

MATEUSZ HÄMMERLING, MICHAŁ WIERZBICKI, NATALIA WALCZAK, PAWEŁ ZAWADZKI,
ROBERT MAZUR

Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

BADANIA ZMIAN GEOMETRII WYBOJÓW LOKALNYCH PONIŻEJ PROGÓW STABILIZUJĄCYCH NA RZECIE WARCIE

INVESTIGATIONS OF LOCAL SCOUR GEOMETRY CHANGES
DOWNSTREAM THE STABILIZING SILLS ON THE WARTA RIVER

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki pomiarów terenowych przeprowadzonych na dolnym stanowisku progów nr 3 i nr 4 zlokalizowanych na rzece Warcie poniżej zbiornika Jeziorsko. Pomiarzy przeprowadzano z częstotliwością raz w roku (w latach 2006-2010) od momentu wybudowania progów w 2005 roku. Na podstawie analiz uzyskanych wyników można oszacować dynamikę procesu rozmycia poniżej progów stabilizujących oraz przedstawić zmiany geometrii wybojów lokalnych. Stwierdzono, że systematyczne badania terenowe rozmyć lokalnych pozwalają określić niebezpieczeństwo wystąpienia katastrofy, utraty stateczności progów w wyniku jego podmycia. Warunki przepływu wody w korycie doprowadziły do powstania erozji podłużnej poniżej zapory, która została ograniczona przez budowę progów stabilizujących. Zagrożenie w dalszej eksploatacji progów może stanowić erozja brzegowa, która uwidoczniła się na brzegu prawym tuż poniżej progów nr 3. W latach 2006-2010 poniżej progów nr 4 występował proces erozji lokalnej z systematycznym zwiększaniem się maksymalnej głębokości wyboju. Przeprowadzone badania terenowe wykazały powstanie erozji brzegu prawego, która może w dalszych latach zagrażać bezpieczeństwu progów nr 4 (km 479 +225).

Słowa kluczowe: rozmycie lokalne, badania terenowe, progi stabilizujące

Wstęp

Przegrodzenie rzeki budowlą piętrzącą powoduje przerwanie ciągłości ruchu rumowiska, co prowadzi do akumulacji rumowiska w zbiorniku retencyjnym, a także do erozji lokalnej i podłużnej poniżej zapory piętrzącej wodę. Kolejnym następstwem umiejscowienia zbiornika retencyjnego w korycie rzeczonym jest, powodująca przerwa-

nie ciągłości rumowiska i zachwianie równowagi dynamicznej w korycie rzeki, akumulacja rumowiska. Skutkuje to intensywnym procesem erozji podłużnej i erozji lokalnej brzegów w korytach rzek, obserwowanym poniżej zapory czołowej zbiornika wodnego (WIERZBICKI i IN. 2008).

Szczególnie niebezpieczny jest proces erozji lokalnej, który może prowadzić do podmycia fundamentów budowli, a tym samym stworzyć niebezpieczeństwo utraty jej stateczności. Proces erozji podłużnej ma również istotnie znaczenie ze względu na systematyczne obniżanie się poziomu zwierciadła wody i dna poniżej budowli piętrzącej. W celu ograniczenia erozji podłużnej budowane są progi stabilizujące, które podwyższają poziom zwierciadła wody i stabilizują proces erozji podłużnej (HÄMMERLING 2011).

