



OCENA INTENSYWNOŚCI PROCESÓW MORFOLOGICZNYCH RZEKI KAMIENICA NAWOJOWSKA

Mateusz Strutyński

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kollątaja w Krakowie

ASSESSMENT OF INTENSITY OF MORPHOLOGICAL PROCESSES IN KAMIENICA NAWOJOWSKA RIVER

Streszczenie

Rzeki i potoki górskie to dynamiczne układy fluwialne, których koryta ulegają ciągłym zmianom w przestrzeni. Szczególnie cieki znajdujące się w południowej Polsce charakteryzują się tendencją zarówno do pogłębiania swojego koryta, jak i do zmian położenia w planie. Spowodowane jest to ukształtowaniem terenu oraz występowaniem częstych wezbrań, które powodują uruchomienie materiału tworzącego pokrywę denną. Konieczne jest zatem wykonanie oceny szeregu parametrów przepływu aby określić stan równowagi hydrodynamicznej (Bartnik i Florek 2000). Równowaga hydrodynamiczna koryta cieku to stan, gdy ciek odprowadza w dół swego biegu taką samą ilość rumowiska wleczonego, jaka jest dostarczana do danego przekroju doliny.

Celem artykułu jest analiza warunków równowagi hydrodynamicznej oraz opis dominujących procesów morfologicznych zachodzących w korycie cieku. Rzeką Kamienica Nawojowska jest rzeką roztokową (w górnym biegu), w części dolnej swojego biegu uregulowaną. Kamienica Nawojowska wyznacza granicę pomiędzy Beskidem Niskim, położonym na północny wschód od niej, a Beskidem Sądeckim, znajdującym się po południowo-zachodniej stronie rzeki. Swoje ujście ma w Dunajcu, którego jest prawobrzeżnym dopływem. Jest rzeką typowo górską,

dla której charakterystyczne jest występowanie nagłych wezbrań po intensywnych opadach deszczu powodujących zagrożenie powodziowe.

Słowa kluczowe: Kamienica Nawojowska, procesy morfologiczne, transport rumowiska

Summary

Rivers and mountain streams are dynamic fluvial systems, which are constantly changing through the space. Especially rivers and streams, located in Southern Poland, are characterized by a tendency to deepen its bed, as well as to change its position in the plan. This is due to the landform and frequent occurrence of floods, which cause the movement of the material forming the bed cover. The evaluation of a series of flow parameters should be done to determine the hydromorphological balance (Bartnik and Florek 200). The hydromorphological balance of riverbed is a condition when the same amount of bed load is drained down by watercourse that was delivered to the cross – section of the valley.

The aim of the paper is the analysis of the hydromorphological equilibrium conditions and description of the dominant morphological processes occurring in the bed of the river. The Kamienica Nawojowska River is a braided river (in the upper part), in the lower part it is regulated. This river marks the boundary between the Beskid Niski, located to the north-east of it, and the Beskid Sądecki, located to the south-west side of the river. The Kamienica Nawojowska River enters the Dunajec River as a right tributary. It is a typical mountain river, characterized by sudden spates after heavy rain causing flood risk.

Key words: *Kamienica Nawojowska River, morphological processes, sediment transport*

WSTĘP

Rzeki i potoki górskie to dynamiczne układy fluwialne, których koryta ulegają ciągłym zmianom w przestrzeni. Szczególnie ciekę znajdujące się w południowej Polsce charakteryzują się tendencją zarówno do pogłębiania swojego koryta, jak i do zmian położenia w planie. W swoich badaniach Starkel (1991) stwierdził, że największe nasilenie procesów erozyjnych w korytach cieków występuje właśnie w Polsce południowej. Przyczyn takiego nasilenia tego procesu na tym obszarze można dopatrywać się w ukształtowaniu terenu, jak również w wyniku występowania częstych wezbrań. Koryta cieków ulegają ciągłym przekształceniom w celu osiągnięcia równowagi hydrodynamicznej, czyli stanu,

gdy ciek odprowadza w dół swego biegu taką samą ilość rumowiska wleczonego, jaka jest dostarczana do danego przekroju doliny. Równowaga ta zostaje osiągnięta, gdy rzeka dostosuje geometrię pionową oraz poziomą swojego koryta do sił i oporów przepływu w nim występujących (Łapuszek 2013). Występujące zmiany w geometrii koryta, w pewnych sytuacjach przestają być wynikiem procesów zapewniających osiągnięcie równowagi hydrodynamicznej, ale mogą świadczyć o pewnych zaburzeniach w postaci nadmiernej erozji, bądź akumulacji rumowiska (Łapuszek 2011).

