

Andrzej Karol TEISSEYRE*

MEANDER DEGENERATION IN BED-LOAD PROXIMAL STREAMS: REPEATED CHUTE CUT-OFF DUE TO BAR-HEAD GRAVEL ACCRETION — A HYPOTHESIS

CONTENTS

Abstract	103
Introduction	103
Development and degeneration of meandering reaches in some Sudetic rivers	104
Fossil counterparts of cut-off channels	111
Summary and conclusions	113
References	114
Degeneracja meandrów rzek górskich w wyniku przerostu żwirów górnych części łach meandrowych (streszczenie)	116

Abstract

In the upper Bóbr- and Strzegomka drainage basins (Middle Sudetes) recent streams flow mostly in meandering channels natural reaches of which provide conditions permitting the investigations into modern fluvial processes. All rivers studied are proximal, bed-load meandering streams somewhat entrenched (0.3–3.5 m) in deforested, loamy, valley floor alluvia. The slope of reaches investigated varies from 0.003 to 0.01. In flood, the streams were able to transport boulders, sand, silt, clay, large trees, and smaller plant fragments. Generally, any flood may develop supercritical flow over most of reaches studied. It has been found that typical of gentler-sloped valleys are well-developed meandering patterns, while in steep-sloped ones a more complicated (mixed) pattern usually exists including alternating meandering-, straight-, and braided reaches. It has been also found that old-stege meanders of the regular meandering patterns tend to grow in phase faster than in amplitude, which results in neck cut-off degeneration of meander

loops. In contrast, in steep-sloped valleys meandering channels frequently degenerate through the process of repetitive chute cut-off. It seems that at least in the reaches studied the process of chute cut-off degeneration is governed by the rate and direction of overgrowth of bar head gravel. The process results in the deflection of thalweg towards a low, inner bank (and relatively fine-grained point bar sequences), where a new chute channel is being soon eroded by-passing the gravel jam. The process of chute cut-off degeneration may be very rapid compared with that leading to the formation of a new meander. Generally, the degeneration may be regarded as indicative of instability of meandering channels under conditions of coarse bed-load and high water- and sediment discharge. Pebble fabric as an additional method in studying the processes of bar head gravel accretion as well as fossil counterparts of cut-off channels are also briefly discussed.

INTRODUCTION

It has been known since the time of experimental investigations by Wolman and Brush (1961) that supercritical flows can really meander. The investigations have confirmed and supported a long-known fact that mountain rivers flowing within flat valleys frequently meander irrespective of their high gradients

and consequent high values of stream power¹. It is also known that the processes of meandering (or

¹ Meandering paths of the upper Bóbr are known from old maps and copperplates of XVII and XVIII-th centuries: one can be seen in the author's private collection.

pseudomeandering according to Wolman and Brush) of supercritical flows differ somewhat from those known from low-gradient, lowland meandering rivers. The development of sinuous paths under conditions of supercritical flow has been also investigated experimentally by Hickin (1969). According to him a meandering pattern develops in a flume river in four progressive stages. These are followed by the last or regressive stage leading to the degeneration of the pattern into a network of shallow braids. Preliminary investigations by the present writer on some Sudetic mountain rivers have revealed that the degeneration of natural meandering reaches is not uncommon being usually realized by chute cut-off. Moreover, natural reaches studied enabled the present writer to look at the modifications in various stages of their development (and sometimes even in *statu nascendi*). The investigations seem to indicate that the degeneration of meander loops by chute cut-off is caused (and governed) by an overgrowth of bar head gravel.

The main purpose of this article is to summarize some results of my preliminary field investigations into modern fluvial processes carried out on rivers of the upper Bóbr and Strzegomka drainage basins in Central Sudetes. The investigations have been performed on selected natural reaches of both the master rivers and some of their tributaries including Złotna, Świdnik, Żywica, Lesk, and Chwaliszówka. Reaches assumed to be practically natural are those which banks and bottoms were not disturbed by man's

activity and discharge were not controlled (the last condition is practically not satisfied by the River Bóbr below the Bukówka Dam). The slope of reaches investigated in detail varies from 0.003 to 0.01. All the rivers investigated are typically bed-load, pebbly, proximal meandering streams characterized by large fluctuations in both water- and sediment discharge. Generally, in the area studied floods happen in spring and summer being caused by the melting of snow and heavy summer rains, respectively. In flood supercritical flow appears in most of reaches studied. Stages higher-than-bankful, however, are rather local phenomena and do not happen each year. The majority of natural reaches studied may be classed as meandering or mixed, the latter with the predominance of meandering reaches, too. The mixed patterns depend on an alternation of meandering-, straight-, and braided reaches and are typical of steep-sloped valleys. Generally, the rivers investigated are entrenched in valley-floor alluvia composed mostly of sandy loams with lenses and interbeddings of gravel. Almost everywhere the valleys are deforested. Banks, however, are frequently protected by willow trees. The terminology applied here to meandering reaches has been adapted mostly from Bluck (1971).

The writer would like to express appreciation to Professor Alfred Jahn whose helpful suggestions markedly improved the manuscript. The author is also greatly indebted to Dr. Sc., Dr. Sc. Ryszard Graziński and Jerzy Cegła for helpful criticism in editing the text.

DEVELOPMENT AND DEGENERATION OF MEANDERING REACHES IN SOME SUDETIC RIVERS

Some observations achieved in the lower courses of Złotna and Świdnik creeks appear to indicate that new meandering reaches may develop at the expense of some between-meander straight ones (comp. Hooke 1975). It also seems that especially unstable are upper portions of such between-meander channels occurring directly below active meander loops. The initial stage suggested is characterized by an alternation of oblique riffles, crescentic pools, and channel-edge bars (fig. 1). The thalweg meanders between them from one channel-edge pool to another². However, in a downstream direction the pattern is unstable: successive pools tend to straighten and riffles become gradually parallel to the channel banks. Finally, the differentiation disappears and the channel becomes

symmetrical and regular. It becomes more and more evident from field observations that the meandering of thalweg in a straight, below-meander reach is conditioned and forced by the flow pattern existing in a feeding meander loop. The meander pool seen in figure 1 (top) not only directs the thalweg to cross the straight channel obliquely. It is also the place of an intense lateral and bottom erosion yielding (in flood periods) much gravel, which — for the most part — becomes soon deposited in the form of the riffle 1. Furthermore, the underwater surface of the riffle is such as to concentrate the flow at the right bank of the channel³ (fig. 1). This leads to the forma-

² Meandering thalweg in a straight flume river was also produced experimentally by Karcz (1971) under conditions of subcritical flow,

³ As elsewhere, successive pools and riffles in a pool-and-riffle pattern are genetically connected forms of bed configuration. Commonly, pools act as "submerged chute channels" while riffles following them resemble to some degree "submerged chute bars" (comp. McGowen and Garner 1970).

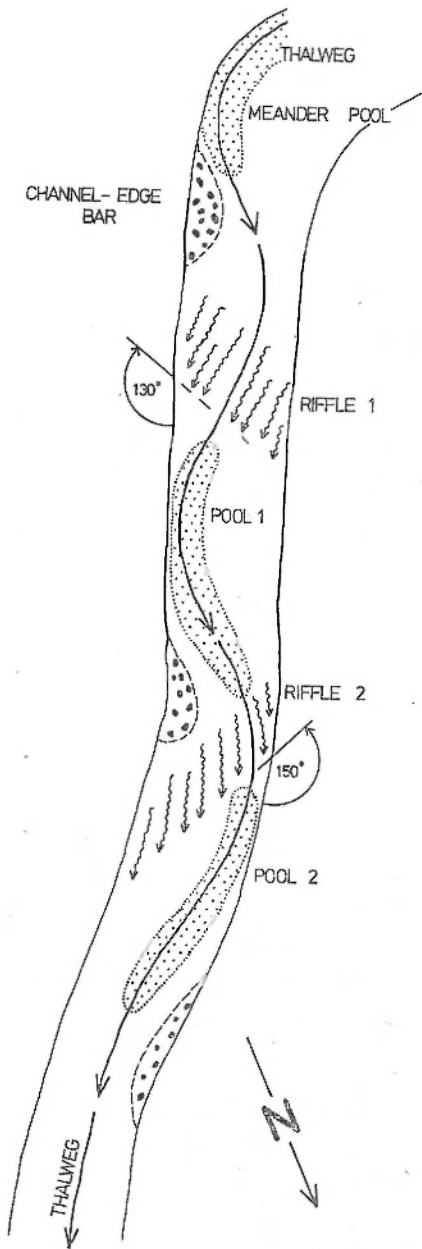


Fig. 1

Straight reach between two meanders, Złotna Creek between Miskowice and Bukówka Dam. Western Sudetes

Note meandering of the thalweg and alternation of pools, riffles and channel-edge bars. Not drawn to scale. Reach shown is some 60 m long. See text for more information

Odcinek prostego koryta między dwoma meandrami, rzeka Złotna między Miskowicami a Bukówką. Sudety Zachodnie

Główny nurt (thalweg) meandruje w prostym korycie. Bystrzyki (riffles), przegłębienia korytowe (pools) i lączy boczne (channel-edge bars) układają się na przemian. Szkic obejmuje odcinek koryta o długości około 60 metrów. Dalsze objaśnienia w tekście

tion of the crescentic pool 1. It may therefore be concluded that such an alternation of bars and riffles in proximal meandering streams may be a secondary phenomenon in relation to the process of forced ("inherited") meandering of the thalweg. It also seems that

the reversal is true in proximal braided streams, in which a low-stage flow tends to meander between bars left behind by high-stage discharges (Fahnestock 1963; Allen 1965; Williams and Rust 1969 and others). Finally, it is likely that the forced meandering tends to establish leading to the development of a new meandering channel at the expense of an original straight one (comp. Anderson 1967; Ackers and Charlton 1970; Englund and Skovgaard 1973; Hooke 1975).

Some observations by the present writer on the rivers considered seem to indicate that both the direction and magnitude of meander growth change with changes in stage of development of the meanders themselves. In other words, in young meanders the location of maximum erosion (and turbulence) is such that they grow in amplitude faster than in phase. This is the case until a stage of dynamic quasi-equilibrium is reached. Preliminary dendrochronologic studies suggest that at least in the area studied this may be a long process running into hundreds years (comp. Hickin and Nanson 1975). A further development of meandering loops leads to an old stage. In contrast to young meanders, the old ones tend to grow in phase faster than in amplitude, or even the growth in amplitude may be practically eliminated. The process leads to the degeneration of a meander scroll through neck cut-off.