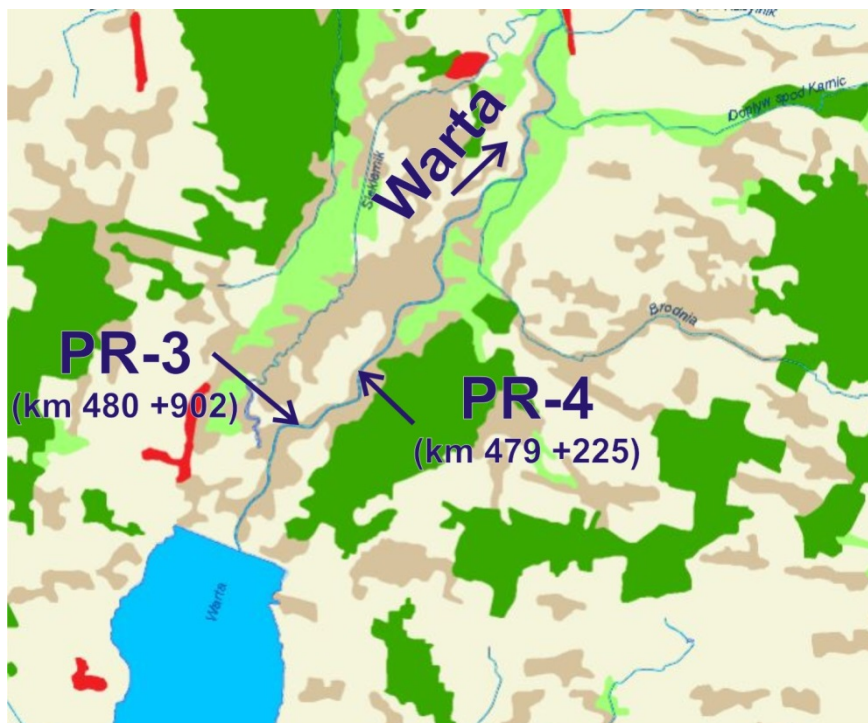
Celem pracy było rozpoznanie dynamiki zmian geometrii wyboju lokalnego powstałego poniżej progów stabilizujących nr 3 (km 480 +902) i nr 4 (km 479 +225) na rzece Warcie poniżej zbiornika Jeziorsko oraz sprawdzenie poprawności ich działania, a także określenie bezpieczeństwa wybudowanej konstrukcji.

Material i metody

Badania przeprowadzono poniżej zbiornika Jeziorsko, który jest położony na pograniczu województw wielkopolskiego i łódzkiego, w środkowym biegu rzeki Warty. Zapora czołowa znajduje się w km 484 +300 we wsi Skęczniew (gm. Dobra). Zalew sięga do mostu drogowego w miejscowości Warta, znajdującego się w km 504 +000. W pracy przedstawiono wyniki pomiarów terenowych przeprowadzonych w latach 2006-2010 poniżej progów nr 3 i nr 4 na rzece Warcie.

Progi nr 3 i nr 4 (rys. 1) wybrano do szczegółowych badań ze względu na możliwość prześledzenia procesu erozji od początku jej zaistnienia. Pomiarzy miały na celu rozpoznanie dynamiki powiększania się wyboju lokalnego powstałego poniżej progów nr 3 oraz określenie bezpieczeństwa wybudowanej konstrukcji. Oś progów nr 3 znajduje się na km 480 +902, a oś progów nr 4 – na km 479 +225. Pierwsze roboty przy budowie zbiornika wykonano w 1975 roku. Rzekę przegradzono w 1983 roku. Zbiornik został wstępnie napełniony i oddany do eksploatacji w 1986 roku, natomiast pełny zakres piętrzenia i gospodarki wodnej miał miejsce w 1992 roku. Całkowite zakończenie inwestycji nastąpiło w 1995 roku po wybudowaniu elektrowni wodnej. Prowadzone są wieloaspektowe badania opisujące zjawiska towarzyszące eksploatacji zbiornika Jeziorsko (DYSARZ i WICHER-DYSARZ 2011, HÄMMERLING i IN. 2013, WALCZAK i IN. 2013).

Długość progów w osi koryta rzeki wynosi 35 m. Wykonano je z materacy faszynowo-kamiennych o grubości 0,60 m i 0,30 m, które ułożono na geosiatce i włókninie filtracyjnej. Do określenia głębokości dna i wykreślenia przekrojów poprzecznych wykorzystano sondę drążkową. Pomiar wykonywano co 1 metr w odległościach 3-4 m od brzegów, a w środkowej części koryta – co 2 m. Rzędna zwierciadła wody była mierzona na obu brzegach przekroju urządzeniem GPS RTK firmy TopCon Legacy H z radiodbiornikiem Satel. Wyniki pomiarów głębokości uzyskane w czasie sondowania stanowiły podstawę do wyznaczenia rzędnej zwierciadła wody z wykorzystaniem urządzenia GPS.