Zmiany morfodynamiczne i ich przebieg oceniane są poprzez określenie oporów przepływu, wartości parametrów granicznych w warunkach zerwania obrukowania dna cieku, charakterystyki pokrywy dna, kształtu ziaren i charakteru zjawisk związanych z przejściem wód wezbraniowych. Analiza tych parametrów powinna być wykonana w ujęciu zbiorczym i z porównaniem tych parametrów, tak by można było określić wpływ poszczególnych czynników, w celu określenia warunków dla koryta stabilnego (Bartnik i Florek 2000, Bartnik 2006).

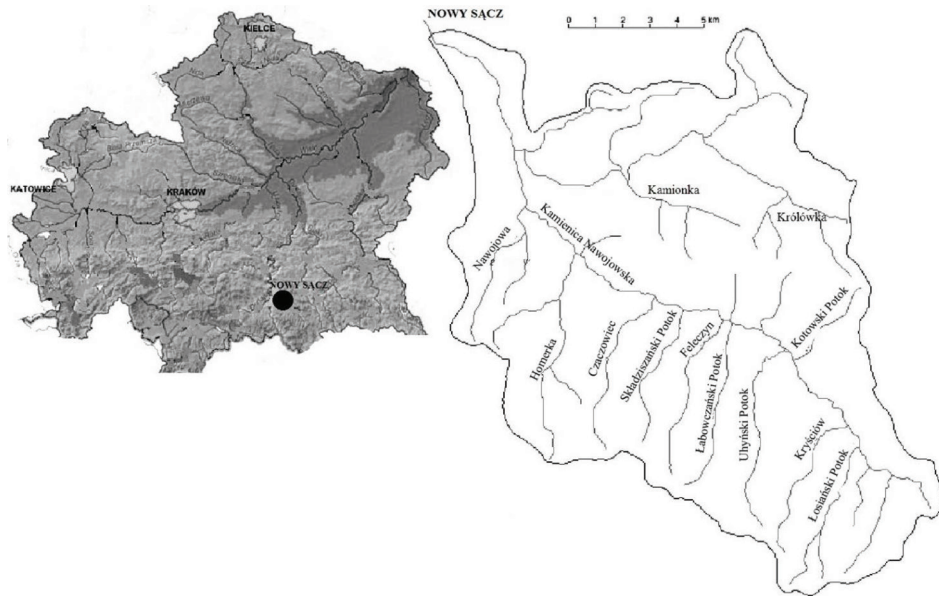
CEL PRACY

W artykule przedstawiono analizę warunków równowagi hydrodynamicznej oraz opis dominujących procesów morfologicznych w korycie rzeki Kamienica Nawojowska. Dzięki wykonanym pomiarom określono charakter i intensywność występujących procesów morfologicznych na badanym odcinku. Aby zrealizować powyższy cel przeprowadzono pomiary geodezyjne – niwelację poprzeczną oraz podłużną odcinka rzeki Kamienica Nawojowska oraz pomiary granulometryczne – pobór prób oraz analiza granulometryczna metodą sitową.

MATERIAŁY I METODY

Obiektem badań jest rzeka Kamienica Nawojowska (Rys. 1), znajdująca się w południowej Polsce na terenie powiatu nowosądeckiego, w województwie małopolskim. Rzeka ta wyznacza granicę pomiędzy Beskidem Niskim, położonym na północny wschód od niej, a Beskidem Sądeckim, znajdującym się po południowo-zachodniej stronie rzeki. Kamienica Nawojowska jest prawostronnym dopływem Dunajca o długości ok. 33 km, powstałym z połączenia dwóch potoków górskich: Krzyżówki i Roztoki. Powierzchnia jej zlewni wynosi 237,85 km². Kamienica Nawojowska jest rzeką roztokową, w dolnej części swojego biegu uregulowaną, o charakterze typowo górskim, dla której charakterystyczne jest występowanie nagłych wezbrań po intensywnych opadach deszczu powodujących zagrożenie powodziowe. Z uwagi na bieg rzeki w pobliżu drogi krajowej, łączącej Nowy Sącz z Krynicią, rzeka Kamienica w części zosta-

ła poddana regulacji. Na górnych odcinkach rzeka zachowała swój naturalny, roztokowy charakter.