However, old-stage meanders are rather rarely encountered in the rivers studied and are practically unknown from steep-sloped reaches. This is believed to be caused by another process of meander degeneration due to repetitive chute cut-off. An example of such a degeneration observed in a meander loop of the lower Złotna Creek is illustrated in figure 2. The original meander loop now preserved in a relic form was active till the 50's (approximate dendrochronological date). Contemporaneously, a flat point bar existed possibly at the low, convex, inner bank. One year a heavy flood resulted in cutting a new chute channel (now dead slough) in what was originally the point bar. The cut-off old channel underwent partial infilling with gravel in its upper part (gravelly plug in fig. 2), while silt and sand were deposited in its lower segment (sand plug). The inner portion of the inactive channel is now occupied by a swamp and a small oxbow lake. The channel is separated from the dead slough by a crescentic, gravelly dike composed of coarse (cobble) channel-edge gravel overlying older pool and/or point bar gravel. Then a heavy summer flood of '73 resulted in further degeneration of the reach and another chute channel has been eroded. During the last 3-year period, the channel has migrated consequently towards the inner bank. Perhaps this may be best accounted for by the fact

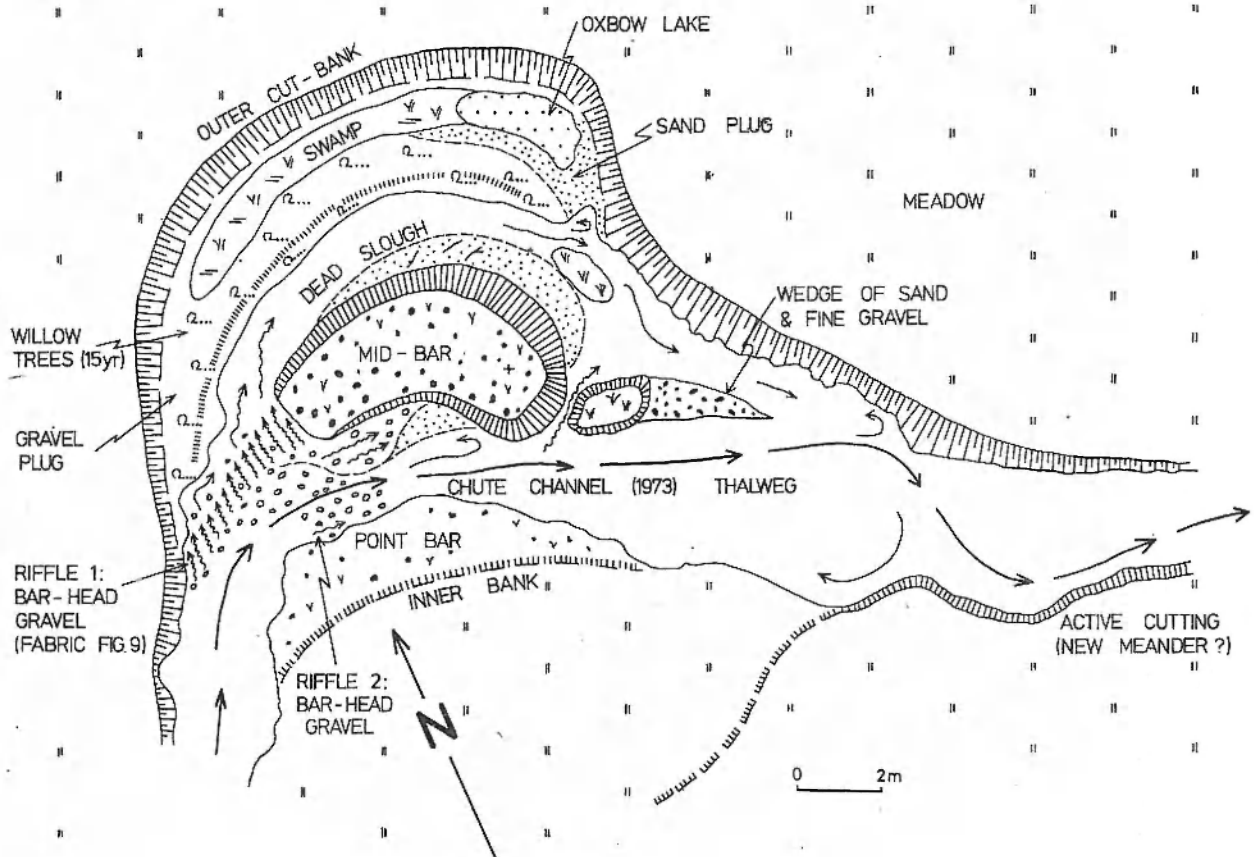


Fig. 2

Chute cut-off on Złotna Creek above Bukówka Dam

Note deflection of flow (in 1973) due to plugging of the old sinuous channel (now dead slough) by bar-head gravels. See text for further explanation

Częściowe odcięcie pętli meandrowej (chute cut-off) w jednym z meandrów Złotnej powyżej Bukówki

Odchylenie prądu (w roku 1973) nastąpiło na skutek zacypania starego, krętego koryta (obecnie zamierającego — dead slough) przez żwirny górny części lachy meandrowej (bar-head gravel). Dalsze objaśnienia w tekście

that relatively fine-grained point bar deposits have been much more readily eroded than tightly packed cobble gravel flooring the left bank of the channel. The dead slough is still active during periods of higher-than-normal flow. However, it becomes silted in its lower part and gradually filled with gravel in the opposite end as soon as the stage subsides. The gravel overlies the original bar head gravel. The original point bar deposits (platform gravel and supra-platform sandy gravel) preserved between the dead slough and the chute channel are now buried below a delta-type mid-channel bar (fig. 3, see also fig. 2). The flat, top surface of the bar is almost horizontal. The bar increases in height downstream, where slip faces slope into the surrounding channels at an angle of repose of sandy gravel. In a cross-section the bar reveals a form-concordant bedding (fig. 3). The origin of the mid-channel bar in question is attributable to a sudden decrease in both stream competency and capacity resulted from a rapid widening of the high-stage channel and abrupt change in stream direction (additional energy dissipation due to hydrau-

lic jump is discussed below). Furthermore, the presence of well-developed crossbedding within the mid-channel bar suggests deposition in a relatively quiet water, most likely under conditions of rapidly expanding subcritical flow (comp. Jopling 1962; 1963a, b; 1966a, b; Jopling and Richardson 1966). Bar head gravels, on the other hand, had to be deposited from rapid flow. Consequently, hydraulic jump is to be expected during flood discharge in the area of bar head gravel, just below the outlet of the straight, feeding channel (fig. 2), where supercritical flow passes locally into subcritical one⁴. The energy dissipation due to hydraulic jump resulted in an accelerated, selective accumulation of coarse bed-load material giving rise to the formation of cobbly bar head gravel. The gravel is tightly packed, strongly imbricated and — near the surface — typically openwork in character. It forms something like and underwater dike damming the dead slough, at least in between-flood periods. The

⁴ Hydraulic jump was observed here during an additional inspection to the reach in March '75.

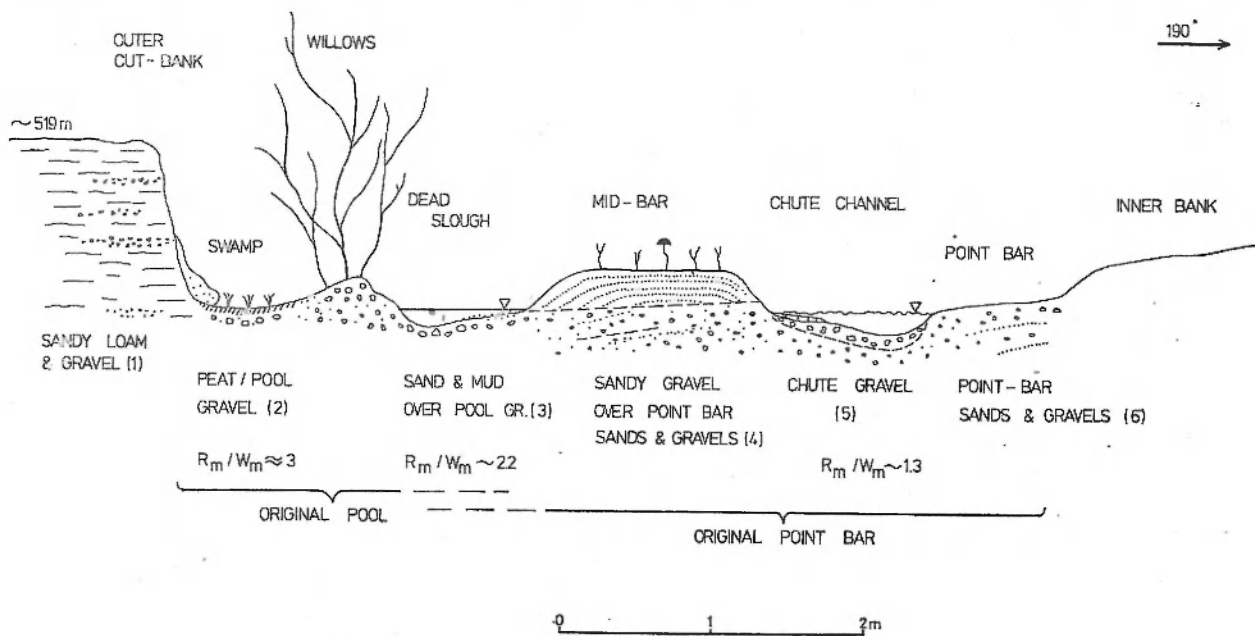


Fig. 3

Cross-section through meandering reach shown in plan in figure 2

Vertical and horizontal scales equal. Degeneration of meandering pattern is expressed by diminution in the r_m/w_m index from 3 to 1.3. See text for explanation

Przekrój przez odcinek meandrujący pokazany na figurze 2

Skale pionowa i pozioma równe. Oznaczenia form jak na figurze 2. Współczesne osady: piaszczysta glina ze żwirami (1), torf na żwirach głębi meandrowej (2), piasek i muł na żwirach (3), piaszczysty żwir na piaskach i żwirach łachy meandrowej (4), żwirzy aktywnego koryta (5) oraz żwirzy i piaski łachy meandrowej (6). Degeneracja układu meandrowego wyraża się zmniejszeniem wskaźnika r_m/w_m z 3 do 1,3. Dalsze objaśnienia w tekście

observations clearly indicate that the process of chute cut-off is caused by an overgrowth of bar head gravel. The accumulation results in partial damming of the sinuous channel and consequent deflection of the flow towards the low, inner bank. Here, a new chute channel is soon eroded by-passing the gravel jam. As a rule, chute channels are cut down into relatively fine-grained point bar deposits. Generally, they tend to migrate towards low, inner banks thus leading to the degeneration and abandonment of an original sinuous reach. Chute channels are rather steep and even a mean-stage flow tends to be supercritical here. A similar overgrowth of bar head gravel has been found by the writer in all reaches revealing such a chute cut-off degeneration of meander loops.

Tightly packed, strongly imbricated gravel has been also found on the gravelly barrier separating the swamp from the dead slough, within the upper segment of the latter as well as in the chute channel. The mid-channel bar, on the other hand, is made up of finer sandy gravel (mostly pebbly). Peculiar laminated deposits have been found to accumulate within the oxbow lake. These include subhorizontal laminae of mud and sandy mud rich in rotten plant matter (thinner autumn-winter layers) alternating with thicker laminae of sandy mud, silt, and even coarse sand with granules (lighter spring-summer laminae). The

latter are attributable to spring- and summer floods when flows carrying suspended load invade the lake over the relatively low sand plug (fig. 2). Finally, peat, mud, colluvial deposits, and bog iron have been observed to form in the swamp.

Shown in figure 4 is an old-stage meander observed in the lower Złotna Creek. Here, areas of maximum turbulence and maximum lateral erosion are limited to the northern segments of the concave banks. Consequently, both the meanders grow in phase faster than in amplitude, which may lead to neck cut-off degeneration of the reach. Similar tendencies have been also noted in another old-stage meanders studied. However, it is worthy of mention that in the case considered both the chute channels and the old meandering channels are active simultaneously. This resulted in the formation of a peculiar meandering-braided pattern.

A curious submerged bar has been observed to grow within the upper meander loop (fig. 4). Here, due to a characteristic eddy pattern developed by the secondary meander-pool flow, an underwater knoll has originated being made up almost entirely of suspended-load materials (sand, silt, mud, and plant fragments). The feature, conical in cross-section, grows over what was originally pool gravel.

