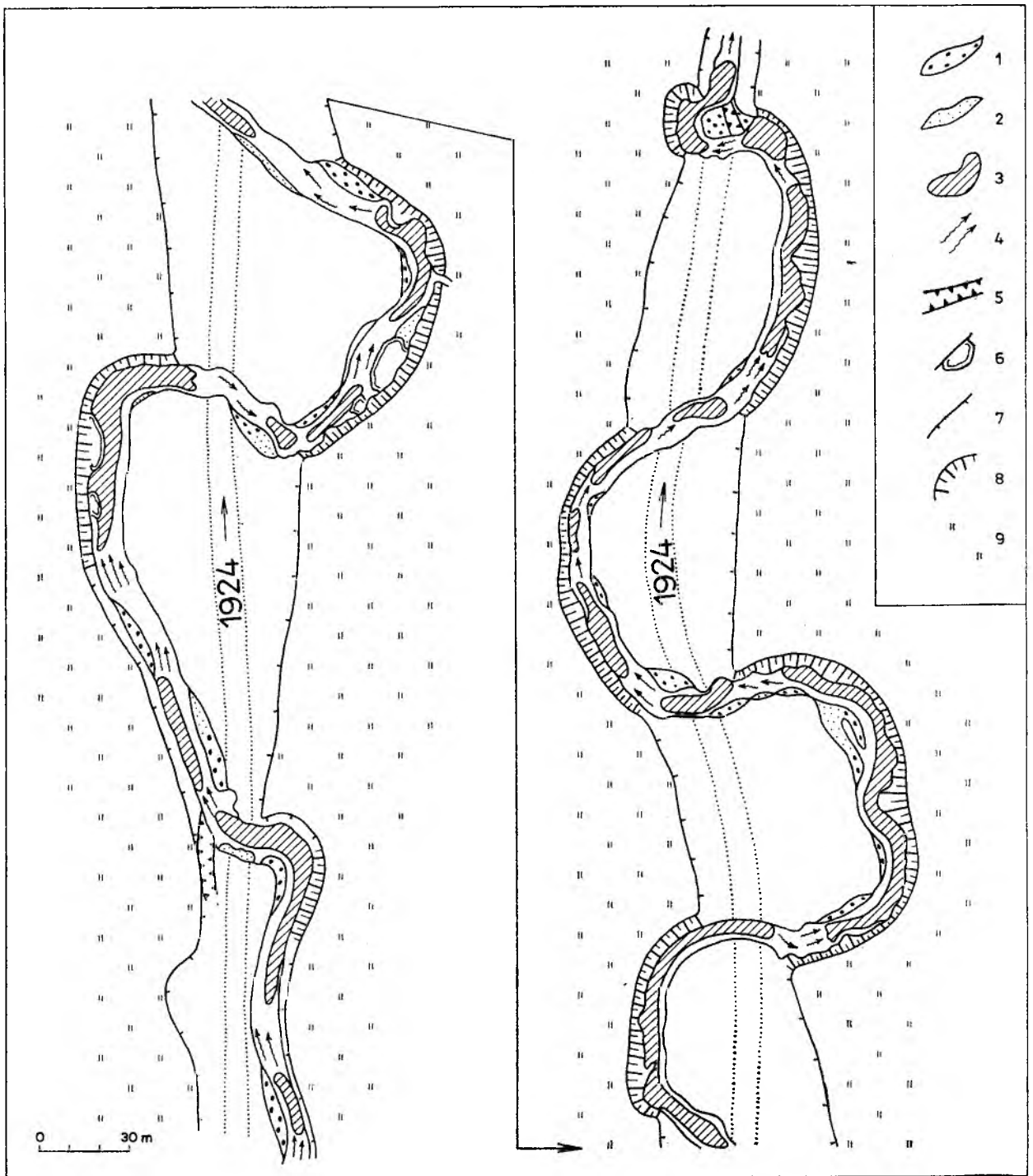


Fig. 3

Meandry na Lesku (stan 1976) w Czarnym Borze (punkt 13) powstałe w miejscu sztucznego koryta prostego (regulacja przed rokiem 1924)

1 - łachy żwirowe (64-300 mm); 2 - łachy piaszczyste i mułowe; 3 - przegłębienia korytowe; 4 - bystrzyki; 5 - naturalne koryta przelewowe; 6 - osuwiska; 7 - brzeg nieaktywny (częściowo sztuczny); 8 - aktywne skarpy; 9 - najniższa terasa (1,6-2,5 m). Łachy meandrowe nieszrafowane. Pierwsze i ostatnie meandry są typu haczykowatego

Meandering channel (1976) of the Lesk Creek at Czarny Bór (locality 13) developed at the expense of a straight artificial channel (river regulated before 1924)

1 - pebble-boulder bars; 2 - sandy and muddy bars; 3 - pools; 4 - riffles; 5 - natural chute channels; 6 - landslides; 7 - inactive banks (partly artificial); 8 - active cuttings; 9 - the lowest terrace (1.6-2.5 m). Point bars - unpatterned. Note that the first and last meanders are hook-shaped in plan



meandrowe i istniejące na nich naturalne koryta przelewowe. W miarę rozwoju gleby na podłożu platform meandrowych, zbudowanych z piasku i żwiru wkracza na te tereny roślinność, tworząc charakterystyczne „piętra”: *Germinae* → zespół *Urtica-Convolvulus-Arctium* → zarośla *Salix*. Gęste zarośla nadrzeczne hamują spływ wód powodziowych, zwłaszcza jeśli zarosną naturalne koryta przelewowe. Z drugiej strony, gęsta roślinność wyłapuje dużo drobnego materiału stanowiącego obciążenie zawieszinowe wód powodziowych, powodując tym samym wzmożone przyrastanie pionowe w obrębie łach meandrowych. Szybkie przyrastanie pionowe powierzchni tych łach jeszcze bardziej tamuje spływ wód powodziowych i tylko wyjątkowo silne powodzie są w stanie zniszczyć tę roślinność, przeważnie zagrzebując jej resztki pod odsypami przelewowymi (chute bars; pl. II, 3; V, 2, 3). Tamowanie spływu wód powodziowych powoduje z kolei bardzo przyspieszoną erozję brzegów zewnętrznych (pl. I, 4; II, 2, 3; III, 2, 3; V, 2, 3). Na dolnym Lesku, poniżej Jaczkowa, zanotowano największe szybkości migracji bocznej, wyno-

szące 1,2 m/rok w takich właśnie zarośniętych meandrach.

W jednym z badanych meandrów tego odcinka (punkt 16, fig. 1) łacha meandrowa, badana przez autora w roku 1971 i pozbawiona wówczas zupełnie roślinności, pokryta jest obecnie nieprzebytymi zaroślami wierzbowymi, podczas gdy brzeg zewnętrzny cofnął się co najmniej o 3,5 metra (średnia migracja boczna = 0,7 m/rok).

Z drugiej strony, zarośnięte i niedrożne łachy meandrowe są typowym miejscem tworzenia się wspomnianych odsypów przelewowych (chute bars). Skupiają się one głównie w pobliżu brzegu wewnętrznego zarośniętego roślinnością jednoroczną (pl. II, 3; V, 2, 3). Natomiast płaskie, trawiaste łachy meandrowe są miejscem dużo spokojniejszej sedymentacji powodziowej, z którą związane są zwykle niegrube łachy typu mikrodelty (miąższość do 0,3–0,5 m; pl. V, 1, 4). Istnieją wyraźne różnice między mikrodelkami a odsypami przelewowymi, omówienie ich wymagałoby jednak napisania osobnego artykułu.

## WSPÓŁCZESNA SEDYMENTACJA RZECZNA

Przebieg sedymentacji w obrębie szerokich, płaskodennych odcinków dolin (basenów powodziowych) jest łatwiejszy do studiowania ze względu na brak poważniejszych zakłóceń sedymentacji spowodowanych działalnością człowieka oraz brak zabudowy. Przeprowadzone badania wydają się wskazywać, że sedymentacja ta kontrolowana jest przez dwa główne czynniki: procesy fluwialne związane z działalnością rzeki głównej oraz zjawiska akumulacji na stożkach napływowych związanych z dopływami. Znaczenie tego drugiego czynnika zostało już zaznaczone przez Jahna (1960).