Rysunek 1. Lokalizacja rzeki Kamienicy Nawojowskiej na tle województwa małopolskiego

Figure 1. Location of Kamienica Nawojowska River in Małopolska voivodship

Badaniami objęto odcinek rzeki Kamienicy Nawojowskiej znajdujący się w miejscowości Nawojowa. Pomiary geodezyjne na badanym terenie wykonano dwukrotnie, za pomocą GPS RTK oraz tachimetru elektronicznego TOPCON. Pierwszy pomiar wykonano w roku 2013, a drugi w roku 2014 po przejściu fali powodziowej. Pomiary granulometryczne metodą sitową zostały wykonane dwukrotnie – przed i po przejściu fali wezbrania. W każdym roku pomiarowym (2013 oraz 2014) pobrano po dwie próby frakcji.

Obliczenia stabilności badanego odcinka obliczono za pomocą wskaźnika Łochtina:

$$n_{\text{Ł}} = \frac{d}{I}$$

gdzie:

d – średnica d_{50} rumowiska tworzącego pokrywą denną [m]

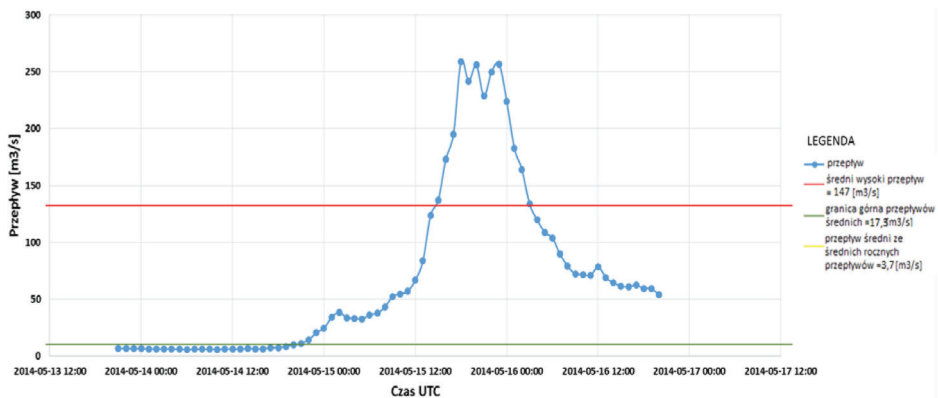
I – spadek dna koryta [-];

Wskaźnik ten klasyfikuje rzeki górskie pod kątem stabilności analizowanego przekroju (Tabela 1).

Tabela 1. Klasyfikacja stabilności koryt rzecznych
Table 1. Stability classification of River bed

| Stopień stabilności koryta Stability degree | η_L |
|---|----------|
| Koryto niestabilne River bed unstable | < 2 |
| Koryto o małej stabilności River bed little stable | 2 – 5 |
| Koryto dość stabilne River Bed in average stability | 5 – 10 |
| Koryto stabilne River Bed stable | 10 – 50 |
| Koryto absolutnie stabilne River Bed absolutely stable | > 50 |

W maju w 2014 roku na rzece Kamienica Nawojowska wystąpiło wezbranie. Kulminacja fali powodziowej wystąpiła 15 maja 2014 roku o godzinie 18.00 i miała wielkość $259 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Ryc. 2) (www.pogodynka.pl).



Rysunek 2. Hydrogram przepływu rzeki Kamienica Nawojowska (www.pogodynka.pl)

Figure 2. Flow hydrograph of Kamienica Nawojowska River (www.pogodynka.pl)

W celu określenia intensywności procesów morfologicznych zachodzących na badanym odcinku rzeki Kamienica Nawojowska dla wezbrania z maja 2014 roku obliczono transport całkowity rumowiska wleczonego za pomocą programu TRANS opracowanego w Katedrze Inżynierii Wodnej i Geotechniki.

