

ZYGMENT MŁYNARCZYK, MARCIN SŁOWIK

ZMIANY NATĘŻENIA TRANSPORTU MATERIAŁU WŁECZONEGO W DOLNYM ODCINKU RZEKI OBRY W OKOLICACH MIĘDZYRZECZA

ZARYS TREŚCI

Badania nad zmianami wielkości transportu rumowiska wleczonego przeprowadzono dla dolnego odcinka rzeki Obry w okolicach Międzyrzecza. Do szczegółowych badań wybrano fragment doliny o długości 1 km i szerokości od 70 do 150 m. Natężenie transportu rumowiska obliczono za pomocą modelu potencjalnego transportu materiału piaszczystego (MŁYNARCZYK 1996). Obliczone wielkości transportu materiału wleczonego w poszczególnych przekrojach poprzecznych koryta Obry pokazują, że ten rodzaj transportu charakteryzuje stosunkowo niewielkie natężenie. Jedną z przyczyn może być występowanie w strefie przydennej niedużych prędkości przepływu (od 0,05 m/s w strefach brzegowych do 0,3 m/s w strefie nurtu). Ponadto zaobserwowano, że przy wysokich stanach wody w strefie nurtu znajduje się materiał o przeciętnej średnicy ziarna dochodzącej do 4 mm, który nie podlega transportowi przy prędkościach wody płynącej występujących w korycie Obry. Jest to materiał pochodzący z rozmycia zalegającej poniżej gliny zwałowej.

Ponadto obliczono zależność pomiędzy natężeniem transportu rumowiska wleczonego w przekroju poprzecznym koryta a stanem wody. Na tej podstawie określono roczny transport rumowiska wleczonego dla okresu 1971–1991. Największe ładunki rumowiska odprowadzane były w latach hydrologicznych, które charakteryzowały się wysokimi stanami wody, o kulminacji przekraczającej 320 cm. Bardzo istotną była tu długość okresu, w którym utrzymywały się wysokie stany wody. Miało to duże znaczenie ze względu na czas występowania warunków przepływu wody w strefie przydennej koryta sprzyjających wzrostowi natężenia transportu rumowiska.

WPROWADZENIE

Określenie natężenia transportu rumowiska wleczonego w korycie rzecznym jest zagadnieniem bardzo złożonym. Wymaga ono analizy wielu zmiennych, które odnoszą się do charakteru przepływu wody w korycie, właściwości osadów dennych oraz do warunków, w jakich materiał korytowy podlega transportowi. Istotną rolę odgrywają tu takie czynniki, jak litologia podłoża osadów aluwialnych oraz procesy erozji i akumulacji kształtujące koryto rzeczne w różnych warunkach hydrologicznych. Ponadto przy obliczaniu ważne jest wykorzystanie takiego modelu (równania),

którego założenia pozwoliłyby na obliczenie wartości natężenia transportu rumowiska z jak najmniejszym błędem.

Na zmiany wielkości transportu rumowiska oddziałują bezpośrednio erozja i akumulacja zachodzące w korycie rzecznym. Efektem działania tych procesów są zmiany w ukształtowaniu dna koryta. W badaniach tych zmian KNIGHTON (1977) wykazał, że największe przekształcenia dna koryta występują przy oddziaływaniu procesów o stosunkowo małym natężeniu i dużej częstotliwości występowania. Dalsze badania (PAIGE, HICKIN 2000) pozwoliły na określenie typów reakcji dna różnych odcinków rzeki na zmianę warunków hydrologicznych

(wezbrania powodziowe). Uwzględniono tu m.in. występowanie bruku erozyjnego. W badaniach tych brakowało bezpośredniego odniesienia do zmian natężenia transportu rumowiska odpowiadających poszczególnym pomiarom ukształtowania dna koryta.

Ważnym czynnikiem warunkującym intensywność erozji i miąższość przerabianych aluwiów jest podatność na rozmycie podłoża osadów rzecznych. Istotną rolę odgrywa tu również intensywność, z jaką oddziałują procesy rozmycia powodziowego i erozji wirowej. MLYNARCZYK (1986, 1987) oraz ROTNICKI i MLYNARCZYK (1989) omówili szczegółowo mechanizm oddziaływania tych procesów w pracach dotyczących aluwialnego wypełnienia dna doliny Proсны. Intensywność oddziaływania erozji wirowej i rozmycia powodziowego może być jednak ograniczona wskutek występowania w podłożu osadów trudno rozmywalnych oraz tworzenia się na ich powierzchni bruku erozyjnego. Sytuację taką ilustrują zamieszczone poniżej wyniki badań nad zmianami transportu rumowiska wlezonego. W przedstawionej pracy głównym problemem badawczym było określenie oddziaływania procesów erozji i akumulacji na zmiany transportu rumowiska w dolinie rzeki Obry w okolicach Międzyrzecza. Do realizacji powyższego zadania posłużyły następujące cele cząstkowe:

1. Określono zmiany prędkości przepływu w wybranych przekrojach poprzecznych koryta przy różnych warunkach hydrologicznych.

2. Przeprowadzono analizę zmian uziarnienia aluwiów korytowych Obry przy różnych stanach wody i przepływach.

3. Dokonano analizy zmian natężenia transportu materiału wlezonego. Na podstawie uzyskanych wyników ob-

liczono roczne wartości transportu dla lat 1971–1991.

4. Podjęto próbę wyznaczenia zależności między natężeniem transportu rumowiska a zmianami ukształtowania dna koryta.

Przedmiotem prowadzonych badań był fragment dolnego odcinka rzeki Obry w okolicach Międzyrzecza. Wybór ten nie był przypadkowy. Rzeka Obra, lewobrzeżny dopływ Warty, przepływa przez środkową i zachodnią część Niziny Wielkopolskiej, wykorzystując na blisko jednej trzeciej swej długości fragment Pradoliny Warszawsko-Berlińskiej. Jest to największy ciek wodny pomiędzy Wartą a Odrą. Koryto Obry od początku XVIII w. podlegało intensywnym pracom hydrotechnicznym. Budowano tu systemy kanałów, głównie w górnym odcinku rzeki (płynącym na obszarze Pradoliny Warszawsko-Berlińskiej – rys. 1, odcinek 1) oraz urządzenia piętrzące. Ponadto prowadzono prace hydrotechniczne, polegające na „prostowaniu” koryta rzecznego, w wyniku których dokonano odciążenia zakoli rzecznych. W dolnym biegu rzeki (rys. 1, odcinek 3) wzniesiona została zaporą w Bledzewie, gdzie powstał zbiornik wodny.

Oprócz zmian wprowadzanych przez człowieka, specyficzną cechą reżimu Obry jest występowanie jezior, które łagodzą amplitudy stanów wody, przepływów oraz przebiegu wezbrań (PAŚLAWSKI 1973; CHOIŃSKI 1988; BYCZKOWSKI 1999; BAJKIEWICZ-GRABOWSKA 2002). Badania nad zmianami przepływu w korycie rzeczonym przeprowadzono w dolnym odcinku rzeki Obry, w okolicach Międzyrzecza. Jest to odcinek meandrowy, na którym prace hydrotechniczne prowadzono w ograniczonym zakresie i w zasadzie bezpośrednio nie zmieniły one układu geometrii koryta rzecznego.

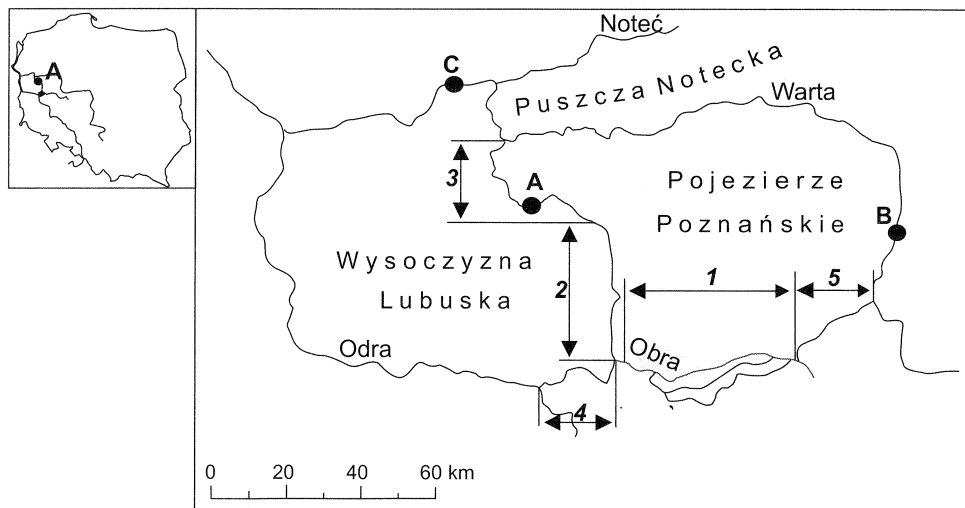
Ponadto Obra to jedna z niewielu rzek niżowych przepływających przez kilka jezior.

POŁOŻENIE GEOGRAFICZNE I PRZEBIEG DOLINY OBRY

Źródła Obry znajdują się na wysokości 145 m n.p.m., w odległości ok. 2,5 km od wsi Obra Stara, na południe od Jarocina. W okolicach tego miasta rzeka posiada ujście do Lutyni, powstałe w wyniku budowy kanału. W dalszej swojej części Obra wykorzystuje przebiegającą równoleżnikowo Pradolinę Żerkowsko-Rydzyską (BARTKOWSKI 1957; KRYGOWSKI 1961). Między Wieszkowem a Kościanem oraz na równoleżnikowym odcinku, przebiegającym przez obszar Pradoliny Warszawsko-Berlińskiej (rys. 1,

odcinek 1), Obra ujęta jest w kanał z systemem słuz i przepustów. Na odcinku 1 (rys. 1) rzeka jest rozdzielona na trzy kanały: północny, środkowy i południowy. W okolicach Mosiny znajduje się ujście do Warty (Kanał Mosiński) (rys. 1, odcinek 5). Natomiast naturalne ujścia znajdują się w Pradolinie Warszawsko-Berlińskiej – koło miejscowości Cigacice (do Odry) (rys. 1, odcinek 4) oraz koło Skwierzyny (do Warty).

W okolicach Chwalimia Obra skręca w kierunku północnym i płynie przez rozległy obszar określany jako Sandr Nowotomyski (rys. 1, odcinek 2). Powierzchnia sandru jest nachylona ku południowi. Na omawianym odcinku występują jeziora przepływowe (Chobieńskie, Grójeckie, Nowowiejskie, Zbąszyńskie, Lutol, Młyńskie i Wielkie).

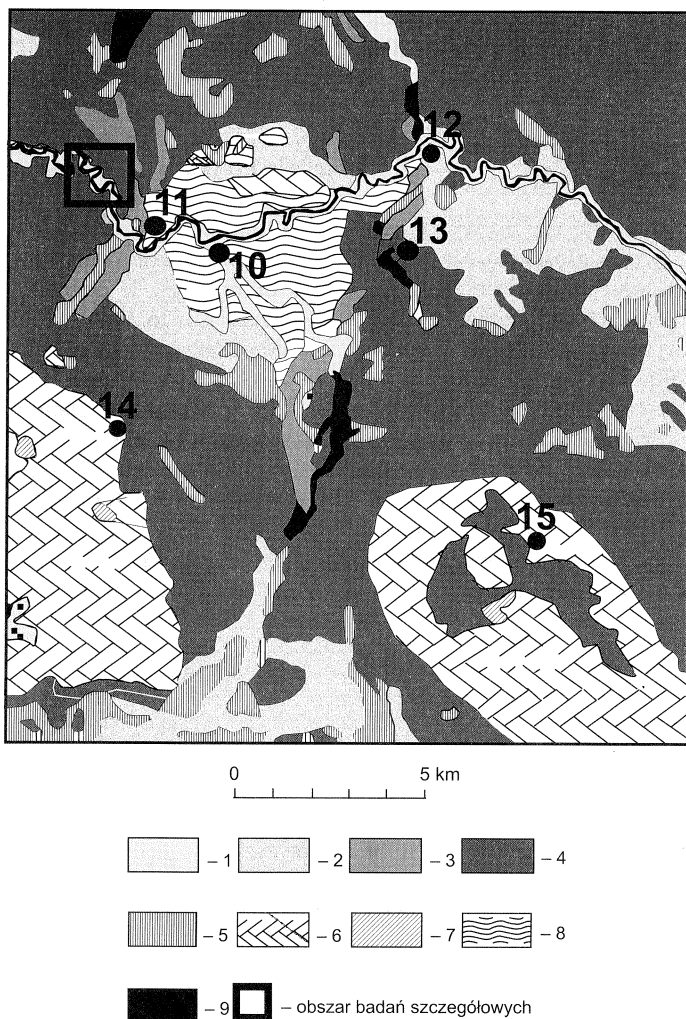


Rys. 1. Przebieg Obry w jej środkowym i dolnym odcinku (Kościan-Skwierzyna). Poszczególne odcinki wydzielone przez TOMASZEWSKIEGO (1967)

1 – odcinek Kościan-Kargowa (Pradolina Warszawsko-Berlińska), 2 – odcinek Kargowa-Policko, 3 – odcinek Policko-Skwierzyna, 4 – bifurkacja Obry (ujście do Odry koło Cigacice), 5 – ujście do Warty (Kanał Mosiński), A – Międzyrzecz, B – Poznań, C – Gorzów Wlkp.

Fig. 1. The Obra river in its middle and lower course (Kościan-Skwierzyna). Particular sections were distinguished by TOMASZEWSKI (1967)

1 – section Kościan-Kargowa (Warsaw-Berlin proglacial stream valley), 2 – section Kargowa-Policko, 3 – section Policko-Skwierzyna, 4 – bifurcation of the Obra river (outlet to Odra near Cigacice), 5 – outlet to Warta (Mosiński channel), A – Międzyrzecz, B – Poznań, C – Gorzów Wlkp.