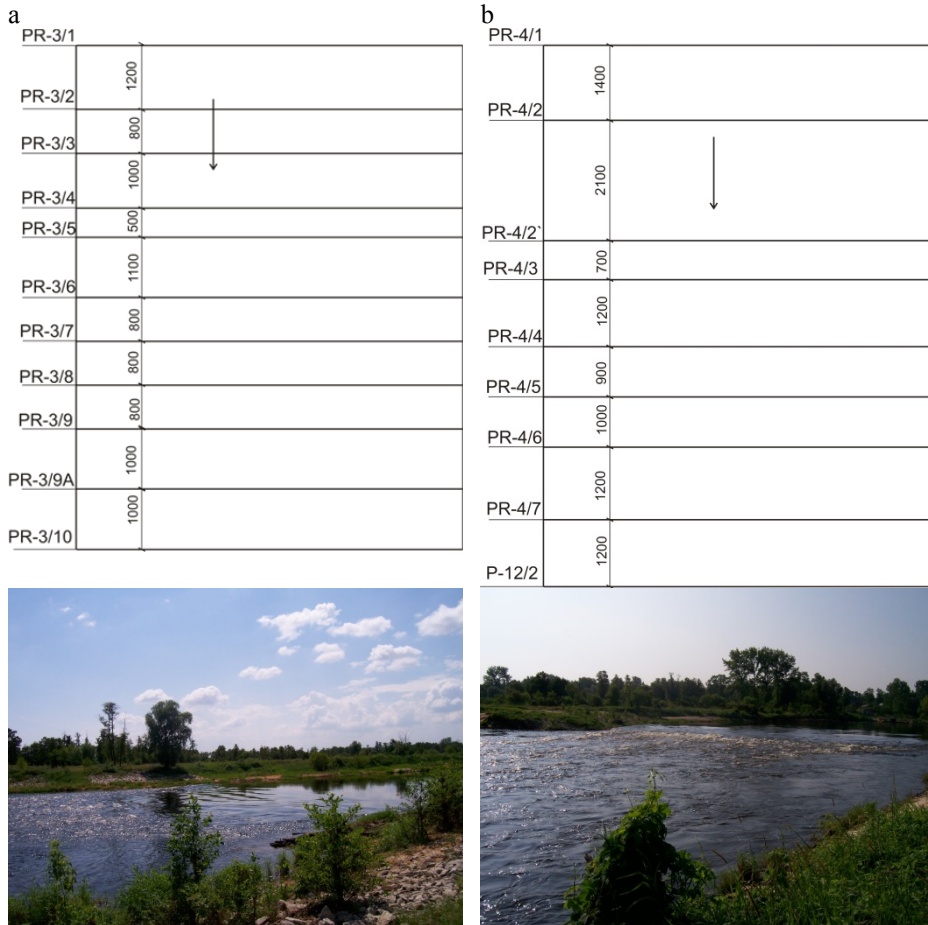


Rys. 1. Rozmieszczenie progów stabilizujących poniżej zbiornika Jeziorsko
 Fig. 1. Location of the stabilizing sills downstream the Jeziorsko reservoir

Badania zostały wykonane w 11 przekrojach opisujących geometrię progów nr 3, a także wybój powstały poniżej, oraz w sześciu przekrojach opisujących geometrię progów nr 4, a także wybój powstały poniżej. Pomiary wykonywano z pontonu wyposażonego w silnik spalinowy, który ułatwiał poruszanie się w nurcie rzeki. W mierzonym przekroju poprzecznym rozciągana była prostopadle do osi koryta stalowa linka z podziałką co 1 m.