Oddziaływanie rzeki głównej zaznacza się zwykle w ten sposób, że stok w obrębie naturalnego odcinka doliny płaskodennej opada łagodnie na zewnątrz aktualnego koryta. Jest to oczywisty wynik zróżnicowanego przyrastania pionowego osadów pozakorytowych w strefie teras zalewowych. Przyrastanie to jest z reguły szybsze w części teras bliższej korytom i maleje w miarę oddalania się od aktywnych koryt. W związku z takim mechanizmem przyrastania części doliny bliskie korytom są zwykle suchsze i nadają się niejednokrotnie pod uprawę, podczas gdy obniżenia istniejące po przeciwnej stronie doliny są często zabagnione. Bagna tego typu tworzą charakterystyczne, wydłużone pasy i przynajmniej częściowo związane są z porzuconymi korytami rzecznyymi.

Z obserwacji autora wynika, że przyrastanie

pionowe odbywa się raczej w formie nieregularnych jęzorów i szerokich zmywów niż typowych gładów krewasowych (por. Gradziński 1973). Dzieje się tak dlatego, że badane rzeki, jako pozbawione większych ilości materiału zawieszinowego, nie mają typowych naturalnych wałów brzegowych.

Z kolei kilka słów o wpływie stożków napływowych, wsypywanych do doliny głównej przez dopływy. Stożki te wrastają w doliny główne w przybliżeniu prostopadle do ich rozciągłości, spychając tym samym rzekę główną pod przeciwległy stok doliny. W częściowo podpartej przez stożki części doliny głównej, rozwijają się powyżej stożka osady bagienne. Bagna te związane są z lokalnymi basenami powodziowymi i dekantacyjnymi i są w planie bardziej zwarte niż bagna wyżej omówione (pl. VI, 2). Osadom bagiennym towarzyszą dobrze rozwinięte gliny i ropy. Stożki napływowe zbudowane są głównie ze żwirów, piasków i glin aluwialnych, a w mniejszym stopniu z utworów deluwialnych i koluwalnych. Żwir i piasek dominują też w osadach teras zalewowych, poniżej stożków napływowych.

Opisane zjawiska mogą mieć wyraźny wpływ na cykliczność sedymentacji osadów dolin górskich. Komplikują one model sedymentacji aluwialnej w dolinach górskich, wprowadzając dodatkowy czynnik zmienności poziomej do skądinąd dobrze znanego modelu o ziarnie malejącym ku górze (Allen 1965a).

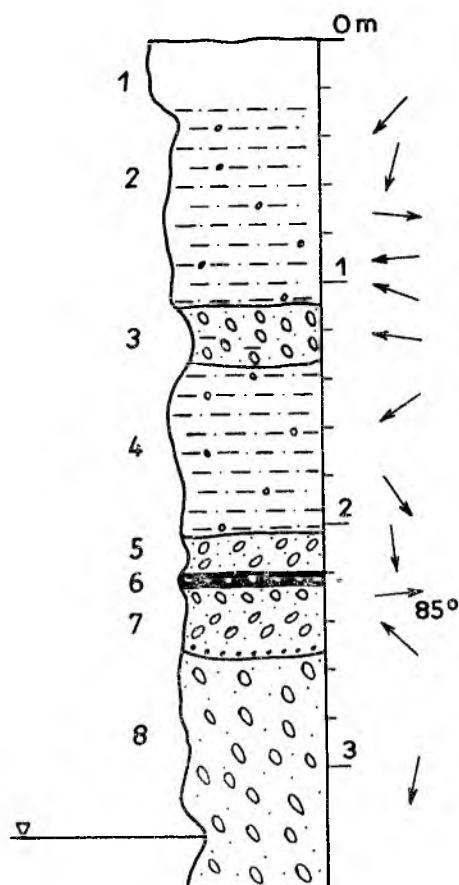


Fig. 4

Profil osadów holocenijskich w dolinie Polskiego Potoku  
(punkt 22)

osady pozakorytowe: 1 – gleba, 2 – piaszczysta glina z pojedynczymi żwirami, 3 – średni żwir (4–64 mm), zimbrykowany, 4 – piaszczysta glina z pojedynczymi żwirami, osady korytowe: 5 – średni żwir, zimbrykowany, 6 – warstwa żwiru spojonego orsztynem, 7 – średni żwir na piaszczystym żwirku, wypełnia kopalne koryto, 8 – średni żwir z pojedynczymi otoczkami 64–128 mm, zimbrykowany. W warstwie 7 widoczne ułożenie otoczek typu „herringbone imbrication” (Teisseyre 1975b). Strzałki wskazują paleoprądy wyznaczone przez struktury dachówkowe otoczek płaskich.

Tylko jeden pomiar wskazuje dokładnie kierunek w dół doliny (85°)

Holocene deposits in the Polski Potok Brook valley (locality 22)

overbank deposits: 1 – soil, 2 – sandy clay to clayey sand with scattered pebbles, 3 – pebble gravel, imbricated, 4 – sandy clay with scattered pebbles; channel-phase deposits: 5 – pebble gravel, imbricated, 6 – gravel cemented by ferric hydroxide (ortstein), 7 – pebble gravel over sandy granule gravel filling fossil channel, 8 – pebble-cobble gravel, imbricated. Note “herringbone imbrication pattern” in layer 7 (see also Teisseyre 1975b). Paleocurrents read on imbrication indicate the mean downvalley direction of 85° in one case only

Omawiana zmienność pozioma polega na wzroście zawartości materiału drobnoziarnistego na zewnątrz od koryta (lateral fining) oraz w dół doliny, w odcinkach między stożkami bocznymi (downvalley fining). Istnienie podobnych zjawisk w utworach rzecznych dolnego karbonu niecki śródsudeckiej autor już sugerował (Teisseyre 1975a).

We wszystkich naturalnych odsłonięciach nad-rzecznych autor badał ukazujące się profile osadów holocenijskich. Profil większości badanych skarp wyglą-

da podobnie – na żwirach (64–128 mm, a nawet do 320 mm) ukazują się w pobliżu zwierciadła wody zespoły drobniejszych żwirów i skośnie lub subhoryzontalnie warstwowanych piasków. Ku górze osady te przechodzą stopniowo w piaszczyste gliny ze smugami, soczewkami i gniazdami piasku, żwiru i iłu (fig. 4; pl. II, 1, 2; III, 3, 4; VI). Miąższość tych glin waha się w granicach od kilkudziesięciu centymetrów do 3 metrów. Gliny te, wraz z występującymi w nich wkładkami, są w przeważającej mierze typowym produktem rzecznej akumulacji pozakorytovej. Żwiry bezpośrednio podścielające gliny noszą na ogół cechy osadów łach meandrowych, co jest łatwe do wykazania. Natomiast grubsze żwiry, ukazujące się zwykle w spągu badanych profilów, reprezentują typowe osady fazy korytovej sensu stricto. Miąższość żwirów, znana z wierceń, przekracza niekiedy kilkanaście metrów. Brak w tych żwirach na ogół grubszych wkładek materiału drobnoziarnistego. Być może, żwiry te są produktem sedymentacji w innych warunkach hydrodynamicznych i przy udziale rzek o mniejszej krętości – może głównie roztokowych. Ostateczne wyjaśnienie tego problemu wymaga kontynuowania badań. Zdaniem autora zmiana reżimu rzek z roztokowego na meandrujący (o ile w ogóle miała miejsce) mogła łączyć się z szybkim wylesieniem terenu i coraz intensywniejszą uprawą roli od początku okresu historycznego, który nad górnym Bobrem wypada przyjąć nie wcześniej niż na wiek XIII. Potwierdzają to wymownie źródła. Kamienna Góra powstaje (1249) jako villa forensis locata iure Theutonico (Hołubowicz, Maleczyński 1960); jeszcze wcześniejsze dokumenty z początku XIII w. wymieniają omnes silvae w miejscu naszego obszaru badań. Także lokacja w Krzeszówku benedyktynów z czeskich Opatowic (1242) wymownie świadczy o stanie zalesienia tych okolic, jako że przynajmniej w tej części Europy benedyktyni z reguły sadowili się w miejscach odludnych i gęsto zalesionych. Pod koniec XIII w. (1289) benedyktyni ustępują miejsca henrykowskiemu cystersom, obejmującym z kolei dobra krzeszowskie. Datę tę możemy też przyjąć jako początek systematycznego trzebień lasów w dorzeczu górnego Bobru i początek intensywnej akcji osadniczej trwającej cały wiek XIV. W przededniu wojen husyckich ta część Śląska jest już dobrze zagospodarowana i wszystkie ważniejsze miejscowości na badanym terenie są poświadczane źródłowo. Tak więc okres wylesiania i intensywnej uprawy roli trwa w tych okolicach około 650 lat. Autor przypuszcza, że większość glin aluwialnych odsłaniających się w omawianych profilach holocenijskich pochodzi z tego właśnie okresu.