Rys. 2. Mapa geologiczna utworów powierzchniowych. Arkusz Świebódzin. Redaktor mapy: Mojski (1976), opracowanie: WINNICKI (1977)

1 – piaski, mulki i żwiry rzeczne (holocen), 2 – piaski, mulki i żwiry rzeczne (złod. północnopolskie, faza pomorska), 3 – piaski i żwiry ozów, 4 – piaski i żwiry wodnolodowcowe (złod. północnopolskie, faza poznańsko-dobrzyńska), 5 – torfy (holocen), 6 – glina zwalowa lub jej reziduum, 7 – piaski, żwiry i glazy moren czołowych, 8 – mulki, piaski i ropy jeziorne, 9 – rzeki i jeziora. Główne miejscowości: 10 – Międzyrzecz, 11 – Św. Wojciech, 12 – Żółwin, 13 – Bobowicko, 14 – Nietoperek, 15 – Bukowiec

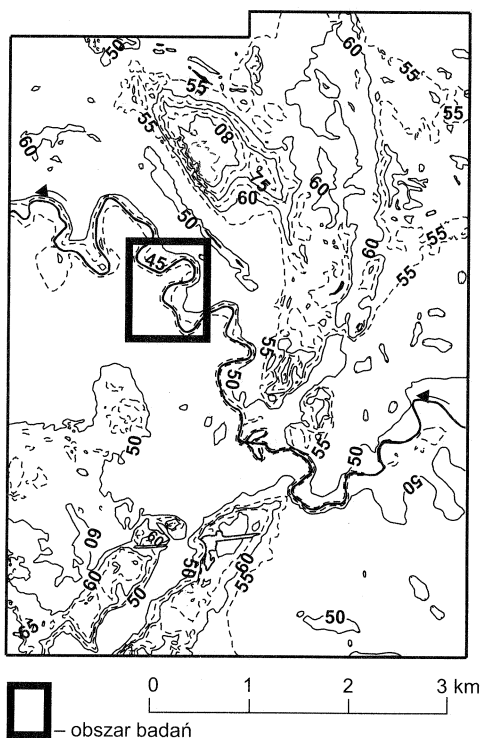
Fig. 2. Surface sediments geologic map. Localization: Świebódzin

1 – river sands, silts and gravels (Holocene), 2 – river sands, silts and gravels (Północnopolskie glacial period, Pomeranian phase), 3 – sands and gravels in eskers, 4 – fluvio-glacial sands and gravels (Północnopolskie glacial period, Poznańsko-Dobrzyńska phase), 5 – peats (Holocene), 6 – basal till or its residuum, 7 – sands, gravel and boulders of terminal moraines, 8 – lacustrine silts, sands and loams, 9 – rivers and lakes. Main towns and villages: 10 – Międzyrzecz, 11 – Św. Wojciech, 12 – Żółwin, 13 – Bobowicko, 14 – Nietoperek, 15 – Bukowiec

W dalszym swoim biegu, na odcinku pomiędzy Rybojadami a Polickiem, rzeka Obra charakteryzuje się przebiegiem zbliżonym do prostoliniowego. Szerokość doliny wynosi tu ok. 200–250 m. Taki układ koryta rzeczno jest efektem prac hydrotechnicznych. Zmiany te ilustrują wydania map z lat 1895 i 1934.

OBSZAR BADAŃ

Na podstawie przeprowadzonej analizy geometrii koryta do badań nad zmianami natężenia transportu materiału



Rys. 3. Mapa hipsometryczna obszaru badań i jego otoczenia

Fig. 3. Hypsometric map of research area and its neighbourhood

wlezonego wybrano dolny odcinek Obry, znajdujący się na obszarze Obniżenia Obry (rys. 1, odcinek 3). Jest to wklęsła forma terenu przebiegająca w kierunku NW–SE, co nawiązuje do podplejstocenijskiego obniżenia sprzed ostatniego zlodowacenia (KOWALSKA 1960). Obniżenie Obry tworzą trzy baseny zaostoiszkowe: Policki, Międzyrzecki i Gorzycki, zbudowane z ilów, mułków i piasków bardzo drobnoziarnistych (BARTKOWSKI 1956). Obszerną charakterystykę dotyczącą budowy geologicznej, geomorfologii i stosunków wodnych tego obszaru przedstawiono w opracowaniu dotyczącym obszaru gminy Międzyrzecz (CHOIŃSKI i in. 1979).

Na obszarze Obniżenia Obry rzeka meandruje (rys. 2). Śladami występowania tego procesu również w przeszłości są odcięte zakola (w okolicach Żółtwin) i paleomeandry. Największe z nich znajdują się pomiędzy Żółtwinem a Międzyrzeczem oraz pomiędzy Św. Wojciechem a Gorzycą.

Do badań wybrano odcinek doliny rzeki Obry o długości 1 km, położony ok. 3 km na północny zachód od Międzyrzecza, w pobliżu miejscowości Św. Wojciech (rys. 3). Dolina jest tu wąska i głęboka – brzegi erozyjne zakoli meandrowych cechuje znaczne nachylenie stoków i duża wysokość, która waha się od 7 do 10 m nad poziomem dna doliny. Obra wykształciła swoją dolinę w osadach polodowcowych, reprezentowanych przez glinę morenową i fluwiogłajalne piaski drobnoziarniste, widoczne w kilku odsłonięciach występujących w brzegach wklęsłych zakoli meandrowych. Głina morenowa stanowi również podłoże osadów aluwialnych występujących w dnie doliny Obry.

Wysoczyzna morenowa otaczająca dolinę Obry charakteryzuje się łagod-

ną rzeźbą z niewielkimi wzniesieniami. W bezpośrednim sąsiedztwie obszaru badań znajduje się ona na wysokości 51–52,5 m n.p.m. Na północny wschód od omawianego odcinka rzeki znajduje się pagórek o wysokości ok. 88 m n.p.m. (rys. 3). Inne wyraźne wzniesienie znajdujące się w pobliżu obszaru badań to Oz Wojciechowski (rys. 3). Charakteryzuje się on południkowym przebiegiem i zbudowany jest głównie z osadów fluwioglacjalnych (piaski, żwiry) (BARTKOWSKI 1956). Formie tej towarzyszy podmokłe obniżenie, które może być pozostałością rynny glacialnej (rys. 3).

METODY BADAŃ

BEZPOŚREDNIE METODY POMIARU NATĘŻENIA TRANSPORTU RUMOWISKA WŁECZONEGO

Pomiaru natężenia transportu rumowiska włeczonego dokonuje się za pomocą takich przyrządów, jak batometr siatkowy i łapaczka PIHM (BRAŃSKI 1965, 1966). Ponadto określenie natężenia transportu możliwe jest poprzez pomiar przemieszczania się form dennych oraz przy wykorzystaniu metody znaczników (MARSZ 1967; STELCZER 1970; OLESZKIEWICZ, URBAŃSKI 1971; STRAUCH 1972; BOGARDI 1974). Bezpośrednie pomiary autorzy wykonywali również za pomocą urządzenia, które regulowało prędkość przepływu wody w tunelu pomiarowym w taki sposób, aby była ona równa prędkości panującej w danym punkcie koryta rzecznego (MŁYNARCZYK 1996). Ponadto, za pomocą przyrządu odcinającego fragment koryta i generującego nad nim przepływ zadaną prędkością, przeprowadzane były badania służące do obliczenia potencjalnego natężenia transportu rumowiska (MŁYNARCZYK 1996).

Innym przyrządem służącym do pomiaru natężenia transportu rumowiska

jest próbnik Helley-Smitha. Urządzenie to zbudowane jest z metalowego pojemnika, do którego podłączona jest kieszka służąca do wychwytywania transportowanego materiału (HELLY, SMITH 1971 w: RYAN 1998). KLEINHANS i TEN BRINKE (2001) zmodyfikowali to urządzenie poprzez dodatkowe jego obciążenie oraz połączenie próbnika i jego ramy sprężynami. Umożliwiło to łatwe opuszczenie próbnika i precyzyjne umiejscowienie go na dnie koryta (KLEINHANS, TEN BRINKE 2001). Należy jednak zaznaczyć, że pobór próbek za pomocą tego rodzaju urządzeń wiąże się z wieloma niedokładnościami. Są one spowodowane m.in. tym, że wprowadzenie próbnika do koryta rzecznego powoduje zmianę warunków przepływu w strefie przydennej, co wpływa na ilość pobranego materiału (RYAN 1998). Metoda pomiarowa w dużym stopniu decyduje o dokładności uzyskanych wyników. Dokładność ta zależy również od liczby pionów pomiarowych w przekroju oraz od liczby prób pobranych w każdym pionie. Według zaleceń RWPG (1972 w: BAJKIEWICZ-GRABOWSKA i in. 1993) optymalna liczba pionów pomiarowych wynosi od 6 do 8. W zależności od liczby pionów ustala się liczbę próbek, które należy pobrać w każdym pionie. Z kolei wyniki badań przeprowadzonych w rzece charakteryzującej się korytem piaszczysto-żwirowym o szerokości 240 m i średnim przepływie wynoszącym 1350 m³/s (rzeka Waal, Holandia) wskazują, że minimalna liczba próbek rumowiska włeczonego powinna wynosić 30 w każdej z przynajmniej pięciu wydzielonych podsekcji przekroju koryta (KLEINHANS, TEN BRINKE 2001).

METODY OBLICZENIOWE

Jak wspomniano we wprowadzeniu, ważną kwestią jest sposób obliczenia na-

teżenia transportu rumowiska, tzn. przyjęcie takiego modelu (równania), którego założenia pozwoliłyby na obliczenie wartości natężenia transportu rumowiska z jak najmniejszym błędem. W literaturze hydrologicznej przedstawionych jest wiele formuł służących do takich obliczeń. Klasycznym przykładem tego rodzaju są modele Meyera-Petera i Mullera (1948 w: PRZEDWOJSKI i in. 1995) i Einsteina-Browna (1950 w: PRZEDWOJSKI i in. 1995). Równania te opierały się na wcześniejszych badaniach dotyczących warunków progowych ruchu materiału korytowego (SHIELDS 1936 w: ALLEN 2000; DU BOYS 1879 w: PRZEDWOJSKI i in. 1995).

Modele opierające się na wartości parametru Shieldsa mogą jednak nie sprawdzać się w warunkach, w których natężenie transportu rumowiska jest niewielkie. NIEN-SHENG (2002) zaproponował formułę zawierającą ten wskaźnik i pozostającą w zgodzie z wynikami modeli przydatnych zarówno przy niskich (model Einsteina, 1942 w: NIEN-SHENG 2002), jak i wysokich (model Meyera-Petera i Mullera, 1948 w: PRZEDWOJSKI i in. 1995) wartościach transportu rumowiska. Część założeń i parametrów stosowanych w tych modelach oraz w formule przedstawionej przez Nien-Shenga wprowadza jednak zbyt duże uogólnienia. Przykładem tego rodzaju jest D_{50} – parametr charakteryzujący uziarnienie osadów korytowych. W innych badaniach nad transportem materiału o zróżnicowanej średnicy ziarna KLEINHANS i VAN RIJN (2002) użyli formuł Meyera-Petera i Mullera oraz van Rijna (1985 w: KLEINHANS, VAN RIJN 2002) w zmodyfikowanej postaci, uwzględniając w nich wielkości transportu poszczególnych frakcji materiału. Zauważyli oni, że w warunkach przepływu, w których wartość naprężenia ścinającego jest zbliżona do wartości krytycznej, wielofrakcyjna analiza wielkości transportu („mul-

tle-fraction method”) jest dokładniejsza. Natomiast stosowanie jedynie wskaźnika uziarnienia materiału D_{50} („single-fraction method”) może wykazać zerowe wartości transportu rumowiska w wyżej wymienionych warunkach (KLEINHANS, VAN RIJN 2002).

Innym narzędziem służącym do obliczeń natężenia transportu rumowiska jest model MIKE 21 (DHI Water & Management 2004). Autorzy modelu wykorzystali do obliczeń m.in. formuły Meyera-Petera i Mullera (1948 w: PRZEDWOJSKI i in. 1995) oraz van Rijna (1984 w: PRZEDWOJSKI i in. 1995). Modele te zastosowali oni również w zmodyfikowanej postaci, uwzględniając występowanie prądów helikoidalnych w korycie rzeczonym. W modelu tym zostały zastosowane współczynniki wyprowadzone na podstawie kalibracji modelu w warunkach laboratoryjnych. W związku z tym autorzy zwracają uwagę na możliwość występowania błędów, szczególnie w przypadku koryt rzecznych o dużym obciążeniu zawiesziną (DHI Water & Management 2004).

Formułą, która nie zawiera tego rodzaju współczynników i wykorzystuje w całości rozkład uziarnienia materiału korytowego, jest model potencjalnego transportu rumowiska wleczonego (MELNARCZYK 1996). W modelu tym wykorzystano matematyczną funkcję splinę, umożliwiającą określenie natężenia transportu w dowolnym punkcie koryta dla wybranego stanu wody (MELNARCZYK 1996). W modelu tym jako dane wyjściowe uwzględniono prędkość wody płynącej w strefie przydennej oraz parametry uziarnienia aluwioów korytowych (dane dla różnych stanów i przepływów wody w korycie rzeczonym). Wykorzystane zostały również dane dotyczące warunków progowych ruchu materiału dna (MELNARCZYK 1996).

Matematyczny zapis funkcji splinę

przyjmuje następującą postać:

$$\varepsilon(u) = \begin{cases} \frac{(-1)^{k/2+1}}{2^{2m-1} \pi^{k/2} (m-1)! (m-k/2)!} \times \\ \quad \times u^{2m-k} \log(u); & k \text{ parzyste} \\ \frac{(-1)^m \Gamma(k/2 - m)}{2^{2m-1} \pi^{k/2} (m-1)!} \times \\ \quad \times u^{2m-k}; & k \text{ nieparzyste} \end{cases}$$

m – natężenie transportu rumowiska,
 k – liczba zmiennych.

Model ten umożliwia:

- wyznaczenie prędkości wody płynącej dla dowolnie założonego stanu wody i w dowolnie obranym punkcie przekroju koryta,
- predykcję zmian natężenia transportu rumowiska,
- retrodykcję zmian natężenia transportu rumowiska dla okresu objętego systematycznymi obserwacjami hydrologicznymi (MŁYNARCZYK 1996).