WYNIKI BADAŃ

W celu określenia wielkości wezbrania z maja 2014 roku obliczono przepływy charakterystyczne dla odcinka rzeki Kamienica Nawojowska w przekroju Nawojowa (Tabela 2).

Tabela 2. Przepływy charakterystyczne wyznaczone metodą Punzeta dla rzeki Kamienica Nawojowska, przekrój Nawojowa
Table 2. Characteristic discharges calculate by Punzet formula, Kamienica Nawojowska river, Nawojowacross-section

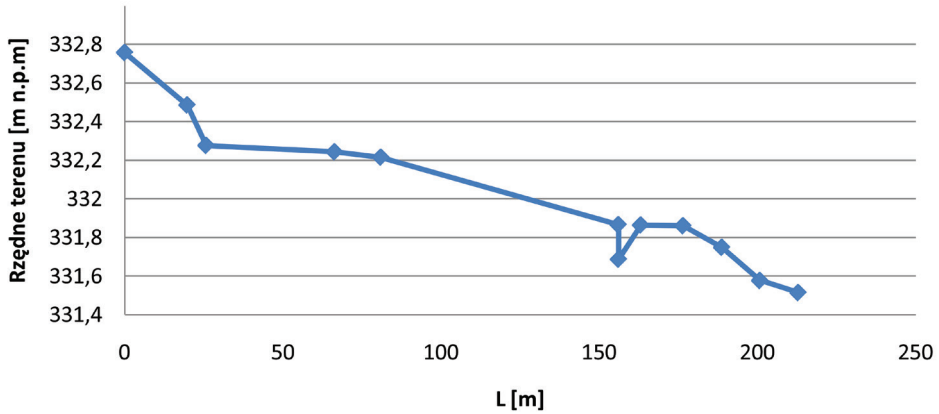
| P [%] | Q[m ³ ·s ⁻¹] |
|-------|-------------------------------------|
| 0,01 | 656,35 |
| 0,1 | 506,79 |
| 0,2 | 459,97 |
| 0,5 | 396,42 |
| 1 | 347,26 |
| 2 | 296,87 |
| 3 | 266,53 |
| 4 | 244,85 |
| 5 | 227,99 |
| 10 | 174,33 |
| 20 | 119,9 |
| 25 | 102,59 |
| 30 | 89,00 |
| 40 | 69,62 |
| 50 | 60,17 |

Przepływ, który wystąpił w trakcie wezbrania w maju 2014 roku był bliski $Q_{3\%} = 266,53 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

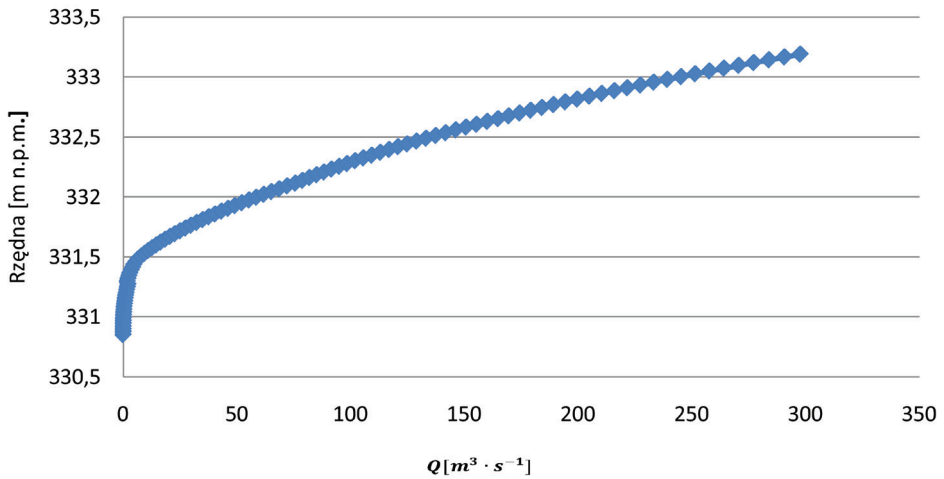
Na podstawie pomiarów geodezyjnych wykonanych w 2013 roku wyznaczono profil dna na badanym odcinku rzeki Kamienica Nawojowska (Rys. 3).