Wycięcie lasów i uprawa musiały spowodować

zmianę przepływu badanych rzek i zmianę ich obciążenia w kierunku wydatnego zwiększenia obciążenia zawiesinowego. Trzeba też dodać, że w skład tego obciążenia wchodzi nie tylko piasek, muł i il, ale także małe otoczaki, szczególnie płaskie (do 60 mm średnicy). Potwierdzeniem takiego właśnie datowania glin aluwialnych może być fakt częstego znajdowania na omawianym obszarze skorup naczyń i innych śladów gospodarczej działalności człowieka, i to we wszystkich poziomach tych glin. W niższych ich partiach są to przeważnie pojedyncze okruchy lub nagromadzenia węgla drzewnego (pl. VI, 4), a także ślady ognisk. W wyższych poziomach mamy już pełny zestaw śmieci z węglem kamiennym, koksem, żużlem, szlaką, szkłem, porcelaną i ceramiką, a od XIX w. nawet ze śladami tkanin, skóry i sparciałej gumy. Żadnego z tych przedmiotów nie znaleziono jak dotąd w żwirach spągowych. Przyjmując powyższe założenia za uzasadnione można oszacować tempo przyrastania pionowego osadów pozakorytowych na 0,001–0,005 m/rok. Rozważania powyższe dotyczą obszaru dorzecza górnego Bobru; dorzecze Strzegomki i tereny przyległe zostały skolonizowane co najmniej o sto lat wcześniej.

W świetle powyższych uwag żwiru spągowe można uznać za utwór wcześniejszego holocenu,

a częściowo także prawdopodobnie plejstocenu (H. Teisseyre 1952; Szczepankiewicz 1954; Jahn 1960).

We wszystkich badanych odcinkach rzek mierzone ułożenie żwirów i badano uwarstwienie piaszczystych i żwirowych form akumulacyjnych. W artykule niniejszym nawet pobieżne omówienie wyników tych badań nie jest możliwe. Można wspomnieć jedynie, że istnieje co najmniej 10 różnych podśrodków sedymentacyjnych różniących się ułożeniem klastów i co najmniej kilkanaście różnych form akumulacyjnych zbudowanych z piasku i mułu. Prowadzono też badania porównawcze, starając się odnaleźć odpowiedniki środowisk współczesnych w utworach odsłaniających się w skarpach.

Badania nad ułożeniem otoczków płaskich w glinach wykazały, że są to w ogromnej większości aluwialne osady pozakorytowe związane ze strumieniami o dużej krętości, a nie utwory potoków błotnych lub osady eoliczne, jak się je czasem mylnie interpretuje. Stwierdzono też, że systematyczne badania ułożenia klastów mogą umożliwić rozróżnianie w utworach kopalnych żwirów koryt od żwirów łąch meandrowych oraz żwirów osadów pozakorytowych, a nawet umożliwić identyfikację poszczególnych form akumulacyjnych, jak mikrodelty czy odsypów przelewowych w obrębie żwirów łąch meandrowych.

## PROBLEMY REGULACJI RZEK MEANDRUJĄCYCH

Z utylitarne punktu widzenia nie istnieje problem regulować czy nie regulować? Istnieje natomiast zasadniczy problem co, gdzie i jak regulować. W zgodzie z wynikami najnowszych badań teoretycznych i obserwacji zebranych przez autora jest oczywiste, że najlepsze wyniki uzyskuje się przez utrwalanie istniejących, dojrzałych zakoli rzecznych ( $r_m/w_m = 2,5-3,5$ ), połączone z budową licznych progów. Wymownym tego dowodem jest trwała stabilizacja niektórych odcinków Bobru i Strzegomki, uregulowanych w ten sposób w drugiej połowie XIX w., w okresie przed pierwszą wojną światową i ostatnio na Strzegomce. Tendencja do bocznej migracji meandrów została w ten sposób praktycznie wyeliminowana, natomiast pas nieużytków zajętych przez zarośla wierzbowe zajmuje stosunkowo najmniejszą powierzchnię (pl. VII, 1).

Niestety, niektóre z obecnie prowadzonych prac wyraźnie uchylają tym zasadom. Z jednej strony stosuje się nierzadko „prostowanie” odcinków krętych, co w przypadku braku progów należy uznać za rozwiązanie całkowicie chybione (pl. VII, 3). Autorowi znane są odcinki tak „uregulowanych” potoków, które po kilkunastu latach powróciły do

pierwotnego układu meandrującego, powodując niekiedy wzrost nieużytków prawie o 100%, jako jedyny wynik nieumiejętnej regulacji. W roku 1976 stwierdzono takie zabiegi (po raz drugi) na łąkowym odcinku jednego z dopływów Strzegomki, połączone w dodatku z usuwaniem z dna potoku wszystkich większych otoczków. Jest oczywiste, że tego rodzaju poczynania mogą jedynie przyspieszyć procesy erozji wgłębnej i bocznej, a tym samym zwiększyć jedynie straty powierzchni łąki. Jako rozwiązanie optymalne należy przyjąć umacnianie brzegów dojrzałych zakoli, połączone z budową progów i zapewnieniem drożności łąch meandrowych oraz znajdujących się na nich naturalnych koryt przelewowych. Z praktycznego punktu widzenia drożność może zapewnić jedynie systematyczne trzebienie roślinności zarastającej łąchy meandrowe. Utrwalanie łuków niedojrzałych ( $r_m/w_m \sim 3-4$ ) jest mniej celowe. Zakola takie ujawniają bowiem z reguły wzrastającą aktywność i tendencję do przyspieszonej migracji bocznej. Wówczas w razie przerwania umocnień następuje bardzo szybkie erodowanie nisz erozyjnych w brzegu zewnętrznym.

Ogólnie biorąc, odcinek rzeki górskiej można

uważać za ujarzmiony, jeśli aktywne, dojrzałe koryto zostało umocnione, zaś wcięte łóżyisko jest zdolne pomieścić średnią roczną powódź (mean annual flood), pozostawiając jeszcze pewien margines bezpieczeństwa. Zgodnie z powyższym zabieg ścinania meandrów jest uzasadniony jedynie w przypadku odcinków superdojrzałych (duża krętość, płytkie wcięcie, małe wartości współczynnika  $r_m/w_m$ ; pl. VII, 4). Odcinki takie stwarzają bowiem poważne zagrożenie powodziowe, o czym była już mowa wyżej.

Z teoretycznego punktu widzenia odcinki wadliwie uregulowanych rzek dostarczają sporo cennych informacji odnośnie do samego przebiegu procesu meandrowania (por. fig. 3). W szczególności potwierdzają one istnienie zjawiska, które można by nazwać „cyklem meandrowym”, a którego realność jest ostatnio dyskutowana lub wręcz negowana, przynajmniej przez niektórych geomorfologów.