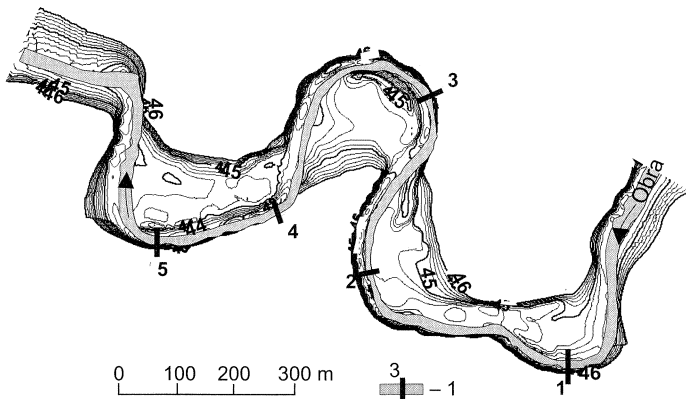
Model ten zakłada znajomość prędkości wody 2 cm nad dnem koryta dla różnych stanów wody. Wyniki pomiarów prędkości wody płynącej w przekrojach koryta dla różnych stanów wo-

dy zostały opracowane numerycznie. Pozwala to na określenie prędkości wody płynącej w strefie dna dla dowolnie wybranego stanu wody (MŁYNARCZYK 1996). Znajomość uziarnienia materiału korytowego oraz prędkości przepływu przy dnie umożliwia obliczenie wielkości transportu materiału wlezonego w danym pionie hydrometrycznym. Uzyskana wartość transportu jest wyrażona w jednostce masy transportowanego materiału (gramy) przemieszczanego w ciągu 1 sekundy przez 1 metr szerokości koryta.

Przedstawioną formułę wykorzystano do obliczenia zmian natężenia transportu rumowiska wlezonego w korycie Obry w poszczególnych seriach pomiarowych. Uzyskane w ten sposób wyniki stanowiły ważny element przy próbie określenia oddziaływania procesów erozji i akumulacji na zmiany transportu rumowiska w dolinie rzeki Obry w okolicach Międzyrzecza.

BADANIA TERENOWE

Pomiary hydrologiczne w korycie Obry przeprowadzono w okresie od 2 lutego 2002 do 4 kwietnia 2003 r. Wyznaczono



Rys. 4. Zdjęcie tachimetryczne obszaru badań wykonane w kwietniu 2002
 1 – przekroje pomiarowe. Cięcie poziomicowe 20 cm

Fig. 4. Tachometric survey of research area made in April 2002

1 – river bed cross-sections. Height difference between contour lines 20 cm

pięć przekrojów poprzecznych (rys. 4), na których wykonano pomiary prędkości przepływu w pionach hydrometrycznych, przy zachowaniu między nimi odległości 1 metra. Prędkości przepływu mierzono młynkiem hydrometrycznym. Łącznie wykonano 12 serii pomiarowych. Ponadto, w celu przedstawienia geometrii koryta wykonano zdjęcie tachymetryczne badanego fragmentu doliny Obry w skali 1:3000 (rys. 4).

Według wytycznych PIHM (1970) pomiary prędkości przepływu przy głębokości rzeki przekraczającej 0,6 m przeprowadza się przy dnie, na głębokościach 0,2 h, 0,4 h i 0,8 h (h – głębokość koryta) oraz przy powierzchni. Liczba punktów, w których wykonano pomiary, jest większa od proponowanej w instrukcji PIHM. Zwiększona w stosunku do wymagań liczba pomiarów wynika z przeznaczenia ich do określenia zależności pomiędzy zmiennymi charakteryzującymi przepływ a natężeniem transportu rumowiska w przekroju koryta rzecznoego. Prędkość przepływu mierzono punktowo w każdym pionie – w odległości od dna 0,1, 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5, 3,0 m, jak również pod powierzchnią zwierciadła wody. Szczególnie istotne były pomiary przeprowadzone w strefie przydennej koryta.

W każdej z serii pomiarowych odczytywano wysokość stanu wody z łąty wodowskazowej umieszczonej na wodowskazie IMGW w Międzyrzeczu. Jest on ulokowany w odległości 42,8 km od ujścia Obry w Skwierzynie i zamyka obszar dorzecza Obry o powierzchni 2,116 tys. km². Należy dodać, że systematyczne obserwacje stanów wody zostały zakończone przez IMGW 30 kwietnia 1992 r. Obecnie najbliższymi wodowskazami, na których prowadzi się pomiary, są wodowskazy ulokowane w Zbąszyniu i Bledzewie.

Ponadto pobrano łącznie 234 próbki osadu z dna koryta na wyznaczonych przekrojach poprzecznych co 2 metry, w celu określenia zmienności uziarnienia aluwów Obry przy różnych warunkach hydrologicznych. Pobór próbek z dna koryta przeprowadzono w 8 seriach pomiarowych (8 V 2002 – 4 IV 2003).

Dla pobranych próbek osadów wykonano analizy granulometryczne metodą sitową, dla frakcji od -3,5 do 4 phi, z zastosowaniem przedziału 0,5 phi, oraz analizy areometryczne dla frakcji od 3,25 do 9 phi metodą Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego (MUSIEROWICZ 1949).

Dla każdej z próbek osadu obliczono statystyczne wskaźniki uziarnienia: średnią średnicę ziarna, odchylenie standardowe, kurtozę i skośność, przy zastosowaniu metody momentów:

Średnia średnica:

$$MD = \frac{\sum_{i=1}^n \Phi_i p_i}{100}$$

Odchylenie standardowe:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n p_i (\Phi_i - MD)^2}{100}}$$

Kurtoza:

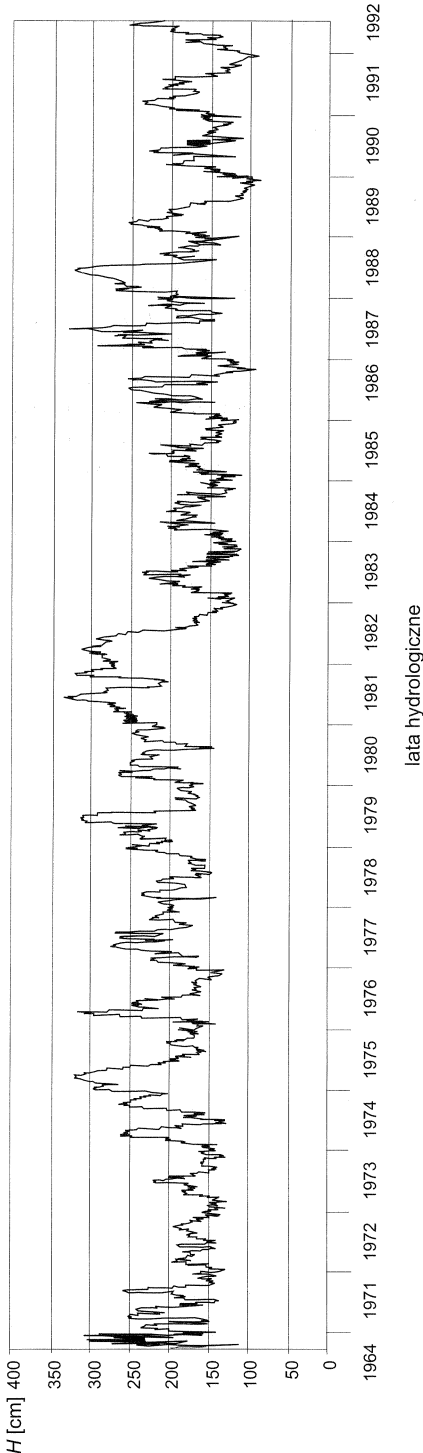
$$Kg = \frac{\sum_{i=1}^n p_i (\Phi_i - MD)^4}{100 SD^4}$$

Skośność:

$$Sk = \frac{\sum_{i=1}^n p_i (\Phi_i - MD)^3}{100 SD^3}$$

(GRZEGORCZYK 1970)

Φ_i – punkt środkowy i -tego przedziału klasowego w skali phi, p_i – częstość i -tego przedziału klasowego [%]



CHARAKTERYSTYKA HYDROLOGICZNA DOLNEGO ODCINKA OBRY

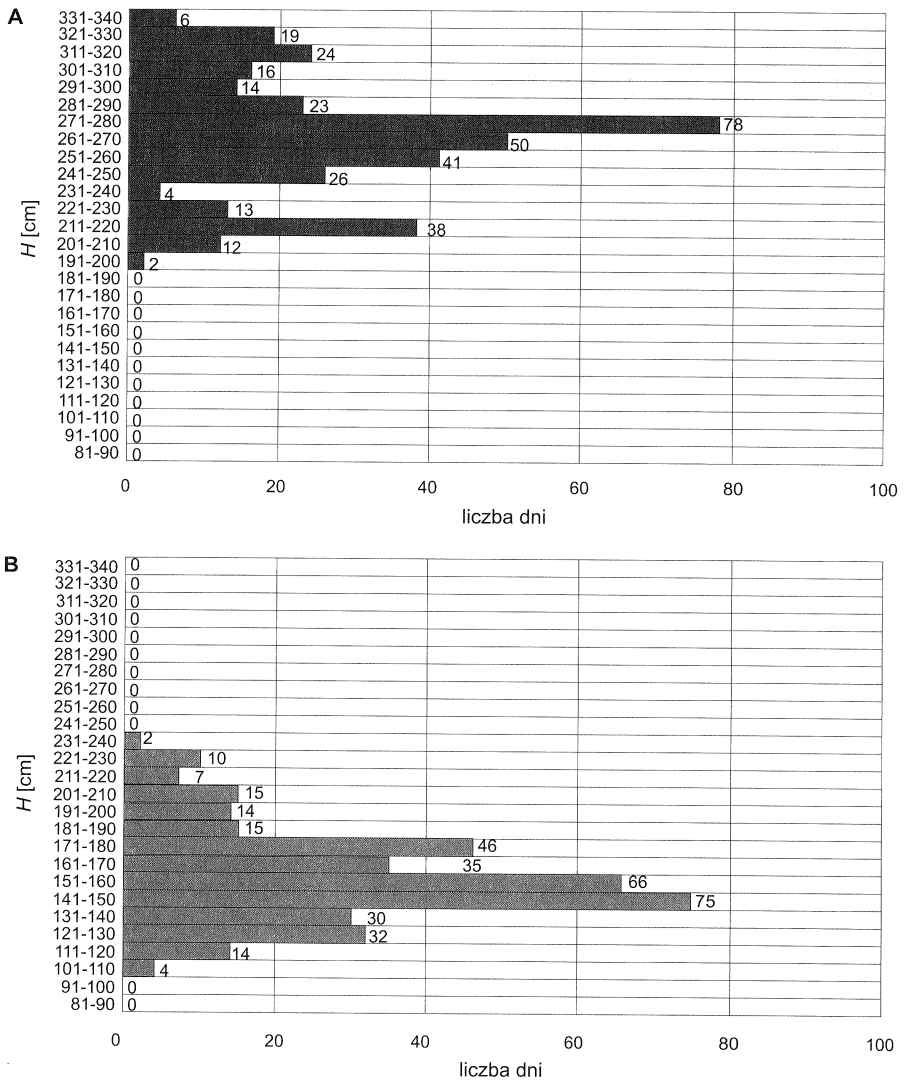
„Reżim (ustrój) hydrologiczny rzeki rozumiany jest jako kształtowanie się odpływu pod wpływem środowiska przyrodniczego jej dorzecza. Innymi słowy, jest to reakcja rzeki na klimat w powiązaniu z innymi cechami fizyczno-geograficznymi dorzecza. Reżim odpływu wskazuje rodzaj i strukturę czasową przepływu rzeki w cyklu dobowym, rocznym i miesięcznym” (GUTRY-KORYCKA 2001).

Charakterystykę hydrologiczną dolnego odcinka Obry oparto na zmienności stanów wody występujących w korycie rzeki Obry w przekroju Międzyrzecz w okresie 1964–1992. Dla okresu późniejszego brakuje danych, bowiem w roku 1992 (30 kwietnia) IMGW zakończył pomiary na tym posterunku. Ponadto na wodowskazie Międzyrzecz nie prowadzono pomiarów przepływu i nie wykonano krzywej konsumpcyjnej. Najbliższe dwa posterunki, na których prowadzi się takie pomiary, znajdują się w Zbąszyniu i Bledzewie. Wyznaczenie związku stanów wody w odniesieniu do tych wodowskazów było niemożliwe ze względu na zabudowę hydrotechniczną (zastawki) i sztucznie wyznaczone stałe piętrzenia w Zbąszyniu przy wypływie Obry z Jeziora Zbąszyńskiego oraz ze względu na zaporę wodną w Bledzewie i związane z nią sztuczne piętrzenie wody.

Obra charakteryzuje się regularnym rytmem wahań stanów wody (rys. 5). W analizowanym wieloletnim wezbrania powodziowe miały miejsce najczęściej w miesiącach zimowych i wczesnowiosennych (luty–kwiecień). Najwyższe

Rys. 5. Zmiany stanów wody (H) w przekroju Międzyrzecz – lata 1964–1992

Fig. 5. Changes of water stages (H) in Międzyrzecz cross-section – years 1964–1992



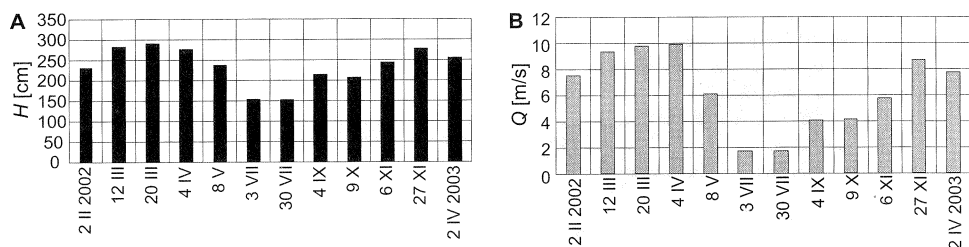
Rys. 6. Częstość występowania stanów wody (H) w wybranym roku wilgotnym (1981; A) i suchym (1990; B)

Fig. 6. Frequency of water stages (H) in chosen wet (1981; A) and dry (1990; B) hydrological year

zanotowane stany wody przekroczyły 300 cm (maksymalnie 340 cm w marcu 1981 r.). Stany niżówkowe występowały głównie w miesiącach letnich i jesien-nych (minimum: 81 cm w październiku 1989 r.). W okresie letnim pojawiały się

wezbrania opadowe. Były one jednak krótkotrwałe, w porównaniu z wezbra-ниями okresu wiosennego, często powo-
dowanymi roztopami.