Similar processes of chute cut-off have been also

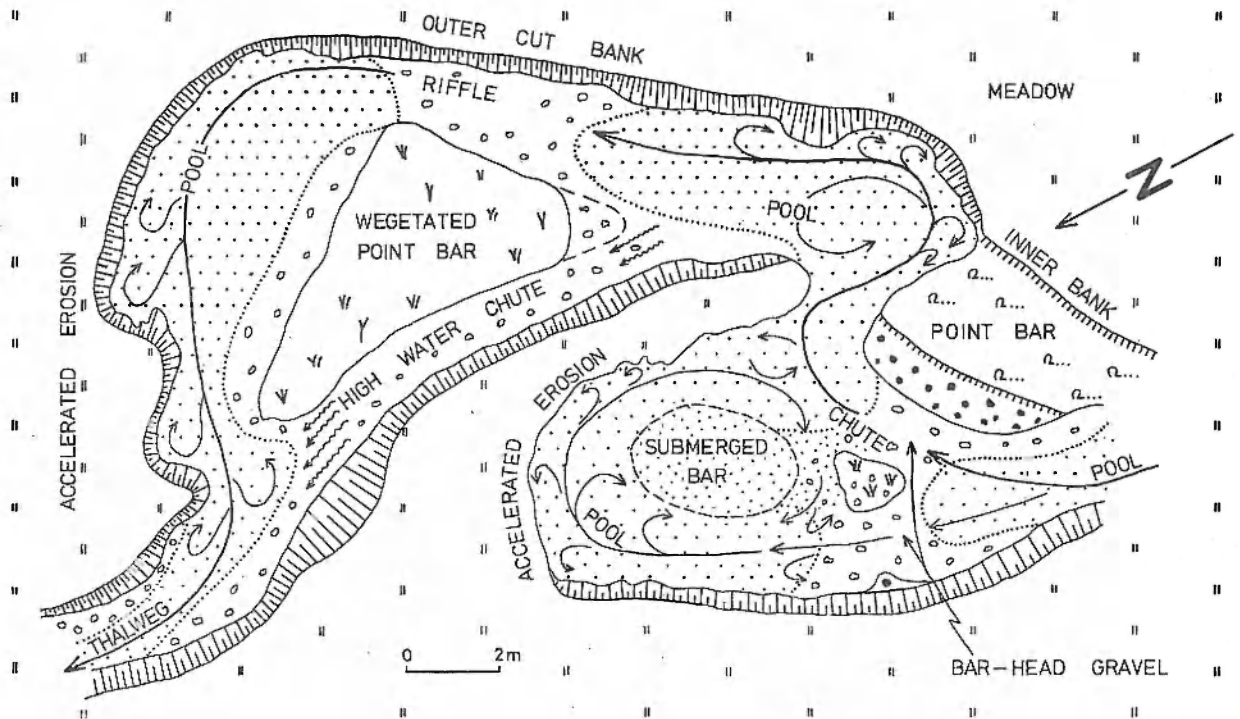


Fig. 4

Old-stage meanders on Złotna Creek between Miskowice and Bukówka Dam

Note chute channels and remnants of original point bars. Both meanders grow in phase faster than in amplitude. Open circles indicate mostly bar-head gravels and bar platform gravels. See text for more information

Meandry w stadium starym na rzece Złotnej między Miskowicami a Bukówką

Widoczne są koryta odcinające zakola meandrowe (chute) i resztki pierwotnych łach meandrowych (point bar). Oba meandry migrują szybciej w dół strumienia niż rosną „na amplitudę”. Puste kółka oznaczają głównie żwiry górnych części łach meandrowych i podwodnych platform. Wolne od szrafury są przegłębienia korytowe (pool). Zawierania turbulენტne atakują głównie brzegi północne (accelerated erosion). W górnym meandrze utworzyła się eliptyczna w planie, zanurzona łacha piaszczysto-żwirowa (submerged bar). Inne napisy jak na figurze 2. Dalsze objaśnienia w tekście

studied in channels of small, meandering brooks like Chwaliszówka, for instance, a small, right-side tributary of the upper Strzegomka (fig. 5). Here, some entrenched and relatively stabilized natural channels distinguish themselves in a repetitive abandonment and reactivation of meandering- and chute channels (fig. 6). All major modifications found on the reach in question resulted from exceptional floods, which happened from time to time. The essential changes in topography and channel pattern in both the reaches discussed are clearly governed by the accumulation and erosion of bar head gravels. In the latter case, these may deviate the thalweg once towards the outer bank and some other time towards the low, inner bank.

In order to investigate the internal organization of gravels studied the arrangement of flat clasts has been measured in the field according methods described previously (A. K. Teisseyre 1968, 1975a, b). In the straight reach (fig. 1) measurements have been made on channel-edge bars and within the pools

1 and 2. In the channel-edge bar the arrangement of flat clasts in found to be size-dependent (fig. 7). Cobbles and small boulders tend to dip practically directly upcurrent, while pebbles reveal striking oblique upcurrent imbrication. This may be best accounted for by differences in stage responsible for the accumulation of cobbles and pebbles. The large clasts were laid down by a nearly bankful discharge in a bottom part of the flood channel. Pebbles, on the contrary, were deposited during a much lower stage and their arrangement had to be strongly affected by the river banks.

Pebble fabric in a wide, upcurrent portion of the pool 1 is illustrated in figure 8a. Here, flat clasts are strongly imbricated with normal upcurrent imbrication in the axial part of the pool, while oblique upcurrent imbrication dominates in its edge portions. The effect of pool's margins is even more distinct in a narrow, central part of the pool 2 (fig. 8b). Here, normal upcurrent imbrication is practically absent. It may be concluded, therefore, that steep underwater

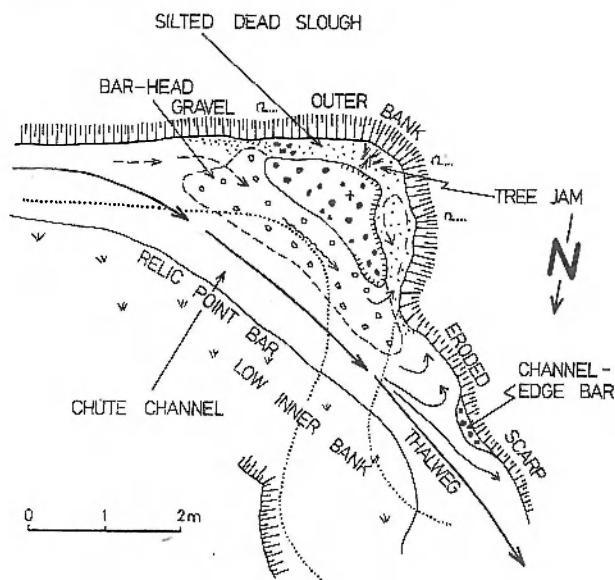


Fig. 5

Chute cut-off on small brook Chwaliszówka, 1,5 km south of Stare Bogaczowice

Chute channel was eroded during an exceptional autumn flood in November '75. Note silted cut-off channel (dead slough) and mid-channel bar grown over what was originally bar platform gravel. Chute channel tends to migrate towards the low, inner bank

Częściowe odcięcie koryta meandrującego w potoku Chwaliszówka, 1,5 km na południe od Starych Bogaczowice

Koryto odcinające (chute channel) zostało wyerodowane w czasie wyjątkowej powodzi w listopadzie 1975. Widoczne zamulane, odcięte koryto meandrujące (silted dead slough) oraz łacha centralna narosła na pierwotnych żwirach platformy łachy meandrowej. W zamulonym korycie utworzył się zator z pni (tree jam). Koryto odcinające ma tendencję do przesuwania się w kierunku niskiego, wewnętrznego brzegu (low inner bank) rozmywając drobnoziarniste osady łachy meandrowej (relic point bar)

pool slopes may strongly influence the orientation of flat pebbles which, in turn, may be irrelative to the effect of stream's banks.

Figure 9 illustrates pebble fabric of the bar head gravel shown in figure 2. This is characterized by strong imbrication and a relatively high dispersion in pebble dip directions. Here, similarly as in other reaches studied in detail, normal upcurrent imbrication is the most dominant feature (chief maximum in fig. 9). Imbrication attributable to the relatively weak minor riffle flow is rather indistinct. A submaximum in the NW quadrant refers to pebbles flooring the surface of the riffle 1 sloping gently into the dead slough (fig. 2). These pebbles did not assume a stable position in relation to the main current as well as the minor riffle flow.

Pebble fabric in the mid-channel bar (fig. 2 and 3) is rather a complex phenomenon. Here, in the topset deposits as well as in the upcurrent, subhorizontally bedded portion of the bar normal upcurrent imbrication is the most dominant feature. In the crossbedded

part including the slip faces pseudoimbrication occurs (flat pebbles parallel foresets, comp. Dżułyński 1963). The dispersion in dip direction of both crossbedding and pseudoimbrication is rather large. Finally, on the slip face dipping into the chute channel (fig. 2) some pebbles may be imbricated obliquely upcurrent in relation to the main flow in the chute channel.

The observations discussed above seem to indicate that the processes of erosion and deposition in meander loops of proximal, bed-load, pebbly streams are governed by the accumulation of bar head gravel. In particular, it may be concluded that the chute cut-off degeneration of such meanders is attributable to an overgrowth of gravel in question. Generally, the accumulation of bar head gravel is limited to flood periods (comp. Bluck 1971). It results mostly from a sudden diminution in stream competency and capacity due to channel widening, substantial change in flow direction as well as the appearance here of hydraulic jump. As a rule, the overgrowth of bar head gravel results in degeneration of meandering channels. The process is relatively a rapid one (some 20 - 30 years for a well-developed meander scroll), especially compared with the development of a new meandering reach, which in the area studied runs at least into hundreds years. In particular, the process of rapid chute cut-off and abandonment of cut-off channels is attributable to a rapid growth of bar head gravel under conditions of a large supply of coarse gravel to a reach⁵. In such a case gravels tend to accrete vertically and migrate upstream into a feeding channel. In other words, the frequency of channel cut-off in proximal, bed-load meandering streams appears to be unrelated to channel sinuosity, which is the case with high-sinuosity, distal meandering rivers (Allen 1965). On the other hand, if the supply of coarse gravel to a meandering reach is limited, the shoal developed by bar head gravel may be practically stationary. This may result in the development of peculiar meandering-braided patterns in which both meandering- and chute channels are active simultaneously. Finally, it may be concluded that the process of chute cut-off degeneration is indicative of instability of meandering channels under conditions of coarse bed-load and high water- and sediment discharge (comp. e. g., Fahnestock 1963).

⁵ That the rate of pattern change is directly related to the amount of bed load available in a stream appears to be a general feature applicable to both meandering- and braided mountain rivers (comp. Fahnestock 1963).

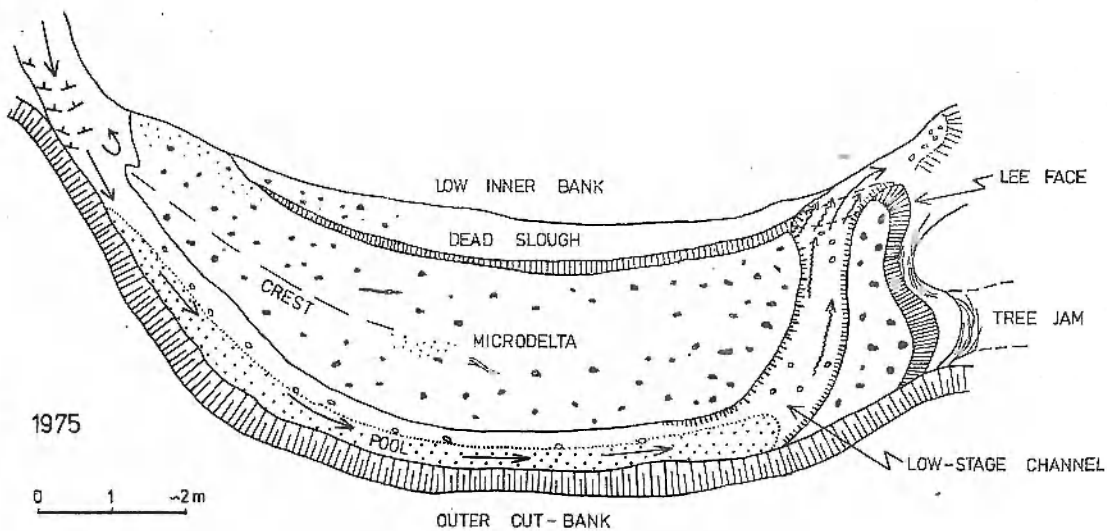
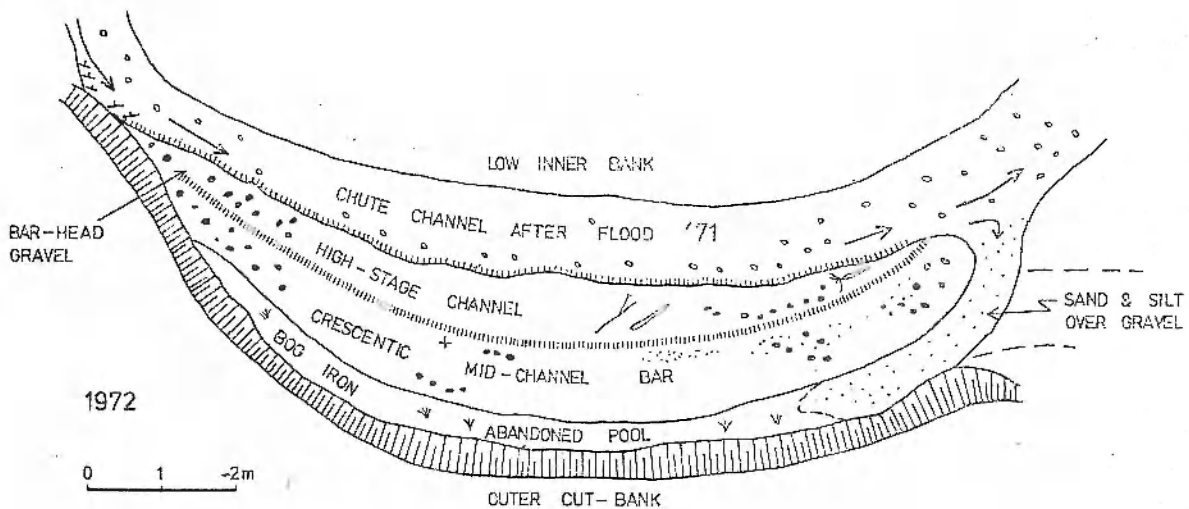
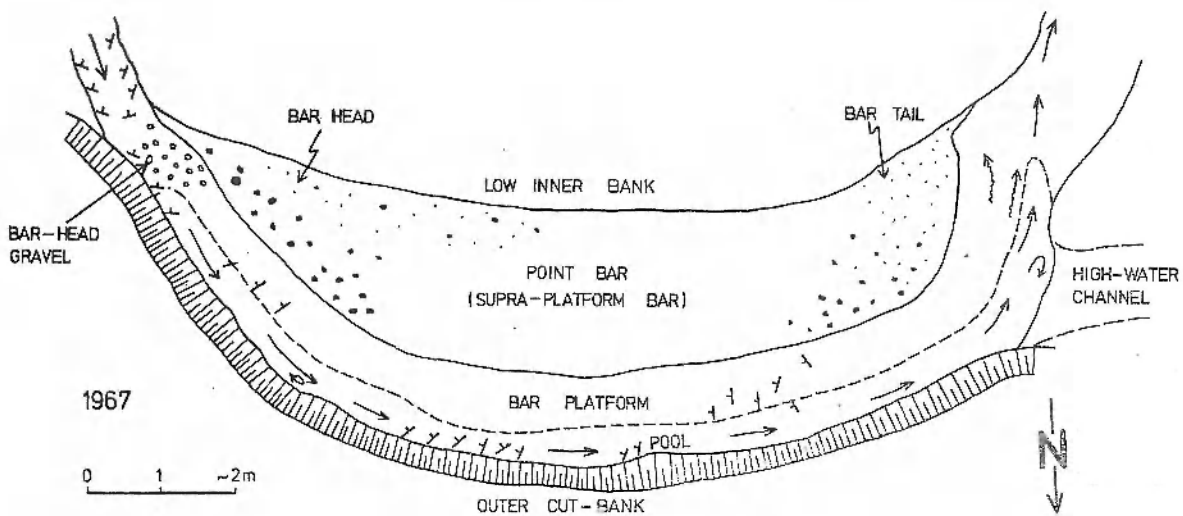