W największym skrócie cykl taki jest następujący. Wyprostowanie odcinka krętego (lub w przypadku środowiska naturalnego powstanie nowego koryta o małej krętości na zasadzie awulsji) powoduje nagły wzrost spadku hydraulicznego i tym samym wydatne zwiększenie kompetencji strumienia. W pierwszym okresie objawia się to nasileniem erozji wgłębnej, czyli pogłębieniem rozcięcia powierzchni aluwialnej (pl. II, 1). Po pewnym czasie nowe koryto ulega wybrukowaniu dużymi klastami, których rzeka nie jest już w stanie transportować, z wyjątkiem okresów największych powodzi. Stanowią one naturalną osłonę zapobiegającą dalszemu pogłębieniu koryta. Tym samym akcja erozyjna strumienia przenosi się na erodowalne brzoża zewnętrzne — co

nieuchronnie prowadzi do powstania nisz erozyjnych, następnie izolowanych meandrów haczykowatych, a w końcu regularnych ciągów meandrowych (fig. 3; pl. II).

Obserwacje zebrane przez autora wyraźnie wskazują na dużą szybkość takiego procesu, który może trwać od kilkunastu do kilkudziesięciu lat. Wzrost krętości strumienia powoduje oczywiście proporcjonalne zmniejszenie spadku hydraulicznego i kompetencji, a w konsekwencji tendencję do agradacji — głęboko wcięte koryta stadium wyjściowego wypełniają się częściowo osadami. Koryta meandrujące są natomiast tym mniej wcięte w powierzchnię aluwialną, im większa jest ich krętość. Spadek kompetencji strumienia przejawia się zmniejszeniem rozmiarów otczaków stanowiących brzoża korytowe. Dla przykładu można podać, że w dobrze zbadanym odcinku meandrowym w Czarnym Borze stwierdzono spadek maksymalnych średnic żwiru z 320 do 64 mm, połączonego ze wzrostem krętości strumienia od wartości około 1,2 (wyprostowane koryto sztuczne) do wartości około 2,2 (nowe koryto meandrujące). Jednocześnie głębokość wcięcia zmalała przeszło o połowę. Dalszy wzrost krętości strumienia prowadzi do powstania bardzo zawitych pętli meandrowych, które jako płytko wcięte stwarzają poważne zagrożenie powodziowe. Doliny takich rzek ulegają zabagnieniu. Silnie rozbudowane pętle meandrowe stwarzają też niebezpieczeństwo degeneracji poszczególnych meandrów, na skutek przecięcia ich szyi lub tworzenia nowych koryt o dużym spadku na drodze awulsji. W tym ostatnim przypadku cykl meandrowy może rozpocząć się od nowa.

## WNIOSKI KOŃCOWE

1. Górny Bóbr i Strzegomka, wraz z ich głównymi dopływami, mają charakter rzek meandrujących co najmniej od początku okresu historycznego. Są to górskie (proksymalne) rzeki meandrujące, niosące głównie żwir i gruby piasek, a w czasie wezbrań także duże ilości mułu i łu.

2. W okresie historycznym lub wcześniej nastąpiła generalna zmiana charakteru sedimentacji rzecznej ze żwirowej na żwirowo-gliniastą. Prawdopodobnie zmiana ta odzwierciedla częściową zmianę charakteru obciążenia tych rzek oraz zmianę przepływu, związane z wylesieniem terenu i intensywną uprawą roli. W dorzeczu Strzegomki zmiany te miały miejsce w wieku XIII, w dorzeczu górnego Bobru — o jedno stulecie później. Szybkość przyrastania pionowego drobnoziarnistych osadów teras zalewowych, oparta

na danych zaczerpniętych ze źródeł historycznych, waha się w granicach 0,001—0,005 m/rok. Być może zmiana charakteru sedimentacji widoczna we wszystkich badanych dolinach łączyła się z przejściem od roztokowego do meandrującego układu rzek. Przy obecnym stanie badań problemu tego nie da się rozstrzygnąć.

3. Przeprowadzone badania wykazują dużą niestabilność odcinków prostych i to zarówno sztucznych, jak i naturalnych. Odcinki takie mają tendencję do szybkiego przeobrażania się w odcinki meandrujące, co jest zgodne z wynikami najnowszych badań teoretycznych nad istotą procesu meandrowania. Zjawisku temu, występującemu powszechnie we wszystkich badanych dolinach, towarzyszy wzrost krętości strumienia, spadek wskaźnika  $r_m/w_m$ , stopniowe zmniejsz-

szanie się spadku hydraulicznego, kompetencji i głębokości wcięcia koryt aluwialnych.

4. Stosunek promienia meandru ( $r_m$ ) do szerokości koryta krętego ( $w_m$ ) można uznać za najlepszy wskaźnik aktywności meandrów badanych rzek. Najaktywniejsze meandry odznaczają się stosunkiem  $r_m/w_m$  w zakresie 2,5–5. Spadkowi tego wskaźnika, od wartości około 20 do 6, towarzyszy wyraźny i systematyczny wzrost aktywności koryt meandrujących. Poniżej wartości wskaźnika około 2,5 aktywność meandrów szybko maleje, rośnie jednakże niebezpieczeństwo powodzi i nagłych zmian koryt rzecznych (awulsja).

5. Aktywność meandrów mierzy się szybkością migracji bocznej i migracji w dół doliny. Szybkość migracji bocznej badanych koryt krętych waha się w granicach 0,002–1,2 m/rok. Najniższe wartości migracji bocznej wykazują umocnione, dojrzałe koryta kręte, najwyższe natomiast są charakterystyczne dla zakoli o silnie zarośniętych łachach meandrowych. Niektóre z badanych odcinków naturalnych odznaczają się występowaniem regularnych układów meandrujących (krętość 2–3), powstałych kosztem wadliwie uregulowanych koryt prostych w ciągu ostatnich 15–50 lat. Zazwyczaj szybkość migracji bocznej meandrów jest nieco większa niż szybkość przemieszczania się w dół doliny. Odwrotne zjawisko zachodzi jednak w przypadku meandrów haczykowatych, które zapoczątkowują i kończą liczne z badanych odcinków meandrujących. Meandry haczykowane mogą także występować samodzielnie.

6. Szybkość migracji bocznej meandrów zależy w dużej mierze od szybkości zarastania łach meandrowych i znajdujących się na nich naturalnych koryt przelewowych. Szybkość zarastania ostatnio znacznie wzrosła w związku z intensywniejszym nawożeniem pól. Najlepsza technika regulacji meandrujących rzek górskich polega na wprowadzaniu minimum koniecznych zmian do naturalnego środowiska rzek. W praktyce będzie to polegało na utrwalaniu istniejących, dojrzałych zakoli i budowaniu progów. Duże znaczenie ma także utrzymanie drożności łach meandrowych i naturalnych koryt przelewowych, najlepiej przez systematyczne trzebieenie znajdującej się tam roślinności. Roślinność jednoroczna na ogół nie stanowi poważnej przeszkody dla spływu fal powodziowych, przyspiesza natomiast tempo przyrastania pionowego łach meandrowych. Odcinki rzek, których wadliwa regulacja polegała na wyprostowaniu koryta meandrującego pouczają, że zjawisko określane zwykle jako „cykl meandrowy” istotnie ma miejsce, przynajmniej w quasi-naturalnym środowisku częściowo kontrolowanym przez człowieka.

7. W naturalnych korytach badanych rzek istnieje co najmniej 10 różnych podśrodków akumulacji żwirów, różniących się ułożeniem klastów i co najmniej kilkanaście różnych form akumulacyjnych zbudowanych z piasku i mułu. Niektóre z nich mogą być z łatwością identyfikowane w osadach holocen-skich, a także w utworach lądowych dolnego karbonu i dolnego permu niecki śródsudeckiej.