Należy zwrócić uwagę na różnice w częstości występowania określonych



Rys. 7. Zmienność stanów wody (H) i przepływów (Q) w okresie objętym badaniami (2 II 2002–4 IV 2003).

Fig. 7. Water stage (H) and discharge (Q) changes during field research period (2 II 2002–4 IV 2003)

stanów wody w latach hydrologicznych suchych i wilgotnych. Na rys. 6 przedstawiono diagramy ilustrujące liczbę dni z daną wartością stanu wody. W roku wilgotnym stany wody występowały najczęściej w przedziale 271–280 cm (rys. 6A), natomiast w roku suchym – w przedziale 141–150 cm (rys. 6B). Najwyższe zanotowane stany wody w roku 1981 osiągnęły 340 cm (rys. 6A), a w 1990 jedynie 240 cm (rys. 6B). Tak znaczne różnice w wartościach stanów wody znalazły swoje odbicie w warunkach przepływu w korycie Obry oraz w wielkości transportowanego ładunku materiału wleczonego. Zróżnicowanie to zostało zaprezentowane w dalszej części artykułu.

Zasilanie rzeki Obry można zaliczyć do reżimów śnieżno-deszczowych, z jednym maksimum i jednym minimum w ciągu roku. Potwierdza to poglądy DYNOWSKIEJ (1971). Zdaniem tej autorki jest to reżim zaliczany do grupy umiarkowanej, z wezbraniem wiosennym oraz gruntowo-deszczowym zasilaniem. Należy jednak zauważyć, że w analizowanym wieloleciu wystąpiły lata, w których wysokie stany wody utrzymywały się przez bardzo długi czas. Przyczyniła się do tego wielkość opadów atmosferycznych, których miesięczne sumy były wysokie nie tylko w miesiącach letnich, ale również wczesnowiosennych i jesiennych. Przykład tego rodzaju stanowi

rok hydrologiczny 1981 (rys. 5). Z kolei w latach suchych można zauważyć znaczne wydłużenie okresów stanów niskich, które, oprócz miesięcy wiosennych, trwały nieprzerwanie aż do okresu zimowego (lata 1983, 1984 i 1985; rys. 5). Jako istotny czynnik wpływający na reżim hydrologiczny Obry należy wymienić obecność jezior przepływowych, które wpływają na zmniejszenie amplitudy wahań stanów wody (CHOIŃSKI 1988; BAJKIEWICZ-GRABOWSKA 2002). Wpływ jezior zaznacza się wyrównaniem odpływu poprzez obniżenie wielkości przepływów kulminacyjnych, rozłożeniem wezbrań w dłuższym okresie oraz podwyższeniem stanów niżówkowych (BYCZKOWSKI 1999).

ZMIENNOŚĆ STANÓW WODY I PRZEPŁYWÓW W OKRESIE OBJĘTYM POMIARAMI

W okresie objętym pomiarami (od 2 lutego 2002 do 4 kwietnia 2003 r.) najwyższe stany wody zanotowano wiosną (12 III 2002: 284 cm, 20 III: 292 cm i 4 IV: 277 cm; rys. 7A) oraz późną jesienią (27 XI 2002: 278 cm), przy objętości przepływu wynoszącej maksymalnie $10 \text{ m}^3/\text{s}$ (rys. 7B). Natomiast w okresie letnim wystąpiły długotrwałe stany niskie, wynoszące w lipcu i sierpniu 154 cm (rys. 7A), przy objętości przepływu poniżej $2 \text{ m}^3/\text{s}$ (rys. 7B).

Największe wezbranie zanotowano w miesiącach wiosennych. Miało ono charakter opadowy. W czasie jego trwania maksymalnym zarejestrowanym stanom wody towarzyszyły największe wartości przepływu (14 III 2002: $9,32 \text{ m}^3/\text{s}$, 21 III: $9,71 \text{ m}^3/\text{s}$ i 5 IV: $9,89 \text{ m}^3/\text{s}$) (rys. 7A,B). Podczas tego wezbrania maksymalny przepływ wystąpił 5 IV 2002.

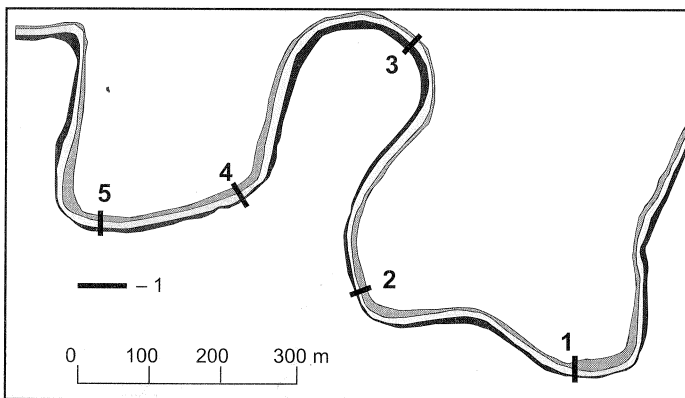
Przeprowadzenie pomiarów przy tak dużym zakresie zmian stanów wody umożliwiło dokonanie analizy zmian uziarnienia osadów korytowych oraz zmian natężenia transportu materiału wlezonego w różnych warunkach hydrologicznych.

WYNIKI BADAŃ

Zmiany natężenia transportu rumowiska wlezonego zaprezentowano w odniesieniu do wysokich, średnich i niskich stanów wody, w celu zilustrowania wpływu takich czynników, jak zmiany prędkości wody w strefie przydennej oraz występowanie w dnie koryta bruku ero-

zyjnego, który nie podlega transportowi i „zabezpiecza” dno koryta przed erozją wgłębną. Podjęto tu próbę wyznaczenia zależności między wielkością transportu rumowiska a uziarnieniem osadów korytowych Obry dla różnych warunków hydrologicznych. Uzyskano w ten sposób informację, jaki rodzaj materiału dostępny był do transportu. Na podstawie analizy zmienności warunków przepływu wody w strefie przydennej określono, w jaki sposób zmieniają się tam prędkości wody przy różnych jej stanach. Powyższej analizy dokonano w odniesieniu do strefy nurtu oraz stref brzegu prawego i lewego, wyznaczonych na podstawie rozkładów prędkości wody w korycie Obry uzyskanych na podstawie przeprowadzonych pomiarów (rys. 8).

Szczególną uwagę poświęcono przekrojom pomiarowym nr 1, 3 i 4 (rys. 8). Przekrój nr 1 położony jest w pobliżu fragmentu wysokiego brzegu wklęsłego, na którym widoczne są ślady osunięć materiału gliniastego, będące efektem działalności erozji bocznej. Trzeci przekrój pomiarowy znajduje się w środko-

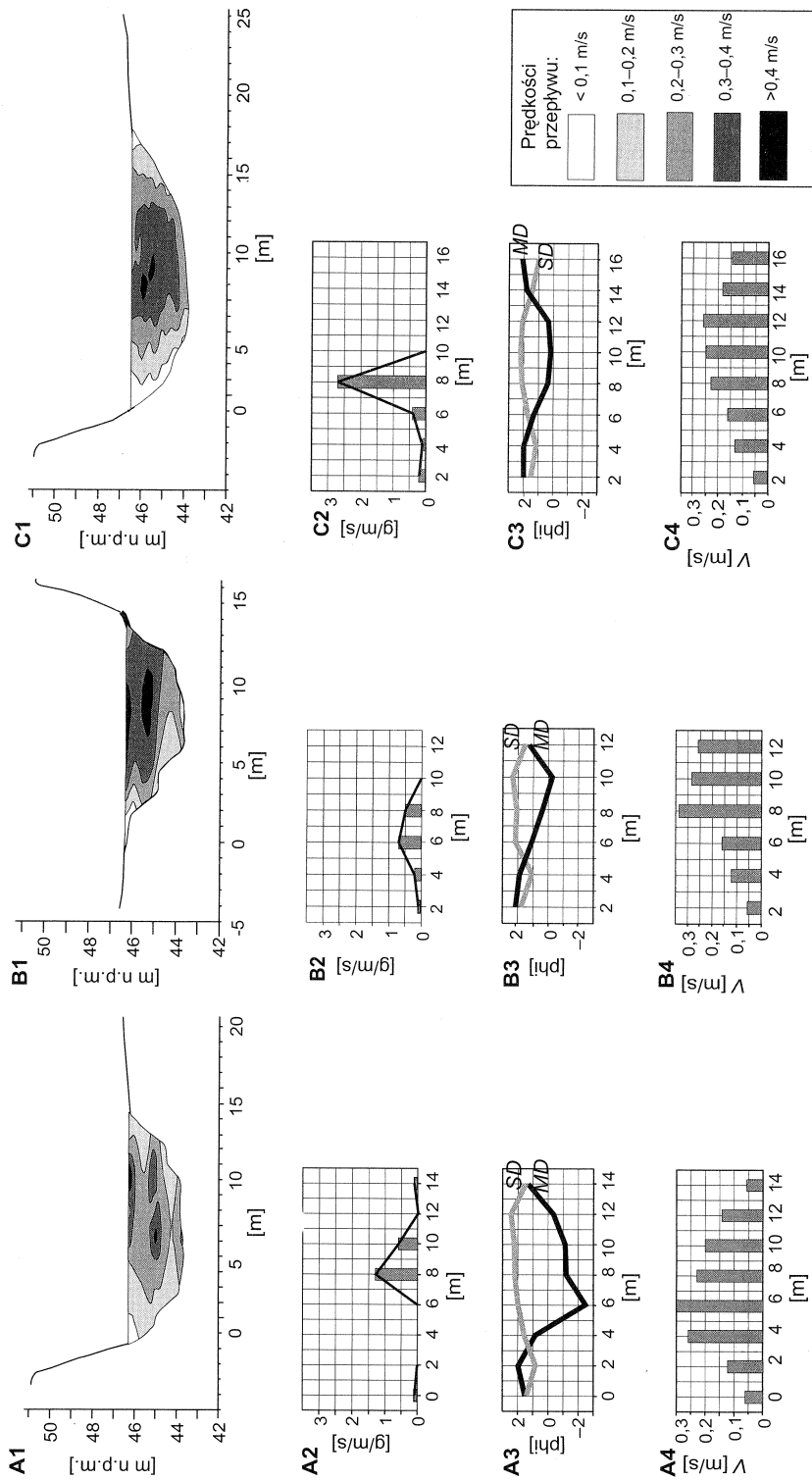


Rys. 8. Położenie przekrojów pomiarowych oraz strefy nurtu, brzegu prawego i brzegu lewego w korycie Obry

1 – przekroje pomiarowe

Fig. 8. Location of cross-sections, current zone and river bank zones in the Obra river bed

1 – cross-sections



Rys. 9. Zmiany wielkości transportu materiału wlezonego w połączeniu ze zmiennością wskaźników uziarnienia osadów korytowych rzeki Obry w okresie wysokich stanów wody (2-4 IV 2003)

A - przekrój nr 1, B - przekrój nr 3, C - przekrój nr 4; A1, B1, C1 - rozkład prędkości przepływu w przekrojach pomiarowych; A2, B2, C2 - transport rumowiska wlezonego [g/m/s]; A3, B3, C3 - zmienność średnicy ziarna (MD) i odchylenia standardowego (SD) w osadach korytowych; A4, B4, C4 - prędkość przepływu w strefie przydennej

Fig. 9. Changes of bed-load transport rate in comparison with changes of alluvial sediments granulometric coefficients in high water stages period (2-4 IV 2003)

A - cross-section no 1, B - cross-section no 3, C - cross-section no 4; A1, B1, C1 - flow velocity distribution in particular cross-sections; A2, B2, C2 - bed-load transport rate [g/m/s]; A3, B3, C3 - changes of mean diameter (MD) and standard deviation (SD) in river bed sediments; A4, B4, C4 - flow velocities in bed zone

wej części zakola meandrowego i charakteryzuje się asymetrycznym kształtem. Natomiast przekrój nr 4 położony jest na początku prostoliniowego odcinka Obry o długości ok. 300 m i cechuje się kształtem zbliżonym do symetrycznego.

TRANSPORT RUMOWISKA WLEZONEGO PRZY WYSOKICH STANACH WODY

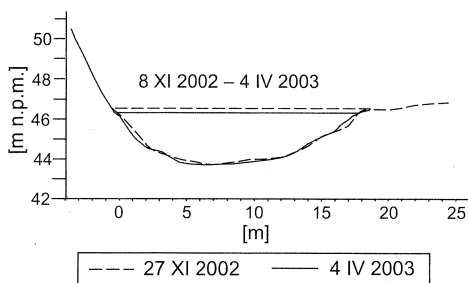
Transport rumowiska wlezonego określono w odniesieniu do wysokich stanów wody na podstawie serii pomiarowej przeprowadzonej w kwietniu 2003 r. Stan wody wynosił wówczas 256 cm (rys. 7A). W takich warunkach hydrologicznych, w badanych przekrojach poprzecznych, natężenie transportu wynosiło od $3,0 \text{ g s}^{-1}$ (przekrój trzeci – rys. 9B2) do $6,8 \text{ g s}^{-1}$ (przekrój czwarty – rys. 9C2). Różnice w obliczonych wielkościach mogły wynikać ze zróżnicowania w uziarnieniu materiału korytowego. Przeciętna średnica ziarna osadów strefy nurtu wynosiła w przekroju trzecim od 0,8 phi (0,6 mm) do -0,1 phi (1,1 mm) (rys. 9B3), natomiast w przekroju czwartym materiał korytowy był drobniejszy [od 1,3 phi (0,42 mm) do 1,2 phi (0,45 mm)] (rys. 9C3). Na wielkość transportu rumowiska wlezonego wpłynęły także wyższe w stosunku do poprzednich pomiarów prędkości wody w strefie przydennej. W badanych przekrojach wynosiły one od 0,2 do 0,3 m/s (rys. 9A4, 9B4 i 9C4). Należy dodać, że w przekroju pierwszym stwierdzono występowanie najgrubszego osadu w strefie nurtu w czasie stanów wysokich. Jego przeciętna średnica ziarna wynosiła -2,2 phi (4,8 mm), natomiast odchylenie standardowe wynosiło 2 (osad słabo wysortowany) (rys. 9A3). Na przekroju tym prędkości wody przy dnie były zbyt niskie, aby tej średnicy materiał uległ transportowi. Osad ten pochodzi prawdopodobnie z rozmycia gliny zwa-

lowej znajdującej się w podłożu doliny. Przyczyną odsłonięcia tak grubych osadów mógł być intensywniej oddziałujący w tym miejscu proces rozmycia podziowego i erozji wirowej.