Obliczony średni spadek dna koryta rzeki wynosi 5,84 ‰.

Dla przekroju pomiarowego z 2013 roku przeprowadzono obliczenia hydrauliczne w celu wyznaczenia krzywej konsumcyjnej i określenia napełnienia w korycie ciek podczas przejścia fali wezbrania (Rys. 4).



Rysunek 3. Profil dna, Kamienica Nawojowska, odcinek badawczy Nawojowa
Figure 3. Longitudinal profile, Kamienica Nawojowska River, Nawojowa cross section



Rysunek 4. Krzywa konsumcyjna, Rzeka Kamienica Nawojowska, odcinek badawczy Nawojowa
Figure 4. Consumption curve, Kamienica Nawojowska River, Nawojowa cross-section

Napełnienie w korycie podczas przejścia kulminacji fali powodziowej w maju 2014 wynosiło 2,13 m.

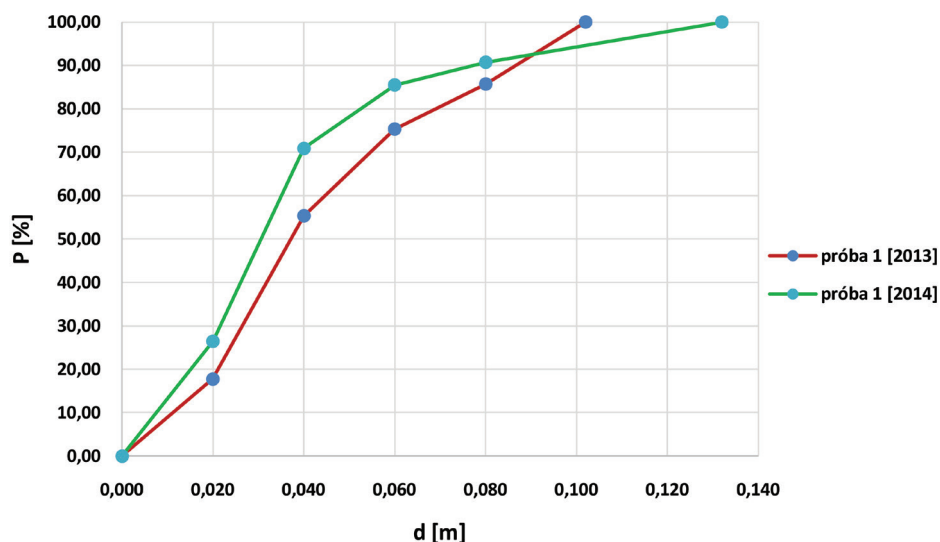
Na podstawie przeprowadzonych obliczeń hydraulicznych oraz na podstawie pomiarów granulometrycznych oraz geodezyjnych przeprowadzono ob-

liczenia programem TRANS ilości rumowiska przetransportowanego w czasie przejścia fali wezbrania z maja 2014. Wyniki obliczeń zestawiono w Tabeli 3.

Tabela 3. Transport rumowiska w czasie przejścia fali powodziowej, rzeka Kamienica Nawojowska, przekrój Nawojowa

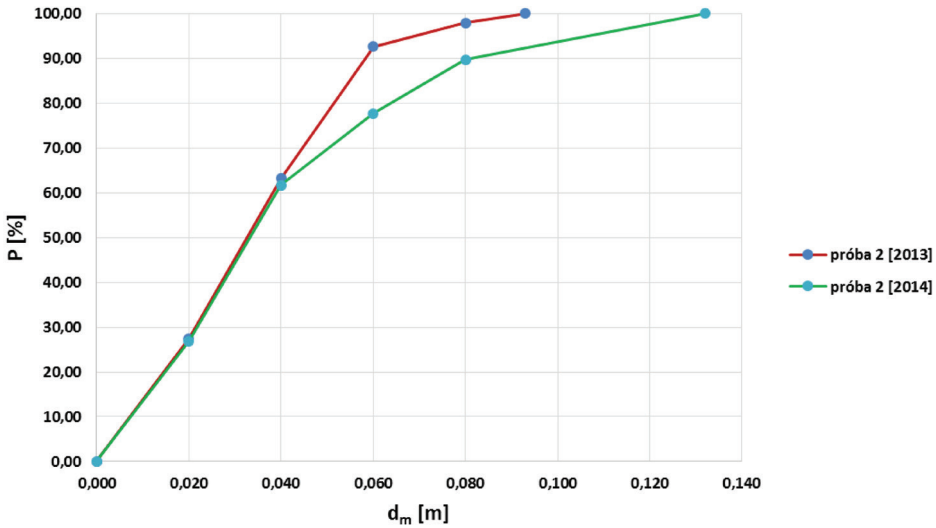
Table 3. Bed load transport during flood, Kamienica Nawojowska river, Nawojowa cross-section