#### LITERATURA

- ACKERS P., CHARLTON F.G., 1970: The geometry of small meandering streams. *Proc. Inst. civ. Engrs.*, Supplement (xii), Paper 7328S, p. 289–317.
- ALLEN J.R.L., 1965a: Fining-upwards cyclothems in alluvial successions. *Liverpool Manchester Geol. Journ.*, vol. 4, p. 229–246.
- 1965b: A review of the origin and characteristics of Recent alluvial sediments. *Sedimentology*, vol. 5, p. 89–191.
- 1970: Physical processes of sedimentation. *Earth Sci. Series 1*, edited by J. Sutton and J.V. Watson, George Allen and Unwin, London, p. 1–248.
- BLUCK B.J., 1971: Sedimentation in the meandering River Endrick. *Scott. J. Geol.*, vol. 7, p. 93–138.
- 1974: Structure and directional properties of some valley sandur deposits in southern Iceland. *Sedimentology*, vol. 21, p. 533–554.
- BRIDGE J.S., 1975: Computer simulation of sedimentation in meandering streams. *Sedimentology*, vol. 22, p. 3–43.
- COLLINSON J.D., 1970: Bedforms of the Tana River, Norway. *Geografiska Ann.*, vol. 52A, p. 31–56.
- DANIEL J.F., 1971: Channel movement of meandering Indiana streams. *U.S. Geol. Surv. Prof.*, Paper No. 732–A, p. 1–18.
- DZIEDZIC K., 1968: Zagadnienie śródkarbońskich dyskordancji w północno-zachodniej części niecki śródsudeckiej. The problem of intra-Carboniferous discordances in the north-western part of the Intra-Sudetic Trough. *Kwart. geol.*, vol. 12, p. 35–70.
- 1971: Sedymentacja i paleogeografia utworów górno-karbońskich w niecce śródsudeckiej. Sedimentation and palaeogeography of the Upper Carboniferous deposits in the Intrasudetic Depression. *Geol. Sudetica*, vol. 5, p. 7–75.
- JAHN A., 1960: Czwartorzęd Sudetów. [w:] Regionalna geologia Polski, T. III, Sudety, cz. 2, Pol. Tow. Geol., Kraków, p. 358–418.
- JOPLING A.V., 1965: Hydraulic factors controlling the shape of laminae in laboratory deltas. *J. Sed. Petrol.*, vol. 35, p. 777–791.
- ENGELUND F., 1974: Flow and bed topography in channel bends. *Proc. A.S.C.E.*, vol. 100 (HY 11), p. 1631–1648.
- 1975: Instability of flow in a curved alluvial channel. *J. Fluid. Mech.*, vol. 72, p. 145–160.
- ENGELUND F., SKOVGAARD O., 1973: On the origin of meandering and braiding in alluvial streams. *J. Fluid. Mech.*, vol. 57, p. 289–302.

- GRADZIŃSKI R., 1973: Wyróżnianie i klasyfikacja kopalnych osadów rzecznych. *Postępy nauk geol.*, nr 5, p. 57–112.
- HAND B. M., WESSEL J. M., HAYES M. O., 1969: Antidunes in the Mount Toby conglomerate (Triassic), *Massachusetts. J. Sed. Petrol.*, vol. 39, p. 1310–1316.
- HICKIN E., 1974: The development of meanders in natural river-channels. *Am. J. Sci.*, vol. 274, p. 414–442.
- HICKIN E. J., NANSON G. C., 1975: The character of channel migration on the Beatton River, Northeast British Columbia, Canada. *Bull. Geol. Soc. Am.*, vol. 86, p. 487–494.
- HOLUBOWICZ W., MALECZYŃSKI K., 1960: Historia Śląska, T. I, cz. I, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław, p. 1–625.
- HOOKE R. LeB., 1974: Shear-stress and sediment distribution in a meander bend. Uppsala Univ. Ungi Raport 30, p. 1–58.
- 1975: Distribution of sediment transport and shear stress in a meander bend. *J. Geol.*, vol. 83, p. 543–565.
- KLIMEK K., 1972: Współczesne procesy fluwialne i rzeźba równiny Skeidarársandur (Islandia). Present-day fluvial processes and relief of the Skeidarársandur Plain (Iceland). *IG PAN, Pr. geogr.*, no. 94, p. 1–139.
- KRIGSTRÖM A., 1962: Geomorphological studies of sandur plains and their braided rivers in Iceland. *Geogr. Ann.*, vol. 44, p. 328–346.
- LEOPOLD L. B., WOLMAN M. G., MILLER J. P., 1964: Fluvial processes in geomorphology. San Francisco, London, Freeman and Co., p. 1–522.
- MATERIAŁY Terenowej Konferencji Naukowej: Wykształcenie młodoczwartorzędowych aluwiów rzek karpackich i ich znaczenie surowcowe. Kraków 1976, Powielarnia AGH, p. 1–62.
- MCDONALD B. C., LEWIS C. P., 1973: Geomorphic and sedimentologic processes of rivers and coast, Yukon coastal plain. Environmental-Social Committee, Northern Pipelines, Task Force on Northern Oil Development, Report No. 73–39, p. 1–245.
- McGOWEN J. H., GARNER L. E., 1970: Physiographic features and stratification types of coarse-grained point bars: modern and ancient examples. *Sedimentology*, vol. 14, p. 77–111.
- PARKER G., 1975: Meandering of supraglacial melt stream. *Water Resources Research*, vol. 11, p. 551–552.
- RADWAŃSKI S., 1954: Budowa geologiczna obszaru kulmowego między Marciszowem, Sadami Górnymi a Witkowem (Dolny Śląsk). The geological structure of the Culm region between Marciszów, Sady Górne and Witków (Lower Silesia). *Inst. Geol., Bull.* 90, p. 1–47.
- REINECK H.-E., SINGH I. B., 1973: Depositional sedimentary environments. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, p. 1–439.
- RUST B. R., 1972: Structure and process in a braided river. *Sedimentology*, vol. 18, p. 221–245.
- SCHUMM S. A., 1968: Speculations concerning paleohydrologic controls of terrestrial sedimentation. *Bull. Geol. Soc. Am.*, vol. 79, p. 1573–1588.
- SCHUMM S. A., KAHN H. R., 1972: Experimental study of channel patterns. *Bull. Geol. Soc. Am.*, vol. 83, p. 1755–1770.
- SMITH N. D., 1974: Sedimentology and bar formation in the upper Kicking Horse River, a braided outwash stream. *J. Geol.*, vol. 82, p. 205–223.
- SZCZEPANKIEWICZ S., 1954: Morfologia Sudetów Wałbrzyskich. Pr. Wroc. Tow. Nauk., Ser. B, nr 65, p. 1–152.
- TEISSEYRE H., 1952: Budowa geologiczna północnej okolicy Wałbrzycha. Geological structure of the northern region of Wałbrzych (Lower Silesia). *Bull. Inst. Geol.*, no. 62, p. 1–58.
- TEISSEYRE A. K., 1975a: Sedymentologia i paleogeografia kulmu starszego w zachodniej części niecki śródsudeckiej. Sedimentology and paleogeography of the Kulm alluvial fans in the western Intrasudetic Basin (Central Sudetes, SW Poland). *Geol. Sudetica*, vol. 9, nr 2, p. 1–135.
- 1975b: Pebble fabric in braided stream deposits with examples from Recent and „frozen” Carboniferous channels. Ułożenie otoczków w osadach roztek. *Geol. Sudetica*, vol. 10, nr 1, p. 7–56.
- 1977: Meander degeneration in bed-load proximal streams: repeated chute cut-off due to bar head gravel accretion – a hypothesis. Degeneracja meandrów żwironośnych rzek górskich. *Geol. Sudetica*, vol. 12, nr 1.
- VISHER G. S., 1965: Fluvial processes as interpreted from ancient and recent fluvial deposits. [In:] *SEPM Spec. Publ.*, no. 12, Tulsa, p. 116–132.

Andrzej Karol TEISSEYRE\*

## RECENT FLUVIAL PROCESSES IN DRAINAGE-BASINS OF THE UPPER BÓBR AND STRZEGOMKA RIVERS IN THE CENTRAL SUDETES

**ABSTRACT:** The upper Bóbr and Strzegomka Rivers and their main tributaries are proximal, bed-load meandering streams at least from the beginning of historic period. Today new meanders do originate in the valleys of the rivers considered, but especially at the expense of straight reaches, which are unstable. On the middle Lesk Creek (a tributary of the upper Bóbr), a new meandering reach has been growing (actual sinuosity of ca. 2) in place of an artificial straight channel of 1924. Perhaps the best measure of the activity of meander bends is the  $r_m/w_m$  ratio ( $r_m$  = meander radius,  $w_m$  =

width of a meandering channel, Hickin 1974). It has been found that the meandering channels studied are the most active if the ratio ranges from about 2.5 to 5. The rate of lateral migration of the meanders investigated varies from 0.002-1.2 m/yr. Among other factors, the rate is strongly controlled (and increased) by the rate of vegetation growth on point bars and within natural chute channels. Finally, inspection of natural- and artificial straight reaches teaches us also that something like "meander cycle" does exist, at least in a semi-natural man-controlled environment.