W strefach brzegowych, w czasie występowania wysokich stanów wody, wielkości transportu rumowiska wlezonego były dużo niższe, w porównaniu ze strefą nurtu. W pobliżu obydwu brzegów natężenie transportu wynosiło od $0,3 \text{ g s}^{-1}$ w przekroju pierwszym (rys. 9A2) do $0,7 \text{ g s}^{-1}$ w przekroju czwartym (przy brzegu lewym – wklęsłym) (rys. 9C2). Przyczyną niższych wartości transportu mogły być niższe prędkości przy dnie, wynoszące od 0,05 do 0,18 m/s. W obu strefach brzegowych zauważalne jest stopniowe drobienie osadu w kierunku brzegu (związane ze spadkiem prędkości przepływu) i poprawa jego stopnia wysortowania, zaznaczające się w spadku wartości odchylenia standardowego (rys. 9A3, 9B3 i 9C3).

Transport rumowiska wlezonego w strefie nurtu oraz w strefie lewego brzegu (w przekroju czwartym) był efektem procesu erozji, którego oddziaływanie zaobserwowano poprzez porównanie ukształtowania dna koryta w czasie pomiaru w kwietniu 2003 r. z poprzednią serią pomiarową (22 XI 2002) (rys. 10). Oddziaływanie procesowi erozji przedstawiono na przykładzie przekroju pomiarowego nr 4. Obniżenie się dna koryta widoczne jest przede wszystkim w środkowej części przekroju oraz w pobliżu lewego, wklęsłego brzegu. Podobne zmiany zaobserwowano w przekroju piątym, który charakteryzuje się kształtem zbliżonym do przekroju nr 4, oraz w strefie nurtu przekroju trzeciego.

Zmiany w ukształtowaniu dna koryta zaobserwowano również podczas wezbrania powodziowego w marcu i kwietniu 2002 r. Stan wody wyniósł

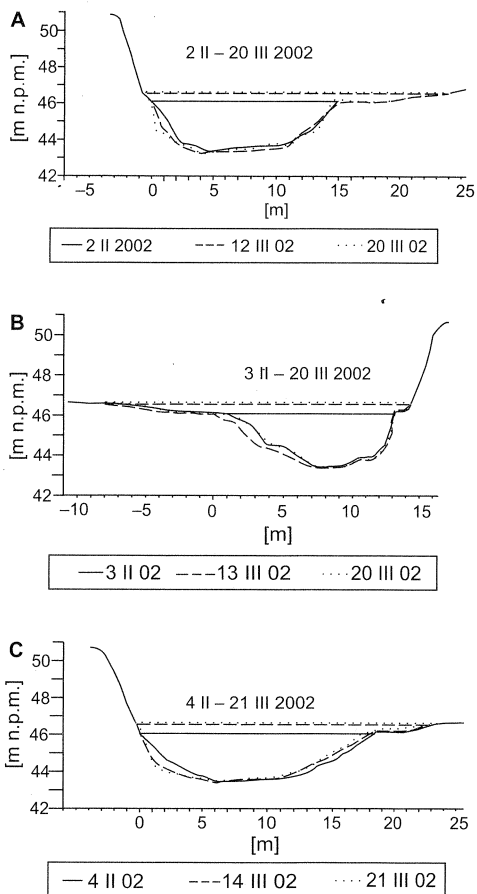


Rys. 10. Zmiany ukształtowania dna koryta Obry podczas wysokich stanów wody na przykładzie przekroju nr 4

Fig. 10. Changes in the Obra river bed morphology during high water stages: the example of cross-section 4

wówczas 292 cm. W okresie tym zauważono zróżnicowaną reakcję badanych przekrojów poprzecznych na wzrost stanu wody i objętości przepływu (rys. 11). W przekroju pierwszym (rys. 11A) zanotowano wyraźną erozję. W największym stopniu zaznaczyła się ona w strefie lewego, wklęsłego brzegu. Natomiast w pobliżu brzegu prawego w pomiarze z 12 III 2002 (przy stanie wody 281 cm) zaznaczyła się nieznaczna akumulacja, a w okresie 12–20 III (wzrost stanu wody od 281 do 292 cm) – wyraźna erozja. Ponadto w środkowej części przekroju zaobserwowano proces erozji wglębnej. Natomiast w przekroju nr 3 zaobserwowano odmienny kierunek zmian ukształtowania koryta. W strefie nurtu oraz przy brzegu wklęsłym zanotowano względną stabilizację dna koryta (rys. 11B). Może to wynikać z faktu, że w przekroju nr 3, w pionach hydrometrycznych nr 10 i 12, w większości przeprowadzonych serii pomiarowych stwierdzono występowanie gliny zwałowej, nie przykrytej w tym miejscu grubym materiałem. Jest to osad mało podatny na erozję w środowisku wodnym. Niska podatność tego osadu na rozmywanie spowodowała, że zanotowane zmiany ukształtowania

dna koryta w strefie nurtu tego przekroju były znikome. Natomiast znacznie większe zmiany zauważono w pobliżu lewego brzegu (wypukłego). W okresie od 3 II do 13 III, przy wzroście stanu wody od 231 do 281 cm, przewagę stanowiły procesy erozji (rys. 11B). Następnie, od 13 III do 20 III, przy dalszym wzroście stanu wody (do 292 cm), za-

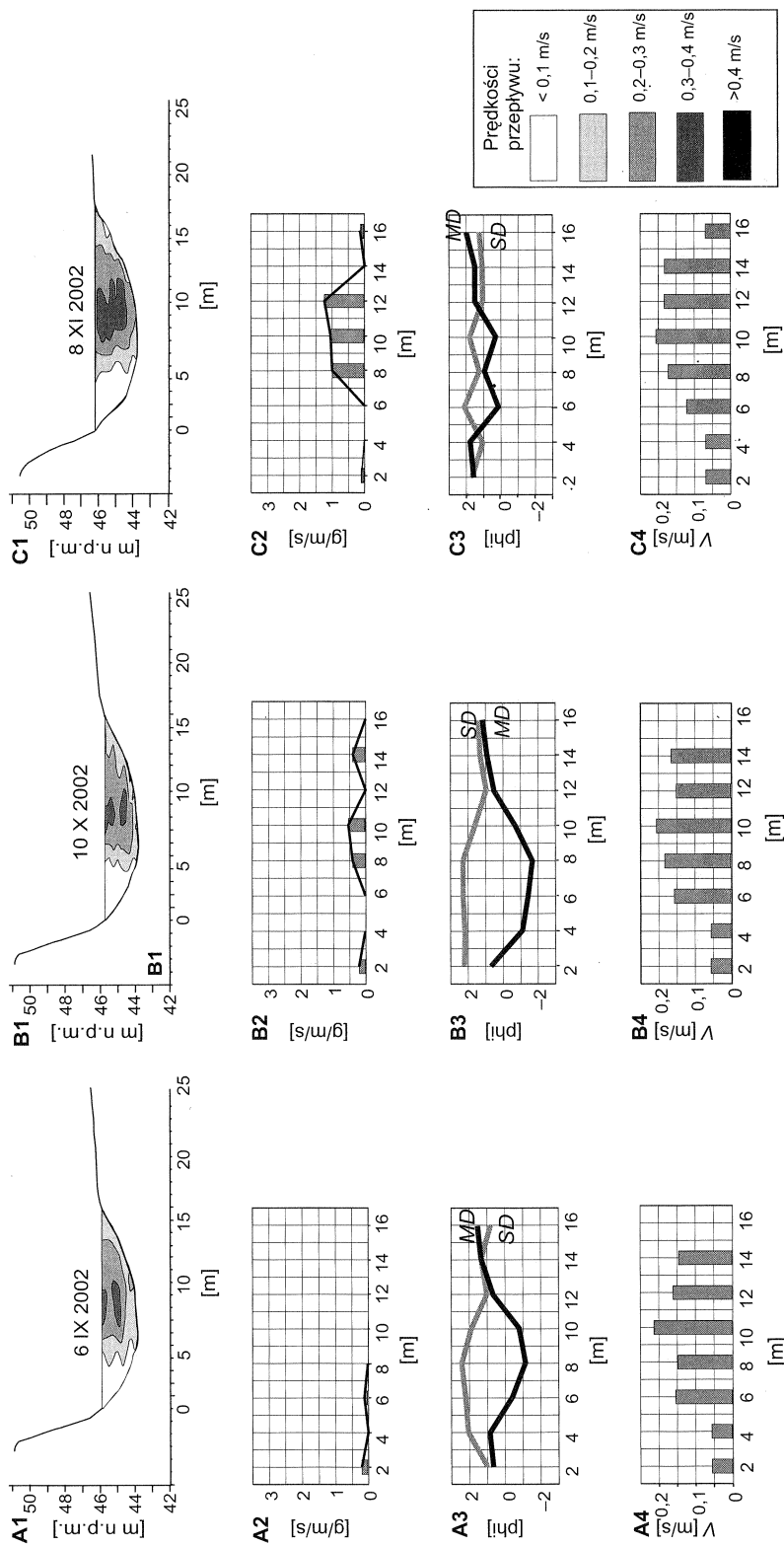


Rys. 11. Zmiany ukształtowania koryta Obry podczas wezbrania

A – przekrój nr 1, B – przekrój nr 2, C – przekrój nr 3

Fig. 11. Changes in morphology of the Obra river bed in high water stages period

A – cross-section no 1, B – cross-section no 2, C – cross-section no 3



Rys. 12. Zmiany wielkości transportu materiału wlezonego w połączeniu ze zmiennością wskaźników uziarnienia osadów korytowych rzeki Obrzy w okresie występowania średnich stanów wody (6 IX – 8 XI 2002) w przekroju pomiarowym nr 4
 A – 6 IX 2002, B – 10 X 2002, C – 8 XI 2002; A1, B1, C1 – rozkład prędkości przepływu w przekroju pomiarowym; A2, B2, C2 – transport rumowiska wlezonego [g/m³]; A3, B3, C3 – zmienność średniej średnicy ziarna (MD) i odchylenia standardowego (SD) w osadach korytowych; A4, B4, C4 – rozkład prędkości przepływu w strefie przydennej
 IX – 8 XI 2002) in cross-section no 4

Fig. 12. Changes of bed-load transport rate in comparison with changes of alluvial sediments granulometric coefficients in period of medium water stages (6 IX – 8 XI 2002) in cross-section no 4

znaczyła się tu wyraźna akumulacja materiału aluwialnego, która stanowiła zapis procesu tworzenia się odsypu meandrowego. Z kolei w przekroju czwartym odnotowano stosunkowo najmniejsze zmiany w ukształtowaniu dna koryta (rys. 11C). W środkowej jego części zmiany te były bardzo niewielkie. Natomiast procesy erozji i akumulacji w obydwu strefach brzegowych przebiegały w odmienny sposób. Przy prawym brzegu (wypukłym) dominowała akumulacja (rys. 11C), postępująca w miarę wzrostu stanu wody. Natomiast przy lewym brzegu wyraźnie zaznaczył się proces erozji.

Trudno jest w jednoznaczny sposób wyjaśnić przyczyny zaobserwowanych powyżej różnic. Można przypuszczać, że jednym z czynników wpływających na to zróżnicowanie jest kształt i położenie badanych przekrojów poprzecznych. Przekrój nr 1 leży w sąsiedztwie miejsca, na którym widoczne są ślady erozji bocznej w postaci odsłonięcia osadów glacialnych i fluwioglacialnych. Znajduje się ono na lewym, wysokim brzegu koryta Obry. Efektem oddziaływania procesu erozji bocznej było zwiększenie szerokości koryta bezpośrednio przed przekrojem. Na poszerzenie koryta wpłynęła również obecność pni drzew pochodzących z podmytego, wysokiego brzegu. Pojawienie się tego rodzaju przeszkody mogło zmniejszyć zdolność transportową rzeki. Wskazują na to badania prowadzone w korytach potoków na obszarze Pogórza Wielickiego (SŁOWIAK 2002). Wymienione powyżej czynniki mogły więc wpłynąć na przewagę procesów erozyjnych występujących w przekroju podczas wezbrania. Przekrój trzeci charakteryzuje się najmniejszą szerokością spośród wszystkich badanych przekrojów oraz asymetrycznym kształtem i występowaniem gliny w części powierzchni dna. Natomiast przekrój czwarty po-

łożony jest na początku prostoliniowego odcinka rzeki o długości 300 m i charakteryzuje się kształtem zbliżonym do symetrycznego.