| Średnica frakcji Diameter [m] | Ilość przetransportowanego rumowiska Bedload transport [kN] |
|--|---|
| 0,102 | 223,73 |
| 0,08 | 181,32 |
| 0,06 | 387,52 |
| 0,04 | 812,40 |
| 0,02 | 374,82 |
| RAZEM TRANSPORT TOTAL TRANSPORT | 1979,79 |



Rysunek 5. Zestawienie krzywych przesiewu pobranych na łasze śródkorytowej w 2013 i 2014 roku – próba pierwsza

Figure 5. Sieve curves, sandbank in river channel in 2013 and 2014, first pattern



Rysunek 6. Zestawienie krzywych przesiewu pobranych w nurcie w 2013 i 2014 roku – próba druga

Figure 6. Sieve curves, sandbank in main current in 2013 and 2014, second pattern

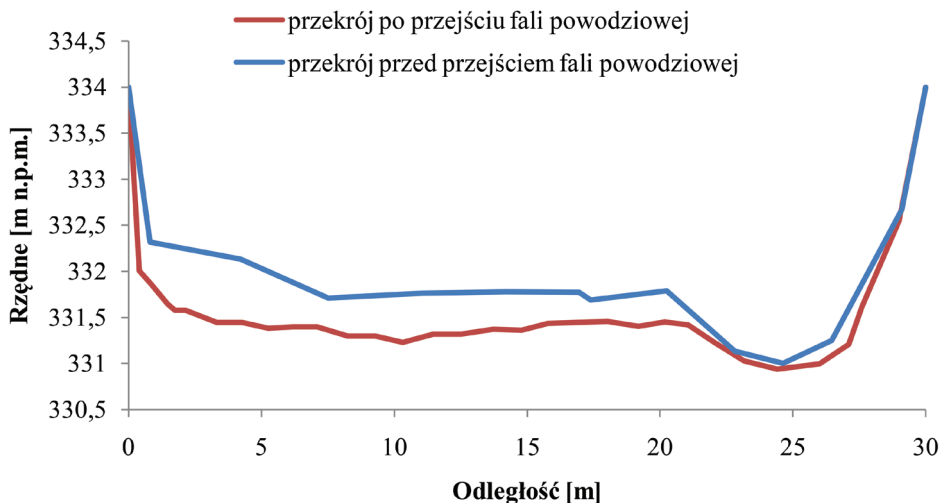
W celu określenia zmian w procentowej zawartości frakcji rumowiska tworzącego pokrywę denną analizowanego odcinka rzeki Kamienica Nawojowska wykonano krzywe przesiewu dla dwóch prób pobranych w roku 2013 oraz w roku 2014 (po przejściu fali powodziowej (Ryc. 5 oraz Ryc. 6).

Porównując krzywe przesiewu wykonane dla prób w każdym roku stwierdzono, że dominującą frakcją jest materiał mieszczący się w przedziale 0,04 m – 0,02 m. Przeprowadzone pomiary wskazują, że przed jak i po wezbraniu frakcja ta miała największą zawartość procentową. Po przejściu fali wezbrania zmiana uległa średnica maksymalna w pobranych próbach. Na łasze śródkorytowej średnica maksymalna wzrosła po przejściu wezbrania z 0,1 m do 0,13 m. Świadczyć to może o sedymentacji na łasze bardzo grubego materiału dennego. W nurcie po przejściu wezbrania średnica maksymalna uległa zmniejszenie z wartości 0,13 do 0,09 m.