Analizie poddano pomiary terenowe wykonane w latach 2007-2010 przez HÄMMERLINGA (2011) oraz dane z pomiarów wykonanych w 2006 roku przez zespół pracowników Katedry Budownictwa Wodnego Akademii Rolniczej w Poznaniu. Pomiary terenowe poniżej progów nr 3 przeprowadzono w następujących przekrojach poprzecznych (rys. 2 a): PR-3/1, PR-3/2, PR-3/3, PR-3/4, PR-3/5, PR-3/6, PR-3/7, PR-3/8, PR-3/9, PR-3/9A, PR-3/10. Próg nr 4 i wybój powstały poniżej niego zostały opisane następującymi przekrojami (rys. 2 b): PR-4/1, PR-4/2, PR-4/2', PR-4/3, PR-4/4, PR-4/5, PR-4/6, PR-4/7, P-12/2.

Do szczegółowej analizy wybrano przekroje, w których występowała największa dynamika zmian dna dla progów nr 3: PR-3/7 i PR-3/8.



Rys. 2. Schemat rozmieszczenia przekrojów poprzecznych oraz zdjęcia progów: a – nr 3 (km 480 +902), b – nr 4 (km 479 +225)

Fig. 2. Schematic view of the cross-sections and photographs of weirs: a – No. 3 (km 480 +902), b – No. 4 (km 479 +225)

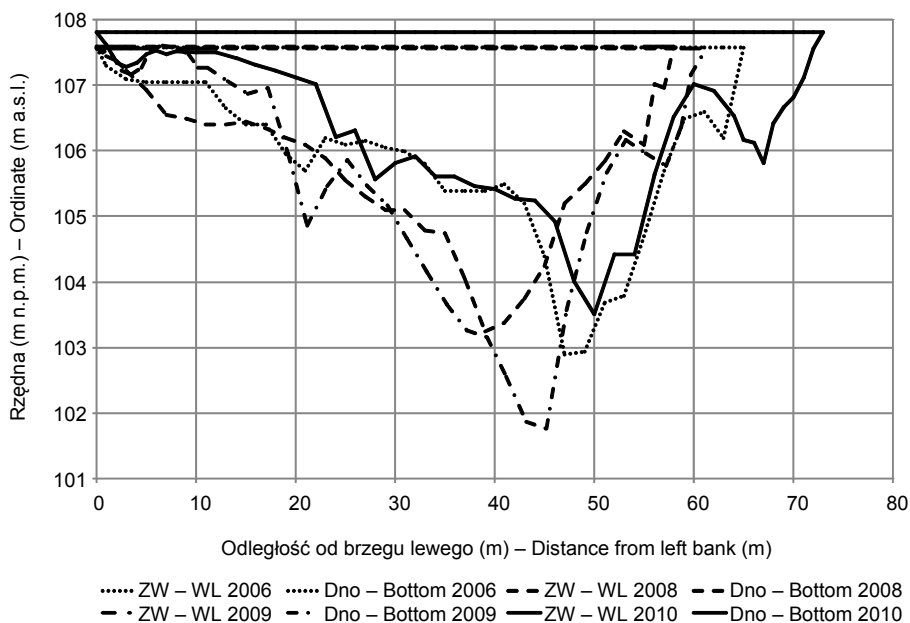
Wyniki i dyskusja

Wielkości przepływów w obszarze badań są uzależnione od odpływu wody ze zbiornika Jeziorsko (DYSARZ i WICHER-DYSARZ 2013). W pracy przyjęto, że natężenie przepływu wody przez próg jest równe odpływowi ze zbiornika. Założenie takie jest zasadne, ponieważ na odcinku od zbiornika do progu nr 4 nie ma żadnych znaczących dopływów.

Największy przepływ w okresie badawczym wystąpił w maju 2010 roku. Maksymalny średniodobowy dopływ do zbiornika Jeziorsko wyniósł 482 m³/s, a maksymalny

odpływ: 360 m³/s (odpływ taki trwał 6 dni). Wówczas woda wystąpiła z koryta na przyległe łąki.