Fig. 6

Erosion and deposition in a meandering channel, Chwaliszówka brook, location as above

"Regular" meandering pattern with low point bar sequence (1967) was modified during summer flood of 1971 with the development of chute channel and crescentic mid-channel bar. Heavy flood in November '75 resulted in digging out and reactivation of the original meandering channel. This is partly entrenched in a microdelta-type bar which becomes higher and coarser downstream. The formation of microdelta was governed by partial damming of the brook by tree jams. Symbols of strike and dip of strata indicate the arrangement of AB-planes of flat pebbles

Erozja i sedymentacja w łuku meandra, potok Chwaliszówka, lokalizacja jak wyżej

„Regularny” meander wraz z niską łachą meandrową (point bar, 1967) został przekształcony w wyniku powodzi letniej (1971) z utworzeniem koryta odcinającego (chute channel) i łupkowatej łachy centralnej. Silna powódź w listopadzie 1975 spowodowała odgrzebanie i reaktywację oryginalnego koryta krętego. Koryto to jest częściowo wcięte w osady łachy centralnej typu mikrodelty, której wysokość wzrasta z biegiem potoku. Utworzenie mikrodelty było spowodowane częściowym zatamowaniem strumienia przez zator z pni (tree jam). Objasnienia oznaczeń: bar head — górna, naprądowa część łachy meandrowej; bar tail — dolna część łachy meandrowej; high-water channel — koryto przelewowe; supra-platform bar — górna, nadwodna część łachy meandrowej; bar platform — (podwodna) platforma łachy meandrowej; bog iron — ruda bagienna; abandoned pool — porzucone przegłębienie korytowe; lee face — powierzchnia zsypu mikrodelty. Znaki biegu i upadu ilustrują położenie powierzchni AB otoczków płaskich

FOSSIL COUNTERPARTS OF CUT-OFF CHANNELS

Channel features abound in many continental deposits (see e.g., Bluck and Kelling 1963). Low sinuosity fossil channels (mostly symmetric in cross-section)

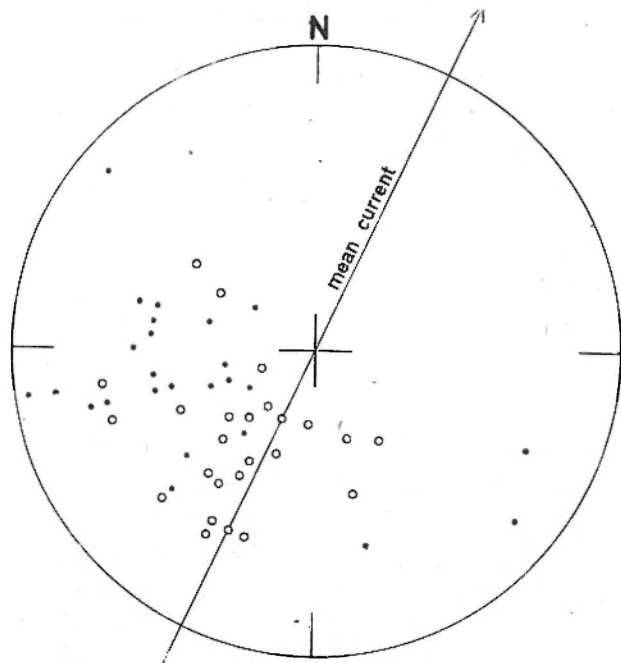


Fig. 7

AB-fabric of flat clasts in channel-edge gravel (see fig. 1 for location)

Upper hemisphere projection: circles — flat cobbles and small boulders (25 measurements); points — flat pebbles (25 readings). See text for interpretation

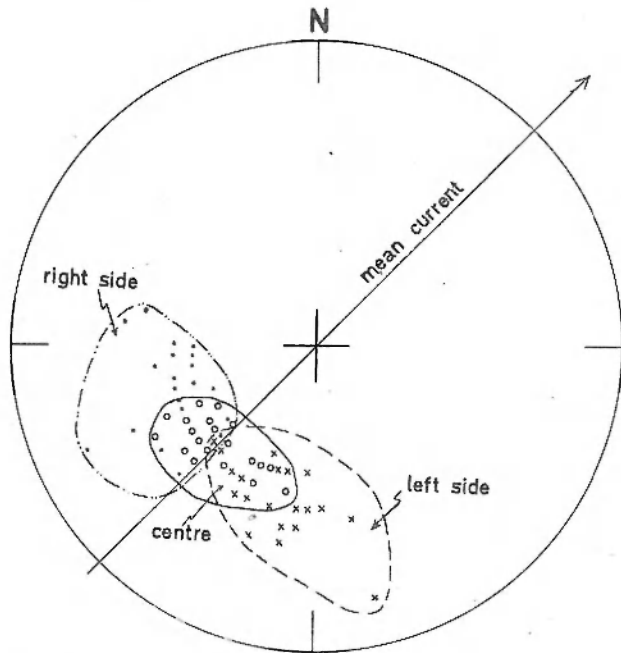
Ułożenie otoczków płaskich w żwirach łachy bocznej (lokalizacja na fig. 1)

Górna półkula: kółka — otoczki klasy 64–300 mm (25 pomiarów); punkty — otoczki frakcji 32–64 mm (25 pomiarów). Strzałka oznacza średni kierunek prądu. Interpretacja w tekście

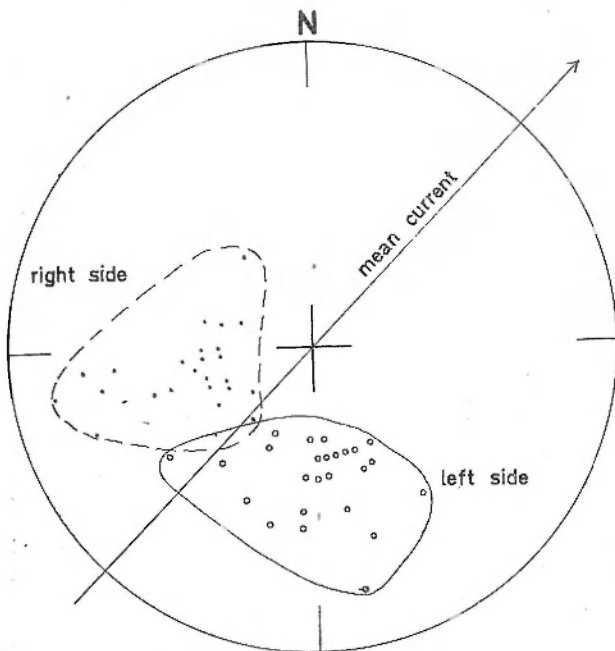
as well as sinuous ones (as a rule asymmetric) have been recently described by the present writer from the Lower Carboniferous deposits of the Intrasudetic Basin (Teisseyre 1975b). Summarized in the paper

cited are also criteria useful in a qualitative evaluating of channel sinuosity in two-dimensional outcrops of lithified deposits. Here the writer would like to add few comments about fossil cut-off channels and deposits infilling them. In the fluvial Lower Carboniferous deposits of the Intrasudetic Basin cut-off channels are rather common features, especially in facies attributable to basin-floor deposits (they are practically unknown from typical, coarse-grained alluvial-fan sequences). Features observed in outcrops vary markedly in both size (i. e., channel width and depth) and the shape of their cross-sections. They range in width from a metre or so to several tens of metres the largest being several metres deep. Both symmetrical and asymmetrical features have been found: clearly in the Dinantian river systems the processes of channel cut-off affected each high- and low-sinuosity reaches. However, in the case of asymmetrical cut-off channels it is rather difficult to decide whether a chute- or neck cut-off process took really place.

Deposits infilling the cut-off channels vary also in both texture and structure. Small, shallow channels (up to several decimetres deep) are commonly filled up with homogeneous or nearly homogeneous siltstone and/or fine-grained sandstone. Deposits of deeper and wider channels, on the other hand, commonly reveal a variety of sedimentary structures and involve variously textured sediments. The variability enabled the present writer to distinguish at least three types of channel-fill deposits. The type I deposits correspond to crossbedded sandstones and conglomeratic sandstones infilling the cut-off channels throughout. Crossbedding is primarily developed on a small-scale (ripple cross-lamination) with some intervening layers of dune crossbedded sandstone, which tend to increase in abundance upwards. The deposits may be up to 3.5 metre thick and as a rule are embedded in conglomerate. Most likely they were



a



b

Fig. 8

AB-fabric of flat rocks in pool gravel (see fig. 1 for location)

Upper hemisphere: a — fabric of flat cobbles in relatively wide upstream end of pool 1 (60 measurements); b — fabric of flat cobbles and small boulders in narrow, central portion of pool 2 (50 readings). See text for interpretation

Ułożenie otoczków płaskich w żwirach przegłębienia korytowych (lokalizacja na fig. 1)

Górna półkula: a — ułożenie otoczków płaskich klasy 64–256 mm w względnie szerokim, naprądowym zakończeniu przegłębienia korytowego 1 (60 pomiarów), strzałka oznacza średni prąd. Kółkami zaznaczono ułożenie otoczków w środku przegłębienia, punktami — w jego prawej części bocznej i krzyżkami — w lewej części bocznej; b — ułożenie otoczków płaskich klasy 64–300 mm w wąskiej, środkowej części przegłębienia korytowego 2 (50 pomiarów). Oznaczenia jak na figurze 8a. Interpretacja w tekście