Na rycinie 7 przedstawiono przekrój poprzeczny rzeki Kamienica Nawojowska w miejscowości Nawojowa wykonany w roku 2013 oraz w 2014 po przejściu fali powodziowej.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów geodezyjnych można stwierdzić, że na badanym odcinku na lewym brzegu koryta rzeki Kamienica Nawojowska w wyniku przejścia fali powodziowej z maja 2014 roku nastąpiła akumulacja materiału tworzącego pokrywę denną o średniej miąższości 0,5 m. Na

prawym brzegu, w miejscu nurtu głównego koryta dno nie uległo przegłębieniu oraz nie wystąpiła w tym rejonie akumulacja materiału dennego.



Rysunek 7. Przekrój poprzeczny na rzece Kamienica Nawojowska w roku 2013 oraz 2014, odcinek badawczy Nawojowa

Figure 7. Cross-section in Kamienica Nawojowska river in 2013 and 2014, Nawojowa

Dla średnicy d_{50} rumowiska wynoszącym 0,031 m (łacha śródkorytowa, 2013 rok) oraz spadku dna 0,0058 obliczono wskaźnik Łochtina $n_L = 5,34$. Wyniki obliczeń wskazują, że badany odcinek zakwalifikowany jest wg skali Łochtina jako dość stabilny. Należy jednak zaznaczyć, że wyniki obliczeń oscylują wokół wartości granicznej do odcinka o małej stabilności i dalsze zmiany w składzie granulometrycznym rumowiska tworzącego pokrywę denną mogą skutkować niestabilnością przekroju.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów geodezyjnych, granulometrycznych oraz prac studialnych obejmujących obliczenia stabilności dna koryta rzeki Kamienica Nawojowska w miejscowości Nawojowa można stwierdzić, że:

1. Badany odcinek rzeki Kamienica Nawojowska charakteryzuje się dużą intensywnością procesów fluwialnych. Istotną rolę w kształtowaniu się dna koryta odgrywają wezbrania, które uruchamiają transport rumowiska tworzącego pokrywę denną.
2. Po przejściu wezbrania z maja 2014 roku nastąpiły duże zmiany w geometrii przekroju poprzecznego w miejscowości Nawojowa. Przy

- lewym brzegu wystąpiła akumulacja materiału dennego o miąższości ok. 0,5 m.
3. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń stabilności (wskaźnik Łochtina) można stwierdzić, że badany odcinek rzeki Kamienica Nawojowska można zaliczyć do dość stabilnych. Dalsze zmiany w składzie granulometrycznym rumowiska tworzącego pokrywę denną mogą skutkować niestabilnością przekroju
 4. Ciężar przetransportowanego rumowiska w trakcie przejścia fali powodziennej z maja 2014 roku wynosił 1979,79 kN.
 5. Wezbrania z maja 2014 r. odpowiadało przepływowi $Q_{3\%}$.

LITRATURA

- Bartnik W., (2006). *Charakterystyka hydromorfologiczna rzek i potoków górskich*. Infrastr. i Ekol. Ter. Wiejs. Nr 4/1/2006, s. 143–174.
- Bartnik W., Florek J., (2000). *Ocena warunków równowagi hydrodynamicznej potoku górskiego na podstawie analizy hydraulicznych parametrów przepływu*, Zesz. Nauk. AR w Krakowie, 20, s. 163–176.
- Łapuszek M. (2011). *Zmiany erozyjne dna koryta Sanu z uwzględnieniem czynników antropogenicznych*. Gospodarka Wodna. Nr 1, s. 22–26.
- Łapuszek M. (2013). *Wpływ czynników antropogenicznych na równowagę koryt dopływów Górnej Wisły*. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 13, z. 1(41), s. 75–88.
- Starkel M. (1991). *Geografia Polski*, wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa
www.pogodynka.pl

dr inż. Mateusz Strutyński
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki
Al. Mickiewicza 24/28
30 – 059 Kraków
mstrutynski@ar.krakow.pl

Wpłynęło: 4.05.2015

Akceptowano do druku: 15.10.2015