### SUMMARY

The main purpose of this paper has been to summarize some results of the field investigations into modern fluvial processes characteristic of small, bed-load meandering rivers in the Central Sudetes. The investigations have started in '65 and selected natural reaches have been systematically studied since '71. Although both the Bóbr and Strzegomka Rivers almost everywhere have protected banks, the discharge is as a rule a natural phenomenon. Most tributaries, on the other hand, are natural, bed-load meandering streams at least in their lower reaches. The investigations have also included recent bed forms, bar features, and channel forms as well as pebble fabric and sediment texture. To be published, the results need, however, separate papers. Consequently, this preliminary work concerns mainly some relationships that seem to be the most general ones. Some ideas resulted from the field investigations have already been checked in studying both the Holocene- and the Late Paleozoic alluvial sediments of the Central Sudetes.

All the rivers investigated in detail are bed-load, proximal meandering streams. Hydraulic gradient of the reaches studied ranged from 0.002--0.03 and discharge varied from ca. 0.01 to 10 m<sup>3</sup>/sec (low stage). Peak discharge, however, not uncommonly is from 40--60 times or more the low-stage discharge. Floods happen usually in spring (March--May) or summer (June-July), while secondary peaks corresponding to heavy autumn rains occur in November or December. The rivers vary also in sinuosity, which ranges from 1.125 to ca. 4. As a rule, reaches of high sinuosity and relatively low gradient alternate with those of low sinuosity and corresponding high gradient. Braided reaches occur occasionally in such places as mouths of tributaries, in some gorges where intense erosion is taking place, below plunge pools and some weirs, in cross-overs below some meanders as well as in some meander bends degenerating owing to chute cut-off (Teisseyre 1977).

The alternation of wider and gentler valleys and steeper gorge reaches has a striking influence on population density and location of towns and villages. From the beginning of historic period (here XII--XIV c.) people tended to inhabit narrower gorge reaches where there are terraces high enough to stand above flood plains of wider parts of the valleys. In fact, till the mid-XIX century the latter were mostly uninhabited. Even nowadays they act from time to time as flood basins during exceptional floods. The main gorge sections are shown in figure 1.

In almost all the reaches studied a number of geometric and hydraulic parameters have been established in the field. Of these especially interesting are channel width of a meander ( $w_m$ ) and meander radius ( $r_m$ ). Both may be combined to produce the  $r_m/w_m$  indexes (Hickin 1974; Hickin and Nanson 1975) -- a good measure of meander activity. Channel width varied from 0.4--16 m and the  $r_m/w_m$  indexes ranged from 1--20. It has been found that the most active meanders are characterized by the indexes ranging from 2.5 to 5. Such meanders do migrate both laterally and downvalley (some also shift upvalley) at a rate of some 0.3--1.2 m/yr. With indexes lower than 2.5--2 the activity of meander loops decreases rapidly. This is commonly manifested by a decrease in pool depth and a modification of outer banks, which become inactive, rounded and vegetated. Gentler bends, on the other hand, reveal large  $r_m/w_m$  indexes (5--15 or 20). With decreasing indexes the activity of their outer banks progressively increases (fig. 2). In fact, there is growing evidence that such gentle bends may grow to produce more or less regular meanders (pl. I and II). Figure 3 illustrates a new meandering channel that has been growing at the expense of an artificial one (pl. II). The mean rate of lateral migration of the meanders is from 0.1--0.3 m/yr and is still increasing last years (annual migrations were noted up to 0.5 m/yr during one flood; pl. III, I)

\* Institute of Geological Sciences of the Wrocław University, ul. Cybulskiego 30, 50--205 Wrocław.



It is also characteristic that the first and the last meanders in the reach in question are hook-shaped in plan (fig. 3; pl. II, 2). Such meanders migrate downvalley faster than grow in amplitude. They may well occur as single bends or initiate meandering reaches but especially those, which grow in the place of natural- or artificial channels of low sinuosity. Today hook-shaped meanders do develop in many places as below some weirs or in parts of a straight channel modified by landslides (fig. 2e, f).

The origin of meandering of the rivers in question is attributable to three main factors: (1) The apparent instability of a straight channel carrying supercritical flow (Engelund 1974, 1975; Parker 1975), (2) Supposed change in discharge as well as in amount of suspended load in historic period (increasing irregularity of runoff and increasing content of suspended load) and (3) apparent underloading of the streams (with few exceptions) associated with coarse channel lag deposits and erodibility of the banks. In flood there is an apparent tendency to braiding, in some reaches at least. This may result in chute cut-off degeneration of meander bends (Teisseyre 1977, see also pl. IV). During both middle- and low-stage discharge the rivers are characteristically meandering (pl. I—III; V).

Investigations into the rate of meander migration are based on dendrochronologic data as well as systematic observation of various natural and artificial datum points. In general, the rate ranges from 0.002 m/yr (protected banks) to 1.2 m/yr (mature free meanders with the  $r_m/w_m$  index of the order of 2.5–5). The rate of migration of free natural meanders is strongly controlled by the rate of vegetation growth — an apparently underestimated feature. Due to increasing fertility of stream waters the rate of plant growth is still increasing, especially on point bars and within natural chute channels. On point bars, several plant “stages” have been noted (*Germi-nae* → the assemblage of *Urtica-Convolvulus-Arctium* → *Salix*) reflecting progressive development of soil over bar platform gravels (pl. V). Dense *Salix* bushes may appear on what was originally bare platform gravel as soon as in three to five years. A dense vegetation on point bars not only increases the rate of vertical accretion in the areas but also hampers a high-stage discharge. Consequently, a high-stage discharge is directed against a bare cut bank and the rate of lateral migration markedly increases. And reaches are known to the author on which densely vegetated meanders migrate laterally at least twice faster than those with bare or grassy point bars (pl. V; I, 1, 2; II; III). Characteristic of densely vegetated point bars are also chute bars (pl. V). The active chute bars occur as a rule near the actual inner bank, while their inactive fossil counterparts can be seen within bushes covering inner portions of such hummocky point bars. Flat, bare or grassy point bars, on the other hand, are characterized by much more regular accumulation of relatively thin microdelta embankments.

Field investigations included also recent (Holocene) deposits cropping out in eroded cut banks. Generally, they are similar throughout the area studied. In higher cut banks (2–4 m high) a typical fining-upwards sequence is usually noted (fig. 4; pl. VI; II and III). As a rule, this involves three main divisions (from top to bottom): (1) Sandy or silty clay, frequently with streaks or isolated granules or pebbles (mostly flat). Fine-to-coarse sand, granule or pebble gravel, clay or peat may act as local intergrowths (0.01–0.6 m thick). In many profiles the deposit becomes finer upward. The deposit is up to 3 m thick. The majority of the deposits represent typical overbank accumulations composed of suspended-load material carried onto flood-plains by large floods, (2) Sandy

pebble gravel with coarse sand and granule gravel. Crossbedded or subhorizontally bedded. Comparative investigations into pebble fabric and stratification reveals a striking similarity to modern point bar deposits. Usually the deposit is only a fraction of metre thick, and (3) Coarse gravel at the base of the profile (cobbles, boulders; pl. VI, 3). The structure, composition and origin of the deposit is poorly understood as in almost all places it occurs below water level. Borings performed in some valleys suggest, however, that they are at least several metres thick (H. Teisseyre 1952). It is supposed that the gravel is deposited at least in part by braided streams of high competence. It seems that the pattern of the rivers changed substantially in the Early Holocene. The problem is, however, still open to further investigations.