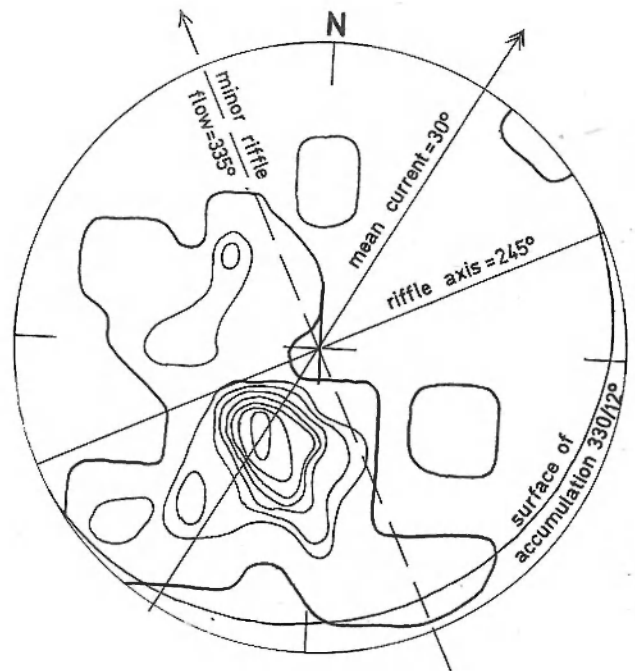


Fig. 9

AB-fabric of flat clasts in cobbly bar-head gravel (riffle 1 in fig. 2)

Upper hemisphere. 50 readings. Concentration lines: 0–2–4–6–8–10–12–14–(16) per cent. See text for interpretation

Ułożenie klastów płaskich w żwirach górnej części łachy meandrowej (bystrzyk — „riffle” 1 na fig. 2)

Górna półkula. 50 pomiarów. Podwójna strzałka wyznacza średni prąd, strzałka z linią przerywaną — drugorzędny przepływ w obrębie bystrzyka. Oś bystrzyka = 245°, powierzchnia akumulacji żwirów = 330/12°. Linie koncentracji: 0–2–4–6–8–10–12–14–(16)%. Interpretacja w tekście

laid down in partly cut-off channels (comp. Doeglas 1962). In such channels sand accumulated from relatively weak, tranquil currents (lower flow regime), while outside them it was undoubtedly carried as a suspended-load material, at least during high-stage discharges. The type II deposits are dominated by still finer-grained sediments (siltstone, fine-to-medium grained sandstone) which commonly tend to coarsen upwards (coarsening upwards sequences). The finest deposits tend to occur at the bottom of the original channel features. These are homogeneous or subhorizontally laminated siltstone or clayey sandstone. Commonly they contain fine, coalified plant matter or even thin streaks of coal. Most likely they represent local oxbow lake deposits. Upwards, the siltstone passes gradually into fine-to-medium grained sandstone. Commonly these reveal small-scale crossbedding (ripple cross-lamination), coalified plant fragments, pyrite concretions, stigmata casts, and even tree trunks buried in situ. At the top the deposits pass gradually into coarse grained or conglomeratic sandstone (subhorizontally bedded or revealing large-scale,

dune crossbedding). As a rule, these contain only molds of transported trunks and indicate a re-establishment of channel-phase conditions over what was originally an inactive, abandoned channel. The deposits considered are attributable to entirely cut-off channels, which received suspended-load deposits during periods of higher discharge. The thickness of coal partings they may contain seems to be a function of intensity of alluviation in a region. Finally, the type III deposits correspond to multiple beds (or bedsets) containing several thin fining-upward sequences and some coarsening-upwards ones. The latter tend to dominate upwards in a profile. The deposits are similar to flood-plain sediments and their origin is not yet quite clear.

Amongst so-called "secondary structures" typical of the deposits in question are load casts, flame structures, short clastic dikes, colluvial deposits, and perhaps also clastic wedges (comp. A. K. Teisseyre 1975a). Rarely encountered are such structures as

mudcracks, trails, bubble casts (?), and deformations attributable to the expulsion of water and gases.

Another common feature of the deposits considered is a total predominance of fine-grained materials representing a suspended-load of original streams over bed-load ones. This renders the deposits of cut-off channels to be similar to (and sometimes hardly distinguishable from) typical flood plain sediments (comp. Glenn and Dahl 1959; Bernard *et al.* 1962; Bernard and Major 1963; Bluck 1971 and others). Perhaps the similarity may account for the rarity in the geologic literature of descriptions of fossil deposits of cut-off channels the identification of which needs detailed observations in good outcrops. Furthermore, the above-mentioned similarity clearly suggests that flood plain deposits may be built up (and certainly they are) to some degree at least of sediments laid down in cut-off channels (comp. experimental investigations by Bridge 1974, 1975).

SUMMARY AND CONCLUSIONS

The chief conclusions of the work are as follows.

1. In flat valleys the majority of the Sudetic rivers' flow in meandering channels irrespective of high gradients of the valleys, a total predominance of bed-load over suspended-load, large fluctuations in discharge, and rather a high stream power. The hydraulic gradient of reaches studied in detail varies from 0.003 to 0.01. Supercritical flow was frequently found to develop in the majority of reaches inspected, but especially during periods of higher-than-normal discharge. Recent deposits of the rivers are composed of gravel, sand, and mud. As a rule, the streams are entrenched in valley-floor alluvia composed primarily of sandy loams with lenses and interbeddings of gravel and sand. The sinuosity of reaches investigated seems to depend — to some degree at least — on hydraulic gradient. High values of sinuosity as well as regular, well-developed meandering patterns are typical primarily of reaches of relatively low gradient (this is true especially in the case of lower reaches of some tributaries of the River Bóbr). In steep-sloped valleys channel sinuosity is generally lower and well-developed meanders occur rarely. Typical of such valleys are mixed channel patterns (but still essentially meandering). These involve alternating meandering, straight, and braided reaches. However, processes of meander degeneration have been found in both the types of rivers. High-sinuosity meandering reaches usually degenerate through either neck cut-off or avulsion. Mixed-pattern meandering channels, on the other hand, tend to degenerate by chute cut-off.

2. Preliminary investigations by the present writer seem to suggest that straight reaches are unstable, particularly below meandering reaches. The flow pattern typical of meandering channels results in a forced meandering of the thalweg in a between-meander straight reach. The process leads to the formation of asymmetrical straight channels. These are characterized by an alternation of channel-edge bars, oblique riffles, and crescentic pools. It also seems that at least in the case of rivers studied the alternation of channel-edge bars and oblique riffles is a secondary phenomenon in relation to the process of forced meandering in a straight reach. Finally, it is likely that such a meandering tends to become a permanent feature and may give rise to the formation of a new meandering reach.

3. It has been found that "young" meanders grow generally in amplitude faster than in phase. This seems to be true until a stage of dynamic quasi-equilibrium is reached (the r_m/w_m index for such meanders varies from 2 to 4 but the data available are still too scarce to be conclusive: comp. Hickin 1974, Hickin and Nanson 1975). In an "old stage", areas of maximum turbulence (and maximum lateral erosion) are restricted to some portions of eroded, outer banks. Consequently, such "old" meanders as a rule grow in phase faster than in amplitude. Not uncommonly the process results in neck cut-off of a meander loop.

4. Chute cut-off may take place in any stage of meander development and seems to be unrelated to channel sinuosity. In reaches studied, the process

is connected with a partial damming of a channel by bar head gravel. This accumulates during flood periods and tends to migrate upcurrent into a feeding channel. The rate of growth (and upcurrent migration) of such a gravel is a function of gravel supply to a reach. Any overgrowth of bar head gravel may deflect the thalweg towards an inner, low bank where a new chute channel by-passing the gravel jam is soon eroded in relatively fine-grained point bar deposits. An old, sinuous reach becomes gradually inactive. Chute channels are rather steep and frequently carry supercritical flow. In general, the channels tend to migrate towards a low, inner bank. The process of chute cut-off is an expression of instability of meandering channels under conditions of coarse bed-load and large water- and sediment discharge. In some instances (a relatively low supply of gravel to a reach) the process may also lead to the formation of peculiar meandering-braided reaches in which meandering- and chute channels are active simultaneously.

5. Preliminary dendrochronologic studies appear to indicate that the degeneration of meandering reaches through chute cut-off may be a very rapid process (some 20–30 years), especially compared with a much more long phenomenon of meander development (running in the rivers studied at least into hundreds years).

6. Investigations into pebble fabric may provide significant additional criteria in analyzing particular erosional- and accumulation forms, particularly in fossil deposits.

7. In the fluvial Lower Carboniferous deposits of the Intrasudetic Basin cut-off channels and deposits thought to have been accumulated within them are very common. The deposits may be subdivided into three or four groups. These may represent either three types of cut-off channels or three stages of cut-off processes operating on original channels. In general, the deposits distinguish themselves in a total predominance of suspended-load materials over bed-load ones. This results in a striking similarity between the deposits and sediments of flood plains. It may be also assumed that at least part of the latter may be (and really are) attributable to the deposition within inactive channels. The identification of fossil deposits of cut-off channels requires good outcrops and may be rather difficult if an original topography cannot be seen and studied in detail. It has been also found that typical of the fossil deposits of cut-off channels are coarsening-upwards sequences and that the accumulation of vegetable matter tends to be the most effective during earlier stages of channel abandonment and infilling.

REFERENCES

- ACKERS P., CHARLTON F. G., 1970: The geometry of small meandering streams. *Inst. Civil Engin. Proc. Supl.* 12, Paper no. 7328S, p. 289–317.
- ALLEN J. R. L., 1965: A review of the origin and characteristics of recent alluvial sediments. *Sedimentology*, vol. 5, p. 89–191.
- ANDERSON A. G., 1967: On the development of stream meanders. *Internat. Assoc. Hydraulic Research*, 12th Congr., Fort Collins, Colo., Proc. vol. 1, p. 370–378.
- BERNARD H. A., LEBLANC R. J., MAJOR C. F., 1962: Recent and Pleistocene geology of southeast Texas. Geol. Gulf Coast and central Texas and guidebook of excursions. Houston Geol. Soc., p. 175–224.
- BERNARD H. A., MAJOR C. F., 1963: Recent meander belt deposits of the Brazos River: an alluvial "sand" model (abstr.). *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, vol. 47, p. 350.
- BLUCK B. J., 1971: Sedimentation in the meandering River Endrick. *Scott. J. Geol.*, vol. 7, p. 93–138.
- BLUCK B. J., KELLING G., 1963: Channels from the Upper Carboniferous Coal Measures of South Wales. *Sedimentology*, vol. 2, p. 29–53.
- BRIDGE J. S., 1974: Mathematical model and Fortran IV program for computer simulation of sedimentation in meandering streams. *Computer applications*, vol. 2, nos. 1 and 2, p. 217–266.
- 1975: Computer simulation of sedimentation in meandering streams. *Sedimentology*, vol. 22, p. 3–43.
- DOEGLAS D. J., 1962: The structure of sedimentary deposits of braided rivers. *Sedimentology*, vol. 1, p. 167–193.
- DŹUŁYŃSKI S., 1963: Wskaźniki kierunkowe transportu w osadach fliszowych. Directional structures in flysch. *Studia geol. pol.*, vol. 12, p. 1–136.
- ENGELUND F., SKOVGAARD O., 1973: On the origin of meandering and braiding in alluvial streams. *J. Fluid Mechanics*, vol. 57, p. 4, p. 289–302.
- FAHNESTOCK R. K., 1963: Morphology and hydrology of a glacial stream: White River, Mount Rainier, Washington. *Geol. Surv. Prof. Paper*, no. 422–A, p. A1–A 67.
- GLENN J. L., DAHL A. R., 1959: Characteristics and distribution of some Missouri River deposits. *Proc. Iowa Acad. Sci.*, vol. 66, p. 302–311.
- GRADZIŃSKI R., 1973: Wyróżnianie i klasyfikacja kopalnych osadów rzecznych (in Polish). *Postępy Nauk Geol.*, nr 5, p. 57–112.
- HICKIN E. J., 1969: A newly identified process of point bar formation in natural streams. *Am. J. Sc.*, vol. 267, p. 999–1010.
- 1974: The development of meanders in natural river-channels. *Am. J. Sc.*, vol. 274, p. 414–442.
- HICKIN E. J., NANSON G. C., 1975: The character of channel migration on the Beaton River, Northeast British Columbia, Canada. *Bull. Geol. Soc. Am.*, vol. 86, p. 487–494.