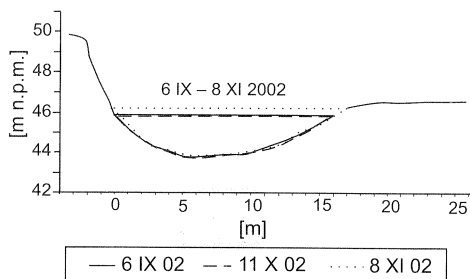
TRANSPORT RUMOWISKA WŁECZONEGO PRZY ŚREDNICH STANACH WODY

Wielkość transportu rumowiska w czasie występowania średnich stanów wody cechowała się dużym zróżnicowaniem. Zaobserwowane różnice przedstawiono na przykładzie czwartego przekroju pomiarowego, w odniesieniu do serii pomiarowych przeprowadzonych we wrześniu (stan wody: 214 cm; rys. 12A1), październiku (stan wody: 208 cm; rys. 12B1) i na początku listopada 2002 r. (stan wody: 244 cm; rys. 12C1). W pierwszych dwóch wymienionych seriach pomiarowych natężenie transportu rumowiska wleczonego było niewielkie. W omawianym przekroju poprzecznym wynosiło ono 3 g s^{-1} , a w poszczególnych pionach hydrometrycznych osiągnęło maksymalnie $0,5 \text{ g s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ (10 X 2002; rys. 12B2). Przyczyną wystąpienia niskich wartości transportu był gruby materiał w strefie nurtu, którego przeciętna średnica ziarna wynosiła od $-0,6 \phi$ (1,6 mm) do $-1,5 \phi$ (3,0 mm) (rys. 12B3). Prędkości przepływu przy dnie były w tym okresie zbyt niskie, aby tego rodzaju osad podległ transportowi. W strefie nurtu wynosiły one od 0,16 do 0,22 m/s (rys. 12A4 i 12B4). Ponadto należy zaznaczyć, że strefa nurtu we wrześniu i październiku zajmowała stosunkowo niewielki procent powierzchni przekroju poprzecznego (rys. 12A1 i 12B1). W listopadzie natomiast zasięg strefy nurtu był wyraźnie większy (rys. 12C1), co mogło wpłynąć na wzrost natężenia transportu w całym przekroju czwartym do 7 g s^{-1} (rys. 12C2). Ponadto zaobserwowano, że osady korytowe w strefie nurtu były w tym czasie drobniejsze [$MD = 1,0 \phi$ (0,5 mm) – $0,2 \phi$

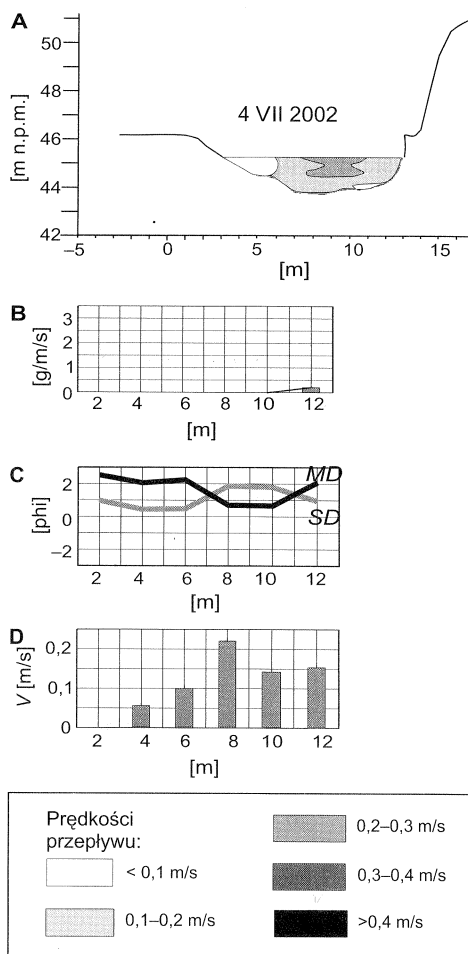
(0,9 mm); rys. 12C3] i nieco lepiej wysortowane, w porównaniu z pomiarami we wrześniu i październiku. Ponadto zaobserwowano, że w omawianym przekroju w strefie nurtu i przy lewym brzegu zaznaczył się proces akumulacji o niewielkim natężeniu (8 XI 2002; rys. 13). Natomiast w dwóch wcześniejszych pomiarach zmiany ukształtowania dna koryta były znikome.

Podobne zmiany, polegające na wzroście wielkości transportu materiału wlezonego przy jednoczesnym pojawieniu się drobniejszego osadu korytowego w strefie nurtu, zauważono również w pierwszym i trzecim przekroju pomiarowym, które założono powyżej przekroju nr 4 (rys. 8). Zmiany te dawały efekt w postaci niewielkiej akumulacji na dnie koryta, przedstawionej na przykładzie przekroju czwartego (rys. 13).

W wymienionych przekrojach występowały one jednak w różnym czasie. W przekroju nr 1 wzrost natężenia transportu zaobserwowano we wrześniu 2002 r., a w przekroju trzecim – w październiku 2002 r. Sugerowałoby to „falowy” charakter transportu rumowiska wlezonego w omawianym okresie. Badania innych autorów wskazują, że „fa-



Rys. 13. Zmiany ukształtowania dna koryta w czasie występowania średnich stanów wody (6 IX – 8 XI 2002) na przykładzie przekroju nr 4
Fig. 13. Changes in the Obra river bed morphology during medium water stages (6 IX – 8 XI 2002): the example of cross-section 4



Rys. 14. Natężenie transportu materiału wlezonego przy niskich stanach wody (lipiec 2002) na przykładzie przekroju nr 3

Fig. 14. Bed-load transport rate at low water stages (July 2002): the example of cross-section 3

lowy” lub „pulsacyjny” proces transportu może mieć związek z przekształcaniem form dna koryta w różnych warunkach hydrologicznych oraz z migracją tych form w dół rzeki (MOSLEY 1978; MEADE 1985). Należy jednak zaznaczyć, że okres, w którym zaobserwowano przedstawione wyżej zmiany, jest zbyt

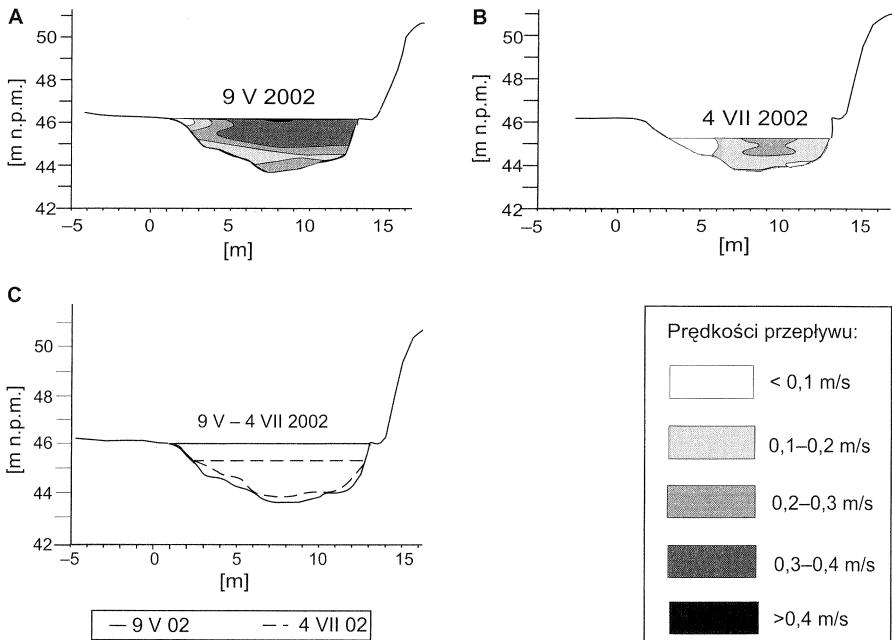
krótki, aby potwierdzić regularność występowania takiego mechanizmu.

TRANSPORT RUMOWISKA WŁECZONEGO PRZY NISKICH STANACH WODY

Niskie stany wody w okresie objętym pomiarami wystąpiły w miesiącach letnich (lipiec i sierpień 2002; stan wody: 154 cm). W tym czasie przeprowadzono dwie serie pomiarowe, podczas których zanotowano bardzo niewielkie wartości transportu materiału wleczonego zarówno w strefie nurtu, jak i w pobliżu brzegów koryta. We wszystkich badanych przekrojach poprzecznych, w poszczególnych pionach hydrometrycznych, wielkość transportu nie przekraczała $0,2 \text{ g s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ (rys. 14B). Było to spo-

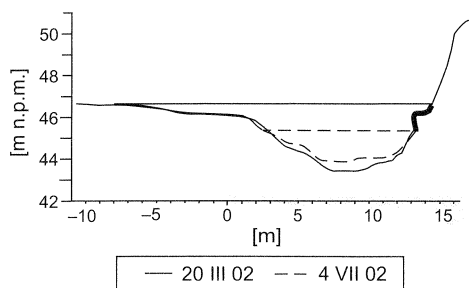
wodowane niskimi prędkościami przepływu przy dnie koryta, które w strefach brzegowych wynosiły poniżej $0,1 \text{ m/s}$, a w strefie nurtu poniżej $0,2 \text{ m/s}$ (rys. 14A, 15B).

W omawianym okresie w strefie nurtu znajdował się osad o przeciętnej średnicy ziarna od $1,2 \phi$ ($0,45 \text{ mm}$) do $0,8 \phi$ ($0,6 \text{ mm}$) i słabym wysortowaniu ($SD = 1,9$), który w takich warunkach przepływu wody nie mógł być transportowany. Wyniki obliczeń natężenia transportowanego rumowiska przy zastosowaniu modelu potencjalnego transportu (MŁYNARCYK 1996) wskazują, że prędkość progowa potrzebna do włączenia do transportu osadu o przeciętnej średnicy ziarna $1,15 \phi$ ($0,43 \text{ mm}$), przy



Rys. 15. Zmiany rozkładu prędkości przepływu (A, B) oraz zmiany ukształtowania dna koryta (C) w okresie spadku stanów wody w okresie 9 V – 4 VII 2002 w przekroju trzecim na tle zmian rozkładu prędkości wody

Fig. 15. Changes in flow velocity distribution (A, B) and changes in river bed morphology (C) in period of lowering water stages (9 V – 4 VII 2002) in cross-section 3 against the background of changes in flow velocity distribution



Rys. 16. Ukształtowanie dna koryta w okresie wysokich i niskich stanów wody na przykładzie przekroju nr 3

Fig. 16. Confrontation of the Obra river bed morphology at high and low water stages: the example of cross-section 3

uwzględnieniu całego rozkładu uziarnienia próby, wynosi 0,22 m/s. W serii pomiarowej w maju 2002 r., poprzedzającej okres niskich stanów wody, prędkości przepływu przy dnie w strefie nurtu przekraczały 0,3 m/s (rys. 15A), co umożliwiło transport takiego materiału. Natomiast przy niskich stanach wody w lipcu i sierpniu nastąpił spadek prędkości przepływu, co spowodowało, że materiał o przeciętnej średnicy ziarna 1,2–0,8 phi (0,45–0,6 mm) nie mógł być transportowany. Efektem przedstawionych zmian warunków przepływu wody był stosunkowo intensywny proces akumulacji w strefie nurtu, który zilustrowano na przykładzie przekroju nr 3 (rys. 15C). W przekroju tym depozycja materiału nastąpiła również w strefie brzegu lewego (wypukłego), gdzie znajdował się osad o średniej średnicy ziarna 2,3–2,0 phi (0,22–0,25 mm). Jego depozycja przebiegała w sposób podobny do przedstawionego powyżej.

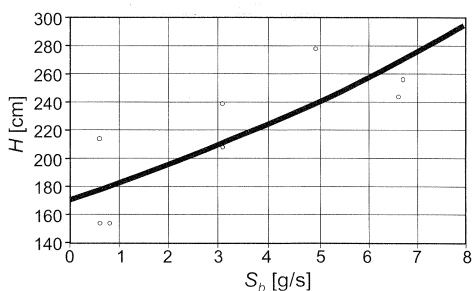
Analiza zmian ukształtowania dna koryta w poszczególnych przekrojach poprzecznych koryta Obry w okresie objętym pomiarami pozwoliła na określenie intensywności, z jaką proces rozmycia powodziowego oddziałuje na zmia-

ny rzędnej dna koryta. W celu dokładnego określenia stopnia tych zmian porównano kształt koryta z serii pomiarowych, w czasie której wystąpił najwyższy i najniższy zanotowany stan wody (20–21 III 2002 oraz 3–5 VII 2002) (rys. 16).

Różnice w położeniu rzędnej dna koryta w strefie nurtu na pięciu badanych przekrojach poprzecznych były do siebie zbliżone i wyniosły od 36 do 40 cm. W porównaniu z wielkością rozmycia powodziowego w korytach innych rzek nizinnych jest to wartość niewielka. W przypadku rzeki Prosnicy zmiany położenia dna koryta są znacznie większe i w miejscach, gdzie występuje erozja wirowa, sięgają ponad 3 m (ROTNIKI, MŁYNARCZYK 1989). Przyczynę tak małego stopnia „przerabiania” osadów aluwialnych Obry może stanowić występowanie grubego materiału pochodzącego z rozmycia gliny zwałowej. Materiał ten nie podlega transportowi w warunkach hydrologicznych, jakie zaobserwowano w korycie Obry.