In almost all the valleys investigated the general fining-upwards profile of the Holocene deposits is more or less complicated by some changes of higher order and mapable aerial extent. These are termed here lateral- and downvalley fining. Lateral fining is simply attributable to the depositional activity of the master stream. It results from changes in the rate of vertical accretion of suspended-load overbank materials, which is higher near the active channels and decreases progressively sideways. Consequently, in many natural valleys the zone of active channel is evidently higher in altitude than the opposite part of the valley floor. The latter is frequently occupied by elongated, valley-edge bogs (pl. I, 3). Downvalley fining, on the other hand, is practically controlled by partial damming of the main valley by alluvial fans fed by tributaries or seasonal washes. In many valleys, local flood basins and fan-base bogs developed upvalley from such fans (pl. I, 1). The areas are characterized by relatively thick accumulations of clay and silty clay with interbeddings of peat and ortstein (pl. VI, 1, 2). The deposits are sharply bounded against alluvial fan deposits composed mostly of gravel and sand and sandy clay. Trenches dug in some valleys reveal that the content of fine-grained deposits increases progressively from one lateral alluvial fan to the next downvalley. It is suggested that such a control may substantially influence the development of valley-floor fining-upwards cycles. And similar features have been reported by the author from the Dinantian basin-floor deposits of the Intrasudetic Basin (Teisseyre 1975a).

The development in the valleys investigated of thick sandy clays is attributable to some changes in the load of the streams. Since the beginning of historic period the amount of suspended-load markedly increased due to progressive deforestation and intense farming. In fact, sweepings are known to the author from all horizons of the clays. Consequently, one may estimate the main rate of vertical accretion in the area in question to be of the order of 0.001–0.005 m/yr.

Investigations into recent bed- and accumulation forms have indicated that there exist at least 10 subenvironments differing from each other in pebble fabric. Also, it is possible to distinguish at least a dozen or so modern accumulation- and bed forms that differ from one another in both texture and stratification. A more detailed consideration of the problem needs, however, another article.

Perhaps the best method of regulation of mountain meandering streams involves protection of natural mature bends and construction of numerous weirs. Indeed, some reaches of the rivers investigated regulated in this way before the I World War did not change from that time (pl. VII). An artificial straightening of meandering channels is, on the other hand, usually futile. Figure 3 illustrates how rapidly such a reach may change to a meandering one. However, reaches regulated in a wrong manner provide good conditions to investigate

the development of meandering channels in a semi-natural environment. The construction of a straight artificial channel increases markedly both hydraulic gradient and river competence. This results in an increase in the rate of erosion until the bed becomes covered by gravel large enough to be practically stationary (channel pavement). The gravel protects the channel bed and, consequently, further erosion is taking place mainly along cut banks. This results, in turn, in the formation of meandering channels the sinuosity of which tends to increase progressively. However, as sinuosity increases competence decreases and the depth of channel incision also decreases. For example, in one reach at Czarny Bór (Lesk Creek) the increase in sinuosity from 1.2 (artificial channel) to about 2 (new meandering channel) is accompanied by the decrease

in competence (of flood discharge) from about 320 mm to some 64 mm and decrease in the depth of incision from 3–4 m to 1.2–1.8 m. A further increase in sinuosity leads to the generation of supermature meander reaches. These are characterized by gentle slope, small river competence, shallow channel incision and, consequently, general elevation in a local water table. Peat bogs appear and the flood hazard markedly increases. Such supermature meanders are also susceptible to degeneration through neck cut-off or avulsion. As a rule, avulsion results in the formation of a new channel of considerably smaller sinuosity: thus a subsequent "meander cycle" may start once again. And such phenomena have been noted by the author on the lower Lesk Creek below Jaczków.

### FINAL CONCLUSIONS

1. The upper River Bóbr and the River Strzegomka as well as their main tributaries are proximal, bed-load meandering rivers at least from the beginning of historic period.

2. An essential change in composition of the valley-floor deposits (gravel → gravel+sandy clay) took place at the beginning of historic period or even earlier. Possibly the modification resulted from rapid progressive deforestation of the area and intense farming. In the drainage basin of the River Strzegomka this took place in the XII–XIII c. and along the course of the upper River Bóbr – some hundred years later. Both archeologic and historic data seem to suggest that the mean rate of vertical accretion of fine suspended-load deposits in wide reaches of the valleys is of the order of 0.001–0.005 m/yr. Data available at present as to the origin of some basal gravels underlying the alluvial sandy clays are still inconclusive.

3. Field investigations indicate clearly a considerable instability of straight reaches, both natural and artificial. Such reaches tend to change to meandering ones. The process goes on very rapidly and new mature meandering reaches may appear in a dozen or so years. The process is accompanied by a progressive increase in sinuosity, decrease in the  $r_m/w_m$  index and progressive decrease in each hydraulic gradient, river competence and the depth of channel incision.

4. The rate of meander radius ( $r_m$ ) to channel width ( $w_m$ ) is perhaps the best measure of meander activity, at least in the reaches studied. The most active meanders are characte-

rized by the values of  $r_m/w_m$  from 2.5 to 5. Meander loops with indexes lower than two are usually inactive (supermature meanders). A progressive increase of meander activity has been found to accompany the decrease in the  $r_m/w_m$  index from 20 (gentle bends or "incipient" meanders) to 6 (submature meanders). Some artificially straightened reaches teach us also that something like "meander cycle" does exist, at least in a semi-natural man-controlled environment.

5. The rate of lateral migration of the meanders studied ranges from 0.002–1.2 m/yr. Usually the rate of lateral migration is slightly greater than the rate of downvalley migration. The reverse is true, however, with hook-shaped meanders which not uncommonly initiate and terminate the meandering reaches. Hook-shaped meanders may also occur as solitary features.

6. The rate of lateral migration of the sinuous reaches is strongly controlled and increased by the rate of plant growth on point bars and natural chute channels. The rate of plant growth is still increasing owing to intense fertilization.

7. In natural channels of the rivers studied one may distinguish at least 10 subenvironments differing from each other in pebble fabric. Also there exist at least a dozen or so accumulation forms that differ from one another in both texture and stratification. Some of them may be easily identified in both the Holocene- and the Late Paleozoic fluvial deposits of the Central Sudetes.

PLANSZA I

PLATE I

1. Szeroka dolina Bobru między Błażkową a Lubawką (basen powodziowy, punkt 3 na fig. 1).  
Widok ku południowi  
Wide valley of the upper River Bóbr between Błażkowa and Lubawka (flood basin, location 3 in fig. 1). Camera looking to the south
2. Dojrzały meander Lesku w Czarnym Borze (punkt 13, fig. 1). Widok ku południowemu zachodowi  
Mature meander of the Lesk Creek at Czarny Bór (location 13, fig. 1). Camera looking to the south-west
3. Szeroka dolina Polskiego Potoku na południe od Bogaczowic (basen powodziowy; punkt 21, fig. 1). Stok w dolinie opada na prawo, strumień płynie przy lewej krawędzi doliny. Widok ku wschodowi  
Wide valley of the Polski Potok Brook south of Bogaczowice (flood basin; location 21, fig. 1). Valley floor slopes gently to the right, while the brook flows along the left side of the valley. View is to the east
4. Bardzo aktywny mały meander na Polskim Potoku (punkt 22, fig. 1). Widoczna podcinana skarpa, kręte koryto, niezarośnięta ostroga żwirowa (osad lat 1975/1976) i zarośnięta łacha meandrowa  
Very active small meander on the Polski Potok Brook (location 22, fig. 1). Showing eroded cut bank, meandering brook, bare gravelly spur (deposited in 1975/76) and vegetated point bar



2



4



1



3

Andrzej Karol TEISSEYRE — Współczesne procesy rzeczne w dorzeczu górnego Bobru i Strzegomki (Sudety Środkowe)  
Recent fluvial processes in drainage-basins of the upper Bóbr and Strzegomka Rivers in the Central  
Sudetes

PLANSZA II

PLATE II

Różne stadia cyklu meandrowego  
Various stages of "meander cycle"