- HOOKE R. LEB., 1975: Distribution of sediment transport and shear stress in a meander bend. *J. Geol.*, vol. 83, p. 543–565.
- JOPLING A. V., 1962: Genetic classification of cross-bedding. *Geol. Soc. Am., Special Paper*, vol. 73, p. 183 (abstr.).
- 1963a: Hydraulic studies on the origin of bedding. *Sedimentology*, vol. 2, p. 115–121.
- 1963b: Effect of base-level changes on bedding development in a laboratory flume. *U. S. Geol. Surv. Prof. Paper*, no. 475–B, p. B203–B204.
- 1966a: Some applications of theory and experiment to the study of bedding genesis. *Sedimentology*, vol. 7, p. 71–102.
- 1966b: Some principles and techniques used in reconstructing the hydraulic patterns of a paleo-flow regime. *J. Sed. Petrol.*, vol. 36, p. 5–49.
- JOPLING A. V., RICHARDSON E. V., 1966: Backset bedding developed in shooting flow in laboratory experiments. *J. Sed. Petrol.*, vol. 36, p. 821–825.
- KARCZ I., 1971: Development of a meandering thalweg in a straight, erodible laboratory channel. *J. Geol.*, vol. 79, p. 234–240.
- 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.
- TEISSEYRE A. K., 1968: Charakterystyka sedymentologiczna najniższego kulmu ładowego w północnej części niecki śródsudeckiej. The Lower Carboniferous of the Intrasudetic Basin: a study in sedimentary petrology and basin analysis. *Geol. Sudetica*, vol. 4, p. 221–298.
- 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, z. 2, p. 1–135.
- 1975b: Pebble fabric in braided stream deposits with examples from Recent and „frozen” Carboniferous channels (Intrasudetic Basin, Central Sudetes). Ułożenie otoczaków w osadach roztok. *Geol. Sudetica*, vol. 10, nr 1, p. 7–56.
- WILLIAMS P. F., RUST B. R., 1969: The sedimentology of a braided river. *J. Sed. Petrol.*, vol. 39, p. 649–679.
- WOLMAN M. G., BRUSH L. M., 1961: Factors controlling the size and shape of stream channels in coarse noncohesive sand. *U. S. Geol. Surv. Prof. Paper*, no. 282–G, p. 183–210.

Andrzej Karol TEISSEYRE*

DEGENERACJA MEANDRÓW RZEK GÓRSKICH W WYNIKU PRZEROSTU ŻWIRÓW GÓRNYCH CZĘŚCI ŁACH MEANDROWYCH

Streszczenie

Co najmniej od czasu eksperymentalnych badań Wolmana i Brusha (1961) wiadomo, że przepływy nadkrytyczne mogą istotnie złobić koryta meandrujące. Skądinąd doświadczenia te jedynie potwierdzają od dawna znany fakt, że rzeki górskie płynące dolinami płaskodennymi często meandrują, niezależnie od dużych i nie zawsze wyrównanych spadków tych dolin oraz wysokich wartości energii tych strumieni. Z drugiej strony podkreślano, że procesy meandrowania przepływów nadkrytycznych — wciąż jeszcze słabo poznane — różnią się pod wieloma względami od zjawisk znanych z dojrzałych, meandrujących rzek nizinnych. Dla podkreślenia tych różnic Wolman i Brush (1961) zaproponowali nawet termin „pseudomeandrowanie” na oznaczenie procesu meandrowania przepływów nadkrytycznych. Zjawiska te badał również eksperymentalnie Hickin (1969). Według tego autora w procesie rozwoju meandrujących koryt nadkrytycznych można wyróżnić 4 fazy progresywne, po których następuje faza regresywna, prowadząca do degeneracji układu meandrującego na skutek przekształcenia go w sieć płytkich roztołk (breided rivers). Wstępne badania terenowe przeprowadzone przez autora na niektórych rzekach sudeckich wykazały, że procesy degeneracji naturalnych odcinków meandrujących są zjawiskiem częstym i łączą się zazwyczaj ze stopniowym odcinaniem pętli meandrowych (chute cut-off). Obserwacje te doprowadziły także do wykrycia przyczyny omawianego zjawiska, którą w przypadku badanych rzek górskich jest przerost żwirów górnej części łachy meandrowej (bar-head gravel). Przerost tych żwirów powoduje odchylenie nurtu w stronę względnie drobnoziarnistych osadów łachy meandrowej, gdzie wody powodziowe w krótkim czasie złobią nowe, strome koryta (chute channel) omijające zator żwirowy.

Artykuł niniejszy jest podsumowaniem wstępnego etapu badań prowadzonych od kilku lat przez autora w dorzeczu górnego Bobru i Strzegomki. Badania te objęły zarówno rzeki główne, jak i niektóre ich dopływy, a w szczególności Złotną, Świdnik, Żywicę, Lesk i Chwaliszówkę. Obserwacje wykonywane były jedynie na naturalnych odcinkach tych rzek, za które uznano odcinki o korytach nie naruszonych przez człowieka oraz niekontrolowanym przepływie (ostatniego z tych warunków częściowo nie spełnia Bóbr poniżej zapory w Bukówce). Spadek hydrauliczny badanych odcinków waha się w granicach 0,003—0,01. Wszystkie badane rzeki odznaczają się przewagą obciąże-

nia dennego (głównie żwiry) nad obciążeniem zawieszinowym (piasek, muł, il, fragmenty roślinne, a w czasie powodzi także drobny żwir). Wahaniami przepływu wody i sedymentu w skali rocznej są dość znaczne. Największe powodzie występują z reguły w okresie wiosenno-letnim i łączą się z topnieniem pokrywy śnieżnej i nawałnicowymi deszczami. W okresach powodzi w większości badanych odcinków pojawia się przepływ nadkrytyczny. Przepływy powodziowe utrzymują się z reguły w granicach wciętego koryta naturalnego. W większości badanych odcinków rzeki te płyną korytami meandrującymi lub też koryta meandrujące występują na przemian z odcinkami prostymi i roztołkowymi (mieszane układy rzeczne). W naturalnych ścianach koryt (0,5—3,5 m) odsłaniają się najczęściej brunatne gliny piaszczyste ze smugami, soczewkami i warstwami żwirów. Teren jest prawie wszędzie wylesiony, a umacniającą brzegi rolę pokryw roślinnej odgrywają przede wszystkim nadrzeczne zarośla wierzbowe.

W krętych odcinkach badanych rzek górskich występują zasadniczo te same elementy morfologiczne jak w meandrach rzek nizinnych. W szczególności jednak morfologia meandrów rzek górskich jest bardziej skomplikowana. Terminologia geomorfologiczna stosowana przez autora została zasadniczo adoptowana z pracy Blucka (1971). Dużą trudność stanowi brak odpowiedniej terminologii polskiej, co autor starał się przezwyciężyć przy pomocy tworzonych *ad hoc* terminów zastępczych. Terminy te są w zasadzie zgodne z zaproponowanymi przez Gradzińskiego (1973).

Obserwacje zebrane w dolnych odcinkach Złotnej i Świdnika wskazują, że miejscami zakładania się nowych meandrów mogą być górne partie prostych odcinków międzymeandrowych (por. Hooke 1975). Dominujące stadium inicjalne odznacza się naprzemianległym występowaniem bystrzyków (riffle) skośnych do biegu strumienia oraz sierpowatego kształtu przegłębienia korytowych (pool) i łach bocznych (channel-edge bar, fig. 1). Główny nurt meandruje między kolejnymi łachami bocznymi. W kierunku zgodnym z biegiem rzeki układ taki jest nietrwały. Kolejne bystrzyki układają się stopniowo coraz bardziej równoległe do biegu strumienia, przegłębienia zaś wyprostowują się i spływają, skutkiem czego koryto staje się w końcu niezróżnicowane i symetryczne, z nurtem w partii osiowej. Wydaje się, że powstanie opisanego układu jest uwarunkowane i wymuszone

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

przez układ prądów w zasilającym odcinku krętym. Przeglębienie meandrowe (meander pool) w górnej części figury 1 działa nie tylko jako rynna skierowująca główny prąd skośnie względem biegu odcinka prostego; jest ono także obszarem intensywnej erozji bocznej i wglębnej, dostarczającym w okresach powodziowych żwiru, z którego zbudowany jest bystrzyk 1. Podwodna powierzchnia tego bystrzyka jest tak ukształtowana, że powoduje koncentrowanie się przepływu przy prawym brzegu strumienia i powstanie tu przeglębienia 1. Prowadzi to do wniosku, że w prostych odcinkach międzymeandrowych naprzemianległość łańcuch bocznych i bystrzyków może być zjawiskiem wtórnym względem wymuszonego meandrowania głównego nurtu. Wydaje się także, że odwrotne zjawisko zachodzi w roztokach, w których niski przepływ ma tendencję do meandrowania między łańcuchami usypanymi w czasie wysokiego stanu wód (por. Fahnestock 1963; Allen 1965; Williams, Rust 1969 i inni). Jest też prawdopodobne, że opisany wyżej układ ma tendencję do utrwalania się i przekształcania w nowy odcinek meandrujący (por. Anderson 1967, Ackers i Charlton 1970, Engelund i Skovgaard 1973, Hooke 1975).

Obserwacje zebrane przez autora wydają się także wskazywać, że charakter i szybkość przesuwania się meandrów omawianych rzek wykazują różnicowanie w zależności od stadium rozwojowego osiągniętego przez badany odcinek. W stadium młodocianym silna erozja boczna prowadzi do intensywniejszego wzrostu „na amplitudę” niż w kierunku średniego biegu rzeki. Dzieje się tak dopóki pętla meandrowa osiągnie stadium względnej równowagi dynamicznej. W przypadku badanych rzek proces ten jest raczej długotrwały i może być mierzony setkami lat (por. Hickin, Nanson 1975). Dalszy rozwój prowadzi w kierunku stadium starego, w którym erozja boczna strumienia koncentruje się w takich miejscach brzegów zewnętrznych, że migracja meandrów w dół rzeki znacznie przewyższa wzrost „na amplitudę”, który może w ogóle zaniknąć. Prowadzi to w konsekwencji do przecięcia szyi meandrowej (neck cut-off). W badanych rzekach zjawisko to jest stosunkowo rzadko notowane, zwłaszcza w dolinach o większym spadku hydraulicznym. Przyczyną jest zapewne inny proces degeneracji quasi-stabilnych odcinków krętych związany z powtarzającym się częściowym odcinaniem łuków meandrowych (chute cut-off). Jeden z przykładów takiego zjawiska na dojrzałym meandrze Żłotnej ilustruje figura 2. Pierwotna pętla meandrowa, zachowana w formie reliktywnej, czynna była prawdopodobnie do lat 50-tych (data dendrochronologiczna). Jednocześnie przy brzegu wewnętrznym narosła zapewne niska, żwirowo-piaszczysta łacha meandrowa (point bar). W czasie którejś z powodzi nastąpiło częściowe odcięcie tego koryta (chute cut-off), a nowe koryto główne (obecnie zamierające — dead slough na fig. 2) zostało wyłobione we względnie drobnoziarnistych osadach łąchy meandrowej. Porzucone koryto uległo częściowemu zasypaniu żwirami (w części górnej gravel plug) i zamuleni oraz zapiaszczeniu w części dolnej (sand plug), między którymi pozostało małe jezioro (oxbow lake) i wydłużone bagno (swamp). Jednocześnie na podłożu pierwotnych żwirów korytowych i niższej części łąchy meandrowej narosła naturalna grobla żwirowa utrwalona przez zarośla wierzbowe. Z kolei silna powódź w lecie 1973 roku doprowadziła do dalszego skrócenia pętli meandrowej i wyerodowania nowego, krótszego, stromeego koryta (chute). Koryto to prowadzi obecnie główny nurt. W ciągu ostatnich trzech lat koryto wykazywało tendencję do przesuwania się w kierunku niskiego brzegu wewnętrznego. Prawdopodobnie dzieje się tak dlatego, że względnie drobnoziarniste osady łąchy meandrowej ulegają łatwiej zerodowaniu niż gruboziarniste i ciasno upakowane żwiry tworzące dno i lewy brzeg nowego koryta. Koryto środkowe jeszcze nie

uległo całkowitemu odcięciu i w czasie średniego stanu nadal prowadzi słaby przepływ ulegając przy tym zamulaniu w części środkowej i dolnej, i zasypywaniu żwirami w części górnej. Żwiry te są kontynuacją akumulacji żwirów górnej części łąchy meandrowej (bar-head gravel), której resztką uległa całkowitej przebudowie. Na podłożu platformy tej łąchy (bar platform) i jej dolnej partii nadwodnej (supra-platform bar) została usypana płaska łacha centralna (mid-bar). Górna powierzchnia tej łąchy ma spadek mniejszy niż spadek otaczających ją koryt. W konsekwencji wysokość tej łąchy wzrasta z biegiem strumienia, a jej szczyt znajduje się w pobliżu wysokiej powierzchni zsypana (slip face) opadającej na wszystkie strony pod kątem naturalnego zsypana piaszczystego żwiru. W przekroju poprzecznym łącha ta wykazuje uwarstwienie naśladujące jej zewnętrzny kształt (fig. 3). Powstanie tej łąchy jest wynikiem nagłego zmniejszenia kompetencji i pojemności strumienia w miejscu rozszerzania się koryta powodziowego i nagłej zmiany kierunku nurtu. Dodatkowa utrata energii strumienia wynika także z tendencji do pojawiania się progów wodnych w naprądowej części łąchy centralnej. Próg ten pojawia się w miejscu występowania żwirów górnej części łąchy meandrowej i jest związany z lokalnym przejściem przepływu nadkrytycznego w podkrytyczny. Żwiry górnej części łąchy meandrowej oraz subhoryzontalnie warstwowane żwiry naprądowej części łąchy centralnej są utworem przepływu nadkrytycznego, natomiast strefa przesypywania i warstwowania skośnego w niższej części tej łąchy jest związana z przepływem podkrytycznym w warunkach gwałtownie rozszerzającego się prądu (por. Jopling 1962, 1963a, b; 1966a, b; Jopling, Richardson 1966).