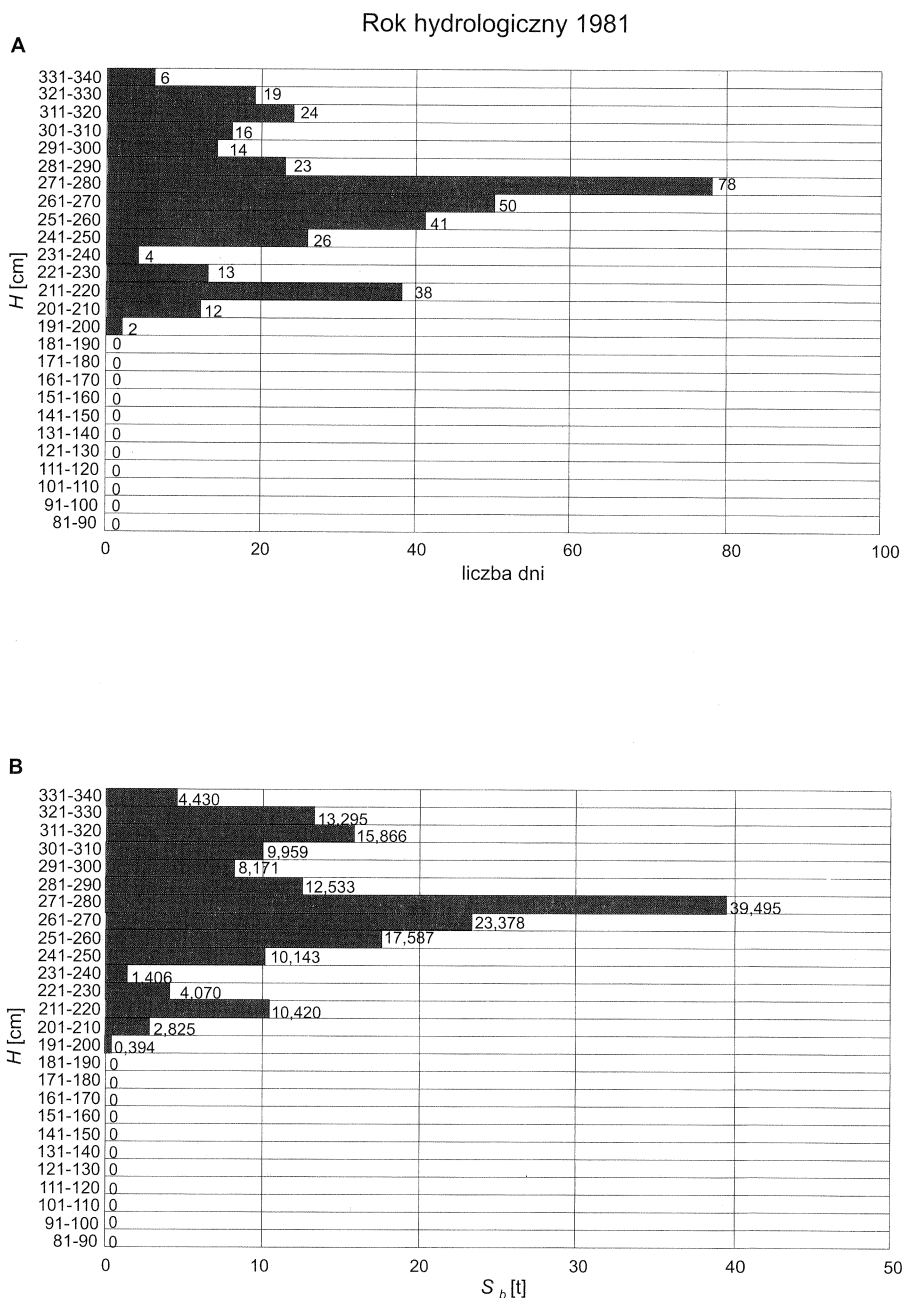
ZMIANY WIELKOŚCI TRANSPORTU MATERIAŁU WLEZONEGO W OKRESIE 1971–1991

Obliczenia rocznych wartości ładunku rumowiska dla lat 1971–1991 dokonano



Rys. 17. Zależność między stanem wody (H) a ładunkiem materiału wlezonego (S_b)

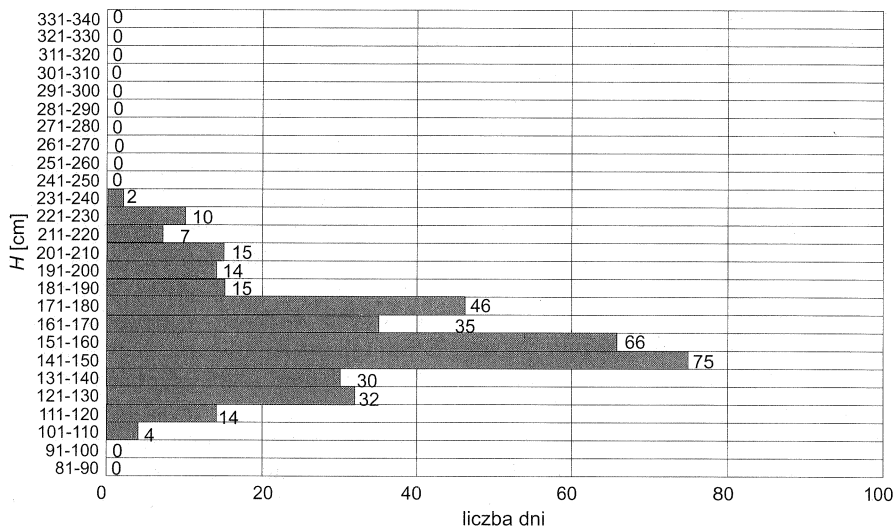
Fig. 17. Dependence between water stage (H) and bed-load transport rate (S_b)



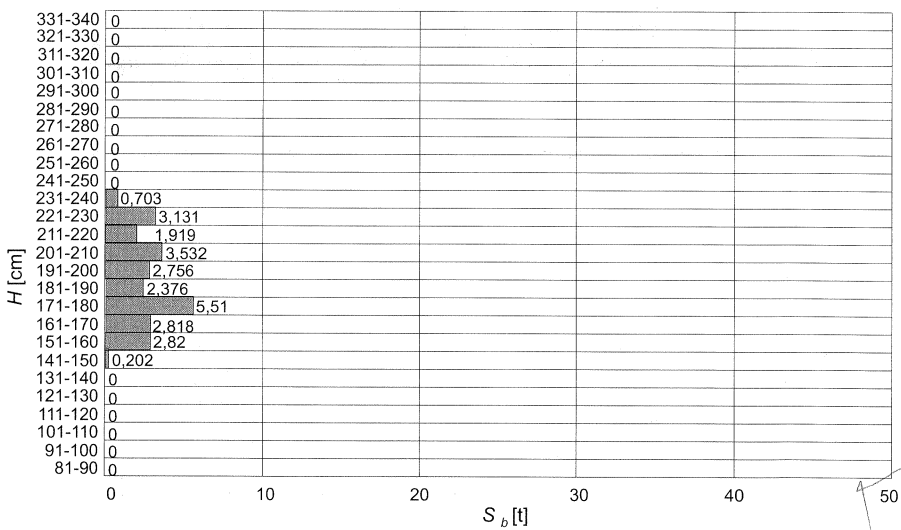
Rys. 18. Częstość występowania stanów wody (H) oraz ładunek materiału wlezonego S_b (t/dobę razy liczba dni) w roku hydrologicznym wilgotnym (1981; A, B) i suchym (1990; C, D)
 Fig. 18. Frequency of water stages (H) and bed-load transport rate S_b in chosen wet (1981; A, B) and dry (1990; C, D) hydrological year

Rok hydrologiczny 1990

C



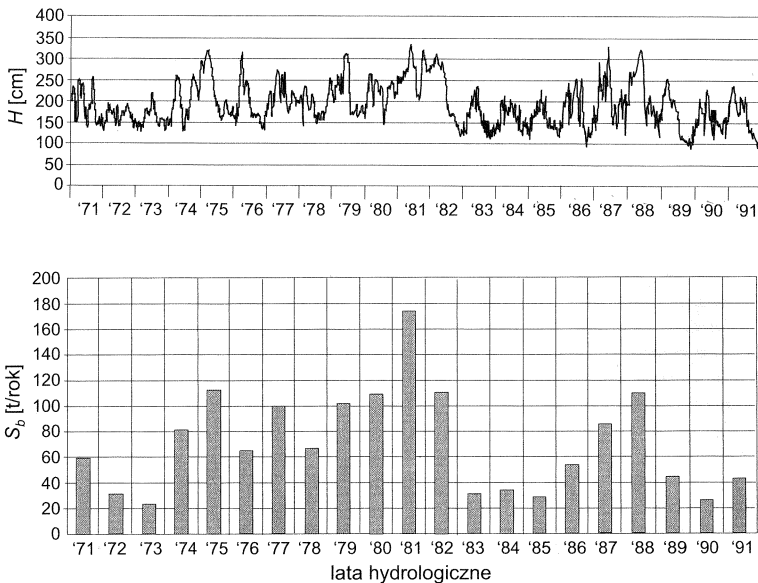
D



w oparciu o zależność pomiędzy natężeniem transportu rumowiska wleczonego w przekroju poprzecznym koryta a stanem wody. Kształt tej zależności wyznaczono na podstawie danych z pomiarów terenowych, wykonanych w okresie 8 V 2002 – 4 IV 2003. Poniższy wykres (rys. 17) przedstawia opisywaną zależność. Należy zaznaczyć, że 30 kwietnia 1992 r. wodowskaz Międzyrzecz został zlikwidowany. Z tego powodu podjęto próbę wyznaczenia związku stanów wody w odniesieniu do wodowskazu Zbąszyń. Jednak ze względu na zabudowę hydrotechniczną (zastawki) i sztucznie wyznaczone stałe piętrzenia w Zbąszyniu przy wypływie Obry z Jeziora Zbąszyńskiego zależność ta nie mogła być wykorzystana. Trudność w obliczeniu wielkości transportu rumowiska wynikała również z braku pomiarów objętości przepływów na wodowskazu Międzyrzecz. Z powyższych względów obli-

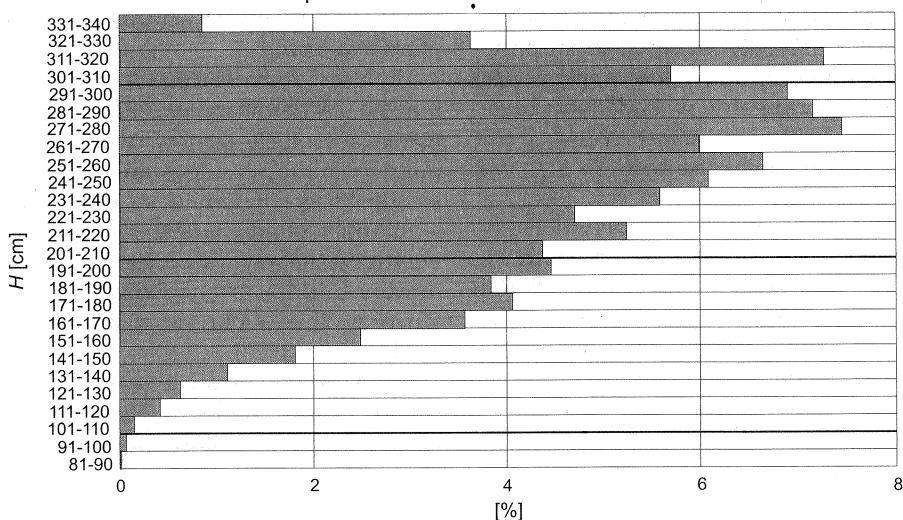
czone wielkości transportu rumowiska należy traktować szacunkowo.

Dla roku wilgotnego (1981), charakteryzującego się długotrwałymi, wysokimi stanami wody w okresie wiosennym i częściowo letnim, z maksymalnym stanem wynoszącym 336 cm i minimalnym 200 cm, wielkość ładunku materiału wleczonego wyniosła 173,972 t. Natomiast dla roku suchego (1990) wartość ta wyniosła 25,767 t. Rok ten cechowały niskie stany wody, z wyłączeniem stosunkowo niedużych wezbrań w grudniu i marcu. Minimalny zanotowany stan wody wyniósł 109 cm, a maksymalny 232 cm. W roku wilgotnym (rys. 18A i B) największa ilość materiału wleczonego została odprowadzona przy stanie wody 271–280 cm (decydował o tym najdłuższy czas ich występowania – 78 dni). Duże ładunki osadu podlegały transportowi także przy pojawianiu się stanów wody w zakresie 311–320 oraz 321–330 cm



Rys. 19. Zmiany wielkości rocznego ładunku rumowiska (S_b) w okresie 1971–1991 na tle wahań stanów wody

Fig. 19. Changes of the amount of annual bed-load transport (1971–1991) in comparison with changes of water stages



Rys. 20. Procentowy udział ładunku rumowiska w poszczególnych przedziałach stanów wody w latach 1971–1991

Fig. 20. Proportional amount of bed-load in particular classes of water stages (1971–1991)

(rys. 18A i B). Istotne znaczenie miały tu warunki przepływu wody w korycie, zwłaszcza w strefie przydennej. W roku suchym największe ładunki materiału wlezonego odpowiadały zakresowi stanów wody 171–180 cm (rys. 18C i D). W tym przypadku większe znaczenie miały warunki przepływu wody w korycie niż częstość występowania określonego stanu wody. W opisywanym roku najczęściej pojawiające się stany wody należały do przedziału 141–150 cm (rys. 18C). W czasie ich występowania transport rumowiska wyniósł jedynie 0,202 t (rys. 18D).

Jak już wspomniano, wielkość transportu materiału wlezonego obliczono dla okresu 1971–1991 (rys. 19). Największe ładunki rumowiska odprowadzane były w latach hydrologicznych 1975, 1980–1982 i 1988. Lata te charakteryzowały się silnymi wezbrzeniami, w czasie których stan wody sięgał ponad 320 cm. Bardzo istotne w tym przypadku były

nie tylko wysokie kulminacje, ale również czas utrzymywania się wysokich stanów wody (w 1981 r. przedział stanów wody o największej częstości występowania wyniósł 271–280 cm).

Zanotowano również okresy, w których odprowadzany ładunek rumowiska był wielokrotnie niższy (lata 1972–1973, 1983–1985 i 1990–1991). Lata te cechowało występowanie długotrwałych niżówek, głównie w miesiącach letnich (z minimalnymi stanami sięgającymi 80–90 cm). Natomiast najwyższe zanotowane stany wody w tych okresach nieznacznie przekraczały 200 cm (rys. 19).

Dla badanego okresu obliczono procentowy udział ładunku rumowiska w poszczególnych przedziałach stanów wody. Na rysunku 20 zaznacza się wprost proporcjonalna zależność pomiędzy stanem wody a transportowanym ładunkiem rumowiska.

W analizowanym 20-leciu największa masa rumowiska związana jest z za-

kresami stanów wody 271–280, 281–290, 291–300 i 311–320 cm (w każdym przypadku powyżej 7% całości osadu, jaki był transportowany w badanym 20-leciu) (rys. 20). Natomiast powyżej 6% masy osadu związane było ze stanami wody 241–250 i 251–260 cm. Decydowały o tym warunki przepływu wody w korycie, ale także czas ich trwania. W dolnej części wykresu wielkości transportowanego rumowiska maleją wraz ze zmniejszaniem się stanu wody, niezależnie od częstości jego występowania. Ma ona natomiast znaczenie w przypadku najwyższych stanów zanotowanych w tym okresie (321–330 i 331–340 cm) (rys. 20). W czasie silnych wezbrań dobowe wartości transportu rumowiska były bardzo duże. Jednak te ekstremalne zdarzenia pojawiały się zbyt rzadko, aby mieć znaczący udział w skali wieloletniej (odpowiednio: 3,6% i 0,8% całości transportowanego osadu).