1. Łagodny łuk rzeki ( $r_m/w_m \sim 13-15$ ), brzeg zewnętrzny erodowany, widoczna początkowa łacha meandrowa. Lesk, punkt 13  
Gentle bend ( $r_m/w_m \sim 13-15$ ). Note outer cut bank, and incipient flat point bar. Lesk Creek, location 13
2. Haczykowy meander, silnie erodowany brzeg zewnętrzny, dobrze rozwinięta łacha meandrowa ( $r_m/w_m \sim 4,5$ ). Lokalizacja jak wyżej  
Hook-shaped meander, strongly eroded cut bank, well developed point bar ( $r_m/w_m \sim 4.5$ ). Location as above
3. Dojrzały meander ( $r_m/w_m = 3$ ). Widoczny odsyp przelewowy (w środku) oraz bystrzyk (na pierwszym planie). Bóbr, punkt 2  
Mature meander ( $r_m/w_m = 3$ ). Note chute bar (centre) and riffle (foreground). River Bóbr, location 2
4. Superdojrzały, nieaktywny meander ( $r_m/w_m \sim 1$ ). Cisówka, punkt 23  
Supermature, inactive meander ( $r_m/w_m \sim 1$ ). Cisówka Creek, location 23



2



4



1



3

Andrzej Karol TEISSEYRE — Współczesne procesy rzeczne w dorzeczu górnego Bobru i Strzegomki (Sudety Środkowe)  
Recent fluvial processes in drainage-basins of the upper Bóbr and Strzegomka Rivers in the Central  
Sudetes

### PLANSZA III

### PLATE III

Zjawiska erozji w korytach krętych  
Erosion phenomena in sinuous channels

1. Duże obrywy wzdłuż bardzo aktywnego, dojrzałego meandra ( $r_m/w_m \sim 3$ ). Lesk, punkt 13  
Large earth falls along cutbank of very active, mature meander ( $r_m/w_m \sim 3$ ). Lesk Creek, location 13
2. Duże obrywy wzdłuż podcinanego brzegu Bobru po powodzi wiosną 1976. Punkt 2  
Large earth falls along cutbank of the River Bóbr after spring flood of '76. Location 2
3. Nisze erozyjne w dolnej części asymetrycznego, bardzo aktywnego meandra, Lesk, punkt 16  
Erosional niches in lower part of the cut bank of asymmetrical meander of the Lesk Creek, location 16
4. Intensywna erozja wzdłuż zewnętrznego brzegu haczykowatego meandra. Łacha meandrowa zarośnięta. Cisówka, punkt 23  
Intense erosion along outer cut bank of hook-shaped meander. Point bar vegetated. Cisówka Creek, location 23





Andrzej Karol TEISSEYRE — Współczesne procesy rzeczne w dorzeczu górnego Bobru i Strzegomki (Sudety Środkowe)  
Recent fluvial processes in drainage-basins of the upper Bóbr and Strzegomka Rivers in the Central  
Sudetes

PLANSZA IV

PLATE IV

Degeneracja meandrów na skutek częściowego odcinania łach meandrowych  
Chute cut-off degeneration of meander loops

1. Cisówka, punkt 23. Chłopiec stoi nad korytem przelewowym, z lewej porzucone koryto meandrowe, w środku resztki łachy meandrowej  
Cisówka Creek, location 23. Boy is standing near chute channel; note abandoned meander pool (left) and remnants of original point bar (centre)
2. Stadium bliskie degeneracji, Bóbr, punkt 2. Widoczny wysoki odsyp przelewowy  
Stage approaching chute cut-off degeneration, River Bóbr, locality 2. Note chute bar
3. Ten sam meander widziany z góry. Widoczne koryto przelewowe (białe)  
The same meander seen from above. Note chute channel (white)
4. Degeneracja w stadium początkowym: utrzymuje się już stały przepływ w korycie przelewowym (z prawej). Lesk, punkt 17  
Chute cut-off degeneration in an initial stage: continuous flow in chute channel (right) has been already established. Lesk Creek, location 17



2



4



1



3

Andrzej Karol TEISSEYRE — Współczesne procesy rzeczne w dorzeczu górnego Bobru i Strzegomki (Sudety Środkowe)  
Recent fluvial processes in drainage-basins of the upper Bóbr and Strzegomka Rivers in the Central  
Sudetes

## PLANSZA V

### PLATE V

#### Meandrowanie a wegetacja roślinna

#### Meandering and plant vegetation

1. Trawiasta łacha meandrowa haczykowatego meandra. Widoczne koryto przelewowe zarastające łopianem. Lesk, punkt 11  
Grassy point bar of hook-shaped meander. Note chute channel with dense vegetation of *Arctium*. Lesk Creek, location 11
2. Odsyp przelewowy na gęsto zarośniętej łasze meandrowej, Lesk, punkt 16  
Chute bar on densely vegetated point bar, Lesk Creek, location 16
3. Żwirowa ostroga przy brzegu łachy meandrowej, lokalizacja jak wyżej. Szerokość ostrogi w przybliżeniu równa średniej rocznej migracji brzegu zewnętrznego  
Gravelly spur along the actual edge of point bar, location as above. Width of the spur roughly equal to mean annual migration of the outer bank
4. Dojrzały, mało aktywny meander na Lesku w Jaczkowie, punkt 15. Łacha meandrowa nie zarośnięta, szybkość migracji bocznej mała  
Mature meander on the Lesk Creek at Jaczków, location 15. Bare point bar, the rate of lateral migration is small



2



4



1



3

Andrzej Karol TEISSEYRE — Współczesne procesy rzeczne w dorzeczu górnego Bobru i Strzegomki (Sudety Środkowe)  
Recent fluvial processes in drainage-basins of the upper Bóbr and Strzegomka Rivers in the Central  
Sudetes

PLANSZA VI

PLATE VI

Współczesne osady rzek meandrujących

Recent deposits of meandering rivers

1. Profil osadów holocenijskich wzdłuż meandra Lesku, punkt 13. Widoczne dwie warstwy piaszczystej gliny aluwialnej z pojedynczymi otoczkami oraz przedzielająca je warstwa orsztynu  
Holocene deposits in cut bank of the Lesk Creek, location 13. Note two layers of sandy clay with scattered pebbles and intervening layer of ortstein
2. Profil osadów holocenijskich nad Leskiem, lokalizacja jak wyżej. Widoczny torf na żwirach, przykryty piaszczystą gliną  
Holocene deposits along the Lesk Creek, location as above. From top to bottom: sandy clay, peat, clay, and gravel
3. Żwirry podścielające gliny aluwialne w dolinie Lesku w Czarnym Borze. Lokalizacja jak wyżej. Widoczna silna imbrykacja  
Gravels underlying sandy loam in the valley of the Lesk Creek, Czarny Bór, location as above. Note imbrication
4. Węgiel drzewny w glinie aluwialnej. Lesk, punkt 16  
Charcoal in sandy clay. Lesk Creek, location 16. Two-thirds natural size





2



4



1



3

Andrzej Karol TEISSEYRE — Współczesne procesy rzeczne w dorzeczu górnego Bobru i Strzegomki (Sudety Środkowe)  
Recent fluvial processes in drainage-basins of the upper Bóbr and Strzegomka Rivers in the Central  
Sudetes



## PLANSZA VII

### PLATE VII

1. Półnaturalny odcinek Bobru powyżej Błażkowej, punkt 4. Rzeka broniona przez gęste zarośla wierzbowe  
Semi-natural channel of the River Bóbr above Błażkowa, location 4. Banks protected by dense willow trees
2. „Regulacja” stosowana pospolicie przez rolników: sztuczne podcinanie brzegu. Bóbr, punkt 2  
Bank “protection” used commonly by farmers: artificial bank undercutting. River Bóbr, location 2
3. Regulacja Cisówki, punkt 24. W głębi zniszczone meandry  
Regulation of the Cisówka Creek, location 24. Destroyed meanders in the background
4. Uregulowany bieg górnego Lesku, punkt 11. Widać ślady superdojrzałych meandrów  
Regulated channel of the upper Lesk Creek, location 11. Note traces of supermature meanders



Andrzej Karol TEISSEYRE — Współczesne procesy rzeczne w dorzeczu górnego Bobru i Strzegomki (Sudety Środkowe)  
Recent fluvial processes in drainage-basins of the upper Bóbr and Strzegomka Rivers in the Central  
Sudetes