Przechodząc do omówienia niektórych współczesnych osadów opisywanego odcinka meandrowego warto podkreślić bardzo ciasne upakowanie i silne zimbrykowanie grubego, nie wypełnionego żwiru górnej części łąchy meandrowej (bar-head gravel, fig. 2). Żwir ten tworzy obecnie rodzaj naturalnej grobli sięgającej powierzchni średniej wody i częściowo odcinającej zamierające koryto (dead slough). Dochodzimy w ten sposób do jednego z podstawowych wniosków tej pracy, a mianowicie do stwierdzenia, że w żwirowościach rzek górskich degeneracja odcinków meandrowych przez częściowe odcinanie ich pętli (chute cut-off) związana jest z nadmiernym przerostem żwirów górnej części łąchy meandrowej. Powoduje to odchylenie na bok głównego nurtu, który skierowany na obszar względnie drobnoziarnistych osadów łąchy meandrowej wyerodowuje tu nowe koryto (chute channel). Ponieważ nowo wcięte koryta są znacznie krótsze i mają pokaźne spadki hydrauliczne, przeto skierowanie głównego nurtu do tych koryt ma tendencję do utrwalania się. W konsekwencji proces ten prowadzi do degeneracji odciętego koryta krętego, które stopniowo zamiera. Podobne zjawisko przerastania żwirów górnej części łąchy meandrowej obserwowano we wszystkich odcinkach krętych, w których stwierdzono częściowe odcinanie pętli meandrowych (chute cut-off).

Podobne gruboziarniste i silnie zimbrykowane żwiry budują wał oddzielający zamierające koryto (dead slough na fig. 2) od całkowicie porzuconego i zabagnionego odcinka (fig. 2 i 3). Grobla ta stanowi pozostałość jakiejś starszej łąchy nadbudowanej przez grube żwiry deponowane tu jako łąchy boczne w okresie, w którym zamierające koryto było jeszcze aktywne. Żwiry te są obecnie pokryte zaroślami wierzbowymi, których wiek ocenia się na 15 lat. Ciasno upakowane i dobrze przemyte gruboziarniste żwiry wypełniają też aktywne koryto odcinające (chute channel). Z drugiej strony, łacha centralna zbudowana jest z bardziej drobnoziarnistych żwirów piaszczystych.

Interesujące osady powstają wspólnie w niewielkim jeziorze starorzecza (oxbow lake). Charakteryzuje je w przy-

bliżeniu horyzontalne warstwowanie oraz występowanie swoistej, sezonalnej laminacji. Polega ona na naprzemianległości cieńszych, ciemnych warstw mułu i piaszczystego mułu bogatego w gnijący *detritus* roślinny (warstwy jesiennie-zimowe) z grubszymi warstwami piaszczystego mułu i piasku reprezentującymi osady wiosenno-letnich powodzi. W czasie tych powodzi jezioro uzyskuje okresowe połączenie z wodami strumienia ponad płaskim korkiem piaszczystym zamykającym od dołu dawne koryto. W warstwach wiosenno-letnich pojawiają się natomiast nawet smużki drobnego, zimbrykowanego żwiru. W bagnie tworzą się osady fitogeniczne z przewarstwieniami piasku i mułu oraz wtrąceniami utworów koluwalnych i rud bagiennych.

Przykład pętli meandrowej, która osiągnęła stadium stare ilustrowane figura 4. W odcinku tym układ zawirowań turbulentnych wywiązujących się w czasie okresowych powodzi jest skoncentrowany przede wszystkim w pobliżu północnych, zewnętrznych brzegów, co powoduje, że pętle meandrowe migrują prędzej w dół strumienia niż rosną „na amplitudę”. Obserwacje zebrane w innych odcinkach krętych wydają się wskazywać, że jest to cecha charakterystyczna pętli meandrowych w stadium starym. Przyspieszona migracja w dół strumienia prowadzi do degeneracji omawianych odcinków meandrujących na skutek przecięcia szyi meandru (neck cut-off). Charakterystyczną cechą opisywanego odcinka jest autonomizacja koryt odcinających (chute channels). W górnej pętli koryto to prowadzi główny nurt skierowany tu przez podwodną groblę żwirową narosłą na żwirach górnej części łachy meandrowej. W meandrze tym, mimo skierowania głównego nurtu do koryta odcinającego, koryto kręte nie zostało na razie całkowicie odcięte i nadal jest obszarem intensywnej erozji bocznej i wgłębnej w okresach wysokiego stanu wód. W okresach niskiego stanu ukształtowało się tu charakterystyczne zawirowanie drugorzędowego prądu, z którym związane jest narastanie osobliwego, podwodnego pagóra piaszczystego (submerged bar). Pagór ten, stożkowaty w przekroju, narasta głównie na żwirach głębi-meandrowej (pool gravel) i składa się z materiału stanowiącego obciążenie zawieszinowe strumienia (piasek, muł, il, liście i inny, drobny materiał roślinny).

Zjawiska częściowego odcinania koryt meandrowych (chute cut-off) obserwowano także w małych potokach meandrujących, na przykład wzdłuż biegu Chwaliszówki, prawobocznego dopływu górnej Strzegomki (fig. 5). Na niektórych wciętych i względnie ustabilizowanych odcinkach tego potoku obserwowano ponadto zjawisko porzucania i ponownego uaktywniania koryt meandrujących (fig. 6). Wszelkie zasadnicze zmiany obserwowane w tym odcinku związane były z silnymi powodziami, które zdarzają się raz na kilka lat. Przebieg sedymentacji i erozji oraz zmiany położenia aktywnych koryt są regulowane w opisywanym odcinku przez procesy narastania i erozji żwirów górnej części łachy meandrowej. Skierowują one główny nurt raz w pobliże niskiego, wewnętrznego brzegu, a kiedy indziej pod stromy, erodowany brzeg zewnętrzny.

W celu ustalenia wewnętrznej struktury badanych żwirów autor dokonał pomiarów ułożenia klastów płaskich według metod opisanych poprzednio (A. K. Teisseyre 1968, 1975 a, b). W odcinku prostym (fig. 1) pomierzono ułożenie otoczek płaskich na łachach bocznych (channel-edge bar) oraz w przegłębieniach korytowych 1 i 2. W obrębie łachy bocznej stwierdzono różnice w ułożeniu otoczek małych (32–64 mm) i dużych (64–256 mm, fig. 7). Otoczki duże zapadają w większości w przybliżeniu pod prąd (normalna podprądowa imbrykacja), podczas gdy otoczki małe z reguły nachylają się skośnie pod prąd (skośna podprądowa imbrykacja, fig. 7). Zdaniem autora, przyczyny tego zjawiska należy najprawdopodobniej

dopatrywać się w tym, że orientacja otoczek dużych związana była ze znacznie wyższymi stanami wód (zbliżonymi do pełnokorytowych), podczas których łachy boczne znajdowały się praktycznie w dennej partii koryta powodziowego. Inaczej mówiąc depozycja tych otoczek przebiegała przy stosunkowo nieznacznym wpływie brzegów koryta powodziowego. Inaczej zachowywały się otoczki małe, które reprezentują niewątpliwie żwiry związane z fazą opadania wód. Najwidoczniej w czasie sedymentacji tych drobnych żwirów wpływ brzegów na ułożenie klastów płaskich był dominujący.

Ułożenie otoczek płaskich w naprądowej, szerokiej części przegłębienia korytowego 1 ilustruje figura 8a. Otoczki płaskie są tu silnie zimbrykowane, przy czym w bocznych partiach przegłębienia korytowego zaznacza się wyraźnie występowanie skośnej podprądowej imbrykacji. Zjawisko to występuje jeszcze wyraźniej w wąskiej części przegłębienia korytowego 2, w której normalna podprądowa imbrykacja jest wyraźnie zdominowana przez klasty płaskie ustawione skośnie pod prąd (fig. 8b). Obserwacje te wskazują, że zjawisko skośnej podprądowej imbrykacji powstaje również wewnątrz przegłębienia korytowych, niezależnie od zewnętrznych brzegów strumienia.

Ułożenie klastów płaskich w żwirach górnej części łachy meandrowej (bar-head gravel, fig. 2) ilustruje figura 9. Żwiry te cechuje silne zimbrykowanie otoczek płaskich i stosunkowo duża dyspersja ich ułożenia. W tym, jak i w innych przypadkach przeważa normalna imbrykacja podprądowa (główne maksimum na figurze 9). Imbrykacja związana ze stosunkowo słabym przepływem w kierunku zamierającego koryta (minor riffle flow) zaznacza się słabo. Submaksimum w kwadrancie NW odpowiada otoczkom leżącym na powierzchni grobli żwirowej (riffle) opadającej w kierunku zamierającego koryta. Otoczki te znajdują się w położeniu niestabilnym zarówno względem prądu głównego, jak i słabego przepływu w poprzek grobli żwirowej.

W kilku odcinkach badano też ułożenie otoczek płaskich w żwirach łach centralnych. W naprądowych, subhoryzontalnie warstwowanych partiach tych łach przeważa normalna imbrykacja podprądowa. Imbrykacja taka występuje też na górnych powierzchniach tych łach, w zespole warstw stropowych (topset). Natomiast w skośnie warstwowanej części łachy dominuje pseudoimbrykacja (żwiry płaskie leżą na powierzchniach warstw odprądowych, równoległe do nich — por. Dżułyński 1963). Dyspersja kierunków wykazywana przez te żwiry jest znaczna. W końcu na bocznych powierzchniach łach centralnych opadających w kierunku aktywnego koryta (chute channel) może również pojawić się skośna imbrykacja podprądowa wywołana przez przepływy w tych korytach.

Ślady koryt są bardzo częste w kopalnych osadach kontynentalnych (por. Bluck, Kelling 1963). Kopalne koryta o małej krętości (głównie symetryczne w przekroju poprzecznym) i koryta kręte (asymetryczne) zostały ostatnio opisane przez autora z utworów lądowych dolnego karbonu niecki śródsudeckiej (A. K. Teisseyre 1975b). W cytowanej pracy przedstawione są także kryteria ułatwiające jakościową ocenę krętości koryt kopalnych, obserwowanych w odśloniach najczęściej tylko w dwuwymiarowych przekrojach poprzecznych. W tym miejscu należałoby dorzucić kilka uwag o kopalnych korytach odciętych i wypełniających je osadach detrytycznych. Przejawy procesów odcinania koryt spotyka się w utworach kopalnych często, przynajmniej w osadach dna basenu kulmowego niecki śródsudeckiej. Odcięte koryta obserwowane przez autora były formami bardzo różnych rozmiarów (ich szerokość dochodzi do kilkudziesięciu metrów) i odznaczały się różnym stopniem

asymetrii przekrojów poprzecznych. Częstość występowania tych form wskazuje, że w dolnokarbońskich systemach rzecznych niekiedy śródsudeckiej odcinaniu ulegały koryta o różnej krętości. W przypadku koryt krętych na ogół trudno jednak ocenić, czy porzucenie odciętego koryta nastąpiło na skutek skrócenia pętli meandrowej (chute cut-off) czy też przecięcia jego szyi (neck cut-off).

Duże zróżnicowanie wykazują także kopalne osady koryt odciętych. Płytkie koryta, do kilkudziesięciu centymetrów głębokości, bywają często wypełnione nie zróżnicowanym lub słabo zróżnicowanym osadem (mułowce, drobnopiękiste piaszkowce). Głębsze koryta ujawniają z reguły mniej lub bardziej wyraźne zróżnicowanie teksturalne i strukturalne wypełniających je osadów. Ogólnie biorąc można tu wyróżnić co najmniej trzy typy utworów. Do pierwszego należą koryta wypełnione piaszkowcami i zlepieńcowatymi piaszkowcami o uwarstwieniu skośnym riplemarkowym lub diunowym. Piękny przykład takiego koryta można obserwować w Marciszowie na Zbójnickich Skałach, w pobliżu starego kościoła. Zwykle są to koryta duże, o głębokości do kilku metrów. Powstanie takich osadów najłatwiej wytłumaczyć sedimentacją w częściowo odciętych korytach względnie drobnopiękistego materiału, który przynajmniej w okresach powodziowych stanowił w dużej mierze obciążenie zawieszinowe ówczesnych strumieni. Do drugiego typu należą koryta wypełnione w przewodzie jeszcze bardziej drobnopiękistymi osadami (od mułowca do średnioziarnistego piaszkowca) układającymi się w wyraźne cykle sedimentacyjne, często o ziarnie wzrastającym ku górze (coarsening upwards sequences). W przypadku występowania tego rodzaju sekwencji najbardziej drobnopiękiste osady występują w najniższej części rynny korytowej. Są to zwykle mułowce lub ilaste mułowce, bezstrukturalne lub wykazujące delikatną, subhoryzontalną laminację. Niekiedy towarzyszą im cienkie przewarstwienia węgla. Utwory tego typu można interpretować jako kopalne osady jeziorok starorzeczy. Ku górze przechodzą one w zespoły mułowców i piaszkowców, najczęściej o warstwowaniu skośnym riplemarkowym. Utwory te zawierają często stigmarie, a niekiedy nawet odlewy pni w pozycji życiowej. *Detritus* roślinny jest mniej lub bardziej liczny, niekiedy pojawiają się konkrecje pirytowe. Ku górze osady te przechodzą w piaszkowce lub zlepieńcowate piaszkowce o uwarstwieniu skośnym diunowym lub sobhoryzontalnym. Zawierają one zwykle tylko transportowane pnie i odlewy dużych gałęzi. Opisane zespoły warstw reprezentują osady całkowicie odciętych koryt, zamulanych niemal wyłącznie materiałem stanowiącym pierwotnie obciążenie zawieszinowe i dostarczonym do tych zagłębień prawdopodobnie tylko w okresach powodziowych. Sedimentacja klastycznej często towarzyszyły utwory fitogeniczne. Węglonośność tego typu osadów może być miarą natężenia procesów aluwialnych w czasie sedimentacji badanego zespołu warstw. Osady grubopiękiste kończące te sekwencje oznaczają całkowite wypełnienie odciętego zagłębienia i ponowne włączenie tego obszaru w strefę aktywnych koryt aluwialnych. W typie trzecim mamy do czynienia z wielokrotnym powtarzaniem się w profilu osadów drobnopiękistych sekwencji o ziarnie malejącym ku górze i zespołów o ziarnie wzrastającym w tym kierunku. Te ostatnie mają tendencję do częstszego występowania w stropie omawianych utworów. Powstanie tego typu wypełnień korytowych nie jest jeszcze całkowicie jasne i wymaga dalszych badań.

Wśród tak zwanych struktur wtórnych, typowych dla osadów odciętych koryt wymienić można pogrzy i wyciśnięcia, krótkie żyły klastyczne, brekje osuwiskowe, a prawdopodobnie także kliny klastyczne (A. K. Teisseyre 1975a). Z rzadszych struktur można wspomnieć o szczelinach z wysychania, śladach

pelzania, śladach bąbli gazowych (?) oraz zaburzeniach związanych z wyciskaniem z osadów wody i gazów.

Wspólną cechą osadów koryt odciętych jest bezwzględna przewaga drobnopiękistych utworów reprezentujących głównie obciążenie zawieszinowe ówczesnych strumieni nad osadami obciążenia dennego. Powoduje to zacieranie się różnic osadów odciętych koryt i utworów równin zalewowych (por. Glenn, Dahl 1959; Bernard *et al.* 1962; Bernard, Major 1963; Bluck 1971 i inni). Być może tłumaczy to częściowo znany fakt stosunkowo rzadkiego opisywania w literaturze sedimentologicznej osadów odciętych koryt, których rozpoznanie wymaga szczegółowych obserwacji w dobrych odsłonięciach. Z drugiej strony niezaprzeczalne podobieństwo osadów odciętych koryt do utworów równin zalewowych wskazuje, że znaczna część tych ostatnich reprezentuje zapewne osady odciętych koryt, jak na to wskazują jednoznacznie wyniki najnowszych badań eksperymentalnych (Bridge 1974, 1975).

Przedstawione wyżej niektóre wyniki wstępnych badań geomorfologiczno-sedimentologicznych umożliwiają sformułowanie kilku wniosków.

1. W dolinach płaskodennych współczesne rzeki sudeckie płyną najczęściej korytami meandrującymi, niezależnie od dużych spadków tych dolin (0,003–0,01). Wszystkie badane rzeki odznaczają się przewagą obciążenia dennego (głównie żwir) nad obciążeniem zawieszinowym, dużymi wahaniami stanu wód i częstością występowania przepływu nadkrytycznego, zwłaszcza w okresach powodziowych. Rzeki te osadzają głównie żwiry, piaski i muły, a ich koryta są najczęściej wcięte w piaszczyste gliny aluwialne ze smugami i soczewkami żwirów. Krętość badanych odcinków uzależniona jest od spadku doliny. Wysoka krętość i regularne pętłe meandrowe są typowe przede wszystkim dla odcinków dolin o względnie małym spadku. W dolinach o dużym spadku hydraulicznym krętość strumieni jest z reguły mniejsza, a odcinki meandrujące występują na przemian z prostymi i roztokowymi (braided). W obu omawianych typach koryt obserwuje się zjawiska degeneracji (odcinania) pętli meandrowych. W regularnie rozwiniętych układach meandrujących zachodzi najczęściej zjawisko przecięcia szyi meandrowej (neck cut-off), bądź też porzucanie całych odcinków krętych w drodze awulsji (avulsion). W układach mieszanym (duże spadki) degeneracja meandrów związana jest głównie ze skracaniem pętli meandrowych w wyniku częściowego ich odcinania (chute cut-off).

2. Wstępne obserwacje wydają się wskazywać, że koryta o bardzo małej krętości są niestabilne, szczególnie poniżej pętli meandrowych. Układ prądów w meandrach zasilających powoduje bowiem wymuszone meandrowanie nurtu w niższej położonym odcinku prostym. Prowadzi to do powstania asymetrycznych koryt prostych z ich charakterystycznym naprzemianległym ułożeniem bystrzyków, przegłębień korytowych i łańcuchów bocznych. Wydaje się także, że przynajmniej w badanych rzekach omawiana naprzemianległość bystrzyków i łańcuchów bocznych jest zjawiskiem wtórnym względem wymuszonego meandrowania nurtu w korytach prostych. Jest też prawdopodobne, że zjawisko wymuszonego meandrowania nurtu ma tendencję do utrwalania się i może doprowadzić do powstania nowych odcinków meandrujących.

3. W stadium młodocianym wzrost meandrów „na amplitudę” jest szybszy niż ich migracja w dół strumienia. Dzieje się tak aż do osiągnięcia przez układ stanu względnej równowagi dynamicznej (stadium takie cechuje się wskaźnikami r_m/w_m w granicach 2–4, por. też Hickin 1974, Hickin i Nanson 1975; r_m — promień meandra, w_m — szerokość koryta meandrującego). W stadium starym układ zawirowań turbulentnych po

woduje zlokalizowanie erozji bocznej w pewnych wybranych partiach brzegów zewnętrznych, skutkiem czego migracja meandrów w dół strumienia staje się znacznie bardziej efektywna niż ograniczony wzrost „na amplitudę”. Prowadzi to do degeneracji układu meandrującego na skutek przecięcia szyi meandrowej (neck cut-off).

4. Częściowe odcinanie koryt meandrujących (chute cut-off) może zachodzić w każdym stadium ich rozwoju, a częstotliwość tego zjawiska nie jest uzależniona od krętości koryt. Proces ten związany jest z częściowym tamowaniem koryta zasilającego meander przez żwirny górnej części łachy meandrowej (bar-head gravel). Narastanie tych żwirów ograniczone jest do okresów powodziowych. Podwodne groble utworzone przez te żwiry mogą być względnie stacjonarne (słabe zasilanie odcinka żwirem) lub migrować pod prąd w kierunku koryta zasilającego (duża dostawa żwirów). Przerost tych żwirów powoduje skierowanie nurtu ku łasze meandrowej, gdzie w jej względnie drobnoziarnistych osadach dochodzi szybko do wyerodowania nowego koryta (chute channel) omijającego zator żwirowy. Stare koryto meandrujące ulega stopniowo odcinaniu i w końcu zostaje porzucone. Nowe koryta odcinające mają znaczne spadki hydrauliczne i często prowadzą przepływ nadkrytyczny, nawet w okresach niskiego stanu. Koryta te mają tendencję do migrowania w kierunku łagodnego, wewnętrznego brzegu meandra. Ogólnie biorąc, proces częściowego odcinania koryt krętych jest wynikiem ich niestabilności w warunkach gruboziarnistego obciążenia dennego oraz dużego przepływu wody i sedymentu. W warunkach słabego zasilania odcinka meandrującego żwirem, koryta odcinające i meandrujące mogą być czynne jednocześnie, co prowadzi do powstania osobliwych układów meandrująco-roztokowych.

5. Wstępne badania dendrochronologiczne wydają się wskazywać, że zjawisko degeneracji koryt krętych na skutek częściowego ich odcinania (chute cut-off) może przebiegać bardzo szybko (20–30 lat dla rozwiniętej pętli meandrowej) w porównaniu do znacznie bardziej długotrwałego procesu powstawania nowych, dojrzałych meandrów. Ten ostatni proces trwa prawdopodobnie setki lat.

6. Badania nad ułożeniem klastów płaskich w żwirach rzek meandrujących mogą dostarczyć ważnych argumentów w procesie wyjaśniania genezy poszczególnych form erozyjnych i akumulacyjnych, szczególnie w osadach kopalnych.

7. W rzecznych utworach dolnego karbonu Sudetów Środkowych koryta odcięte i związane z nimi osady są bardzo pospolite. W osadach tych można wyróżnić co najmniej trzy typy sekwencji związanych z wypełnieniami kopalnych koryt odciętych. Sekwencje te mogą reprezentować trzy różne typy koryt odciętych lub trzy fazy odcinania tego samego koryta. Generalnie biorąc, osady koryt odciętych odznaczają się bezwzględną przewagą osadów powstałych z obciążenia zawieszinowego ówczesnych strumieni nad utworami obciążenia dennego. Powoduje to duże podobieństwo omawianych utworów do osadów równin zalewowych i wskazuje, że znaczna część tych ostatnich może reprezentować (i zapewne reprezentuje) osady odciętych koryt. Identyfikacja w osadach kopalnych utworów odciętych koryt wymaga przede wszystkim rozpoznania pierwotnych form korytowych, a więc jest w dużej mierze uzależniona od rozmiarów i charakteru odsłoneń. Badania przeprowadzone przez autora wydają się także wskazywać, że charakterystyczne dla osadów koryt odciętych są sekwencje o ziarnie wzrastającym ku górze.