WNIOSKI

Zaprezentowane zmiany wielkości transportu rumowiska wlezonego oraz zmiany ukształtowania dna koryta pozwalają na dokonanie następujących spostrzeżeń:

1. Obliczone wielkości transportu materiału wlezonego w poszczególnych przekrojach poprzecznych koryta Obrzy pokazują, że ten rodzaj transportu charakteryzuje stosunkowo niewielkie natężenie. Jedną z przyczyn może być występowanie w strefie przydennej stosunkowo niedużych prędkości przepływu (od 0,05 m/s w strefach brzegowych do 0,3 m/s w strefie nurtu). Ponadto zaobserwowano, że przy wysokich stanach wody w strefie nurtu „odsłaniany” jest osad o przeciętnej średnicy ziarna dochodzącej do $-2,0 \phi$ (4,0 mm). Osad ten nie podlega transportowi przy warunkach hydrologicznych występujących w korycie Obrzy. Jest to materiał po-

chodzący z rozmycia zalegającej poniżej gliny zwałowej.

2. Największe wartości transportu rumowiska zanotowano w czasie występowania wysokich stanów wody. Natomiast pomimo występowania stosunkowo drobnego materiału na dnie koryta w okresie letnim, wielkości transportu w tym czasie były niskie. Było to spowodowane niskimi prędkościami przepływu przy dnie w okresie niskich stanów wody.

3. W okresie występowania średnich stanów wody zaobserwowano znaczne różnice w wielkości transportu na poszczególnych przekrojach, związane z obecnością drobniejszego materiału na dnie i zmianami zasięgu strefy nurtu. Jednak tego rodzaju reakcja poszczególnych przekrojów nastąpiła w różnym czasie (przekrój nr 1 – wrzesień 2002 r., przekrój nr 3 – październik 2002 r., przekrój nr 4 – listopad 2002 r.). Jest to przypuszczalnie efekt „falowego” charakteru transportu materiału wlezonego. Proces ten może być efektem przekształceń form dna lub ich migracji w dół rzeki (MOSLEY 1978; MEADE 1985). Jednak okres, w którym zaobserwowano tego rodzaju zmiany, jest zbyt krótki, aby potwierdzić regularność występowania takiego mechanizmu.

4. Analizowane przekroje poprzeczne koryta reagują w różny sposób na wzrost stanów wody i objętości przepływu. W obrębie jednych zaznacza się przewaga procesów erozyjnych (przekrój nr 1), zaś w innych – procesów akumulacji (przekrój nr 3). Jedną z przyczyn tych zróżnicowań może być kształt i położenie badanych przekrojów oraz trudno rozmywalne osady w ich dnie (głina zwałowa w części przekroju trzeciego).

5. W okresie niskich stanów wody na wszystkich badanych przekrojach poprzecznych zaznaczyła się akumulacja materiału aluwialnego. Przyczyną tego

były niskie prędkości przepływu w strefie przydennej.

6. Zaobserwowane zmiany parametrów uziarnienia w badanych przekrojach poprzecznych oraz zmiany ukształtowania dna koryta Obry potwierdzają wyniki badań innych autorów (KNIGHTON 1977; DURY 1977), że wyraźne zmiany kształtu koryta mogą następować w krótkich odcinkach czasu, bez udziału ekstremalnych stanów wezbraniowych.

7. Wielkość transportu rumowiska wlezonego w roku wilgotnym jest sześciokrotnie większa niż w roku suchym. Wynika to z intensywności pojawiających się wezbrań powodziowych, a przede wszystkim z okresu utrzymywania się wysokich stanów wody. W roku wilgotnym decydującymi czynnikami były częstość występowania określonego stanu wody oraz warunki przepływu wody w strefie przydennej. Najczęściej występujące stany wody należały do przedziału 271–280 cm (rys. 18A). Wówczas w strefie przydennej koryta powstawały warunki przepływu, przy których natężenie transportu rumowiska wlezonego mogło być stosunkowo duże. W roku suchym warunki przepływu były najważniejszym czynnikiem odpowiedzialnym za natężenie transportu rumowiska. W opisywanym okresie najczęściej pojawiające się stany wody należały do przedziału 141–150 cm (rys. 18C). W czasie ich występowania transport rumowiska wyniósł jedynie 0,202 t (rys. 18D). Zatem częstość występowania określonego stanu wody była tu czynnikiem mniej istotnym niż w przypadku roku wilgotnego.

8. Największe ładunki rumowiska odprowadzane były w latach hydrologicznych charakteryzujących się silnymi wezbraniem, w czasie których stan wody osiągał ponad 320 cm. Na wzrost natężenia transportu rumowiska wpłynęły nie tylko wysokie kulminacje, lecz

przede wszystkim czas utrzymywania się wysokich stanów wody. Natomiast okresy, w których odprowadzany ładunek rumowiska był wielokrotnie niższy, cechowało występowanie długotrwałych niżówek, głównie w miesiącach letnich.

9. W analizowanym 20-leciu największa masa rumowiska podlegała transportowi przy występowaniu wysokich stanów wody (271–280, 281–290, 291–300 i 311–320 cm) (rys. 20). Decydował o tym czas utrzymywania się określonych warunków przepływu w korycie. Natomiast częstość występowania określonego stanu wody miała znaczenie w przypadku najwyższych stanów zanotowanych w tym okresie (321–330 i 331–340 cm) (rys. 20). Pomimo występowania wysokich dobowych wartości transportu rumowiska w czasie silnych wezbrań, te ekstremalne zdarzenia pojawiały się zbyt rzadko, aby mieć istotny udział w skali wieloletniej (odpowiednio: 3,6% i 0,8% całości transportowanego osadu) (rys. 20).

Badania przedstawione w ramach tej pracy stanowią część programu badań zatytułowanego „Natężenie transportu rumowiska w korycie rzeki nizinnej na przykładzie dolnego odcinka Obry”, kierowanego przez Prof. UAM dr hab. Zygmunta Młynarczyka. Fundusze na ten cel udzielił Komitet Badań Naukowych w ramach grantu nr P04/1215.

LITERATURA

- ALLEN J.R.L., 2000: Procesy kształtujące powierzchnię Ziemi. PWN, Warszawa.
- BAJKIEWICZ-GRABOWSKA E., MAGNUSZEWSKI A., MIKULSKI Z., 1993: HYDROMETRIA. PWN, Warszawa.
- BAJKIEWICZ-GRABOWSKA E., 2002: Obieg materii w systemach rzeczno-jeziornych. Warszawa.
- BARTKOWSKI T., 1956: Z zagadnień geomorfologicznych okolicy Międzyrzecza. Bad. Fizj. nad Pol. Zach., III, PTPN.

- BARTKOWSKI T., 1957: Rozwój polodowcowej sieci hydrograficznej w Wielkopolsce Środkowej. *Zeszyty Naukowe UAM, Geografia*, 1.
- BOGARDI J., 1974: Sediment transport in alluvial streams. *Akademiai Kiado, Budapest*.
- BRĄŃSKI J., 1965: Analiza błędów przypadkowych przy pomiarach rumowiska wleczonego i ich wpływ na dokładność pomiarów. *Prace PIHM*, 88, 93–107.
- BRĄŃSKI J., 1966: Pomiar transportu rumowiska unoszonego jako ważnego elementu przy projektowaniu budowli wodnych. *Gospodarka Wodna*, 10, 375–377.
- BYCZKOWSKI A., 1999: Hydrologia, t. II. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- CHOIŃSKI A., 1988: Zróżnicowanie i uwarunkowania zmienności przepływów rzek polskich. *Wyd. Naukowe UAM, Poznań*.
- CHOIŃSKI A., KANIECKI A., KRAJNIAK J., ŻURAWSKI M., 1979: Wody gminy Międzyrzecz. Międzyrzeckie Towarzystwo Kultury, Poznań–Międzyrzecz.
- DHI Water & Management, 2004, MIKE 21 River Morphology. www.dhisoftware.com/mike21c/Download/m21c_short_2004.pdf
- DURY G.H., 1977: Peak flows, low flows, and aspects of geomorphic dominance. [W:] K.J. Gregory, *River channel changes*. Wiley, Chichester, 61–74.
- DYNOWSKA J., 1971: Typy reżimów rzecznych w Polsce. *Zesz. Nauk. UJ CCXVIII, Prace Geogr.*, 28, Prace I. G., 50, Kraków.
- GUTRY-KORYCKA M., 2001: Geograficzne uwarunkowania ustroju rzek. *Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Warszawa*.
- GRZEGORCZYK M., 1970: Metody przedstawiania uziarnienia osadów. *Prace Kom. Geogr.-Geol. PTPN, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy*, 10, 2.
- KOWALSKA A., 1960: Paleomorfologia powierzchni podplejstocenijskiej niżowej części dorzecza Odry. *Instytut Geografii PAN, Prace Geograficzne PAN*, 21, 7–75.
- KLEINHANS M.G., TEN BRINKE W.B.M., 2001: Accuracy of cross-channel sampled sediment transport in large sand-gravel-bed rivers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125, 4, 258–269.
- KLEINHANS M.G., VAN RIJN L.C., 2002: Stochastic prediction of sediment transport in sand-gravel bed rivers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 128, 5, 412–425.
- KNIGHTON A.D., 1977: Short-term changes in hydraulic geometry. [W:] K.J. Gregory, *River channel changes*. Wiley, Chichester, 101–119.
- KRYGOWSKI B., 1961: Geografia fizyczna Niziny Wielkopolskiej. Cz. I: Geomorfologia. PTPN, Poznań.
- MARSZ A., 1967: O możliwości stosowania materiału znaczonego do badania niektórych procesów sedimentologicznych i morfodynamicznych. *Zeszyty Naukowe UAM, Geografia*.
- MEADE R.H., 1985: Wavelike movement of bedload sediment, East Fork River, Wyoming. *Environmental Geology Water Science*, 7, 215–225 (cyt. za: PAIGE, HICKIN 2000).
- MŁYNARCZYK Z., 1986: Inicjalna faza wypełniania zakola meandrowego Prosną koło Wieruszowa. *Sprawozdania PTPN*, 103, 97–99.
- MŁYNARCZYK Z., 1987: Metoda określania erozji wgłębną rzeki w czasie powodzi. *Sprawozdania PTPN*, 104, 117–119.
- MŁYNARCZYK Z., 1996: Transport materiału piaszczystego w korycie rzeki meandrującej i krętej. *Acta Quaternaria*, 1, Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Poznań.
- MOJSKI E., 1976: Mapa geologiczna polski. Skala 1:200 000. Mapa utworów powierzchniowych – mapa podstawowa 1:50 000. *Arkusz Świebodzin. PIG, Warszawa*.
- MOSLEY M.P., 1978: Bed material transport in the Tamaki river near Dannevirke, North Island, New Zealand. *New Zealand Journal of Science*, 21, 619–626 (cyt. za: PAIGE, HICKIN 2000).
- MUSIEROWICZ A., 1949: Skład mechaniczny gleb. *Metody analizy mechanicznej*. Warszawa.
- NIEN-SHENG CH., 2002: Exponential formula for bedload transport. *Journal of Hydraulic Engineering*, 128, 10, 942–946.
- OLESKIEWICZ J., URBAŃSKI J., 1971: Pomiar hydrologiczne z użyciem substancji wskaźnikowych. *Materiały Badawcze IGW*.
- PAIGE A.D., HICKIN E., 2000: Annual bed-elevation regime in the alluvial channel of Squamish river. *Southwestern British Columbia, Canada, Earth Surface Processes And Landforms*, 25, 991–1009.
- PASŁAWSKI Z., 1973: *Metody hydrometrii rzecznej*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- PRZEDWOJSKI B., BŁAŻEJEWSKI R., PILARCZYK K.W., 1995: *River training techniques. Fundamentals, design and applications*. A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield.
- ROTNIICKI K., MŁYNARCZYK Z., 1989: Późnowistuljańskie i holocenijskie formy i osady korytowe środkowej Prosną i ich paleohydrologiczna interpretacja. *Seria Geografia*, 43, Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Poznań.

- RYAN S.E., 1998: Sampling bed-load transport in coarse-grained mountain channels using portable samplers. Proceedings, Federal Interagency Workshop "Sediment Technology for the 21 century", St. Petersburg, FL, February 17–19, 1998, 1–6.
- SŁOWIAK P., 2002: Nasilenie skutków powodzi wywołane obecnością pni i konarów drzew w korytach potoków (Pogórze Wielickie). [W:] K. Klimek, K. Kocel, Konferencja: Roślinność a procesy erozji, transportu i depozycji. 21–22 marca 2002, Uniwersytet Śląski, Sosnowiec, 141–147.
- STELCZER K., 1970: Badania ścierania rumowiska. Prace PIHM, 100.
- STRAUCH E., 1972: Metody i przyrządy pomiarowe w meteorologii i hydrologii. PWN, Warszawa.
- TOMASZEWSKI E., 1967: Geomorfologia i geneza doliny Obry. UAM, Prace Wydziału Biologii i Nauk o Ziemi, Geografia, 3, 1–61.
- WINNICKI J., 1977: Objasnienia do mapy geologicznej Polski. Arkusz Świebodzin (red. Mojski J.E.). Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.

Recenzent: prof. UAM dr hab. Marek Marciniak

Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

CHANGES OF BED-LOAD TRANSPORT RATE IN THE LOWER COURSE OF THE OBRA RIVER VALLEY NEAR MIĘDZYZRZECZ (WESTERN POLAND)

Summary

Investigation concerning changes of bed-load transport rate was done in the lower course of the Obra river valley near Międzyrzecz (Western Poland). Detailed research was conducted in chosen section of the valley, 1 km long and 70–150 m wide. Bed load transport rate was estimated using the model of potential sand material transport (MŁYNARCZYK 1996). Calculated bed-load transport rates illustrate relatively small intensity of this sort of material transport in particular river bed cross-sections. One of the reasons could be occurrence of comparatively low flow velocities in bed zone (0.05 m/s in bank zones and 0.3 m/s in current zone). Besides, it was observed that at high water stages very coarse sediments (mean diameter -2.0ϕ) are exposed in current zone. This kind of ma-

terial can not be transported in hydrological conditions which are present in the Obra river bed. These course sediments originate from washing away glacial till which lies beneath alluvial sediments.

On the basis of dependence between bed-load transport rate and water stages, annual bed-load transport rate was estimated for period 1971–1991. The dependence was achieved using data from field measurements. The biggest amount of bed-load transport occurred in hydrological years with intensive floods. During such flow events water stages reached 320 cm. In such cases, length of high water stages period was very important because of presence of hydrological conditions that increased amount of transported bed-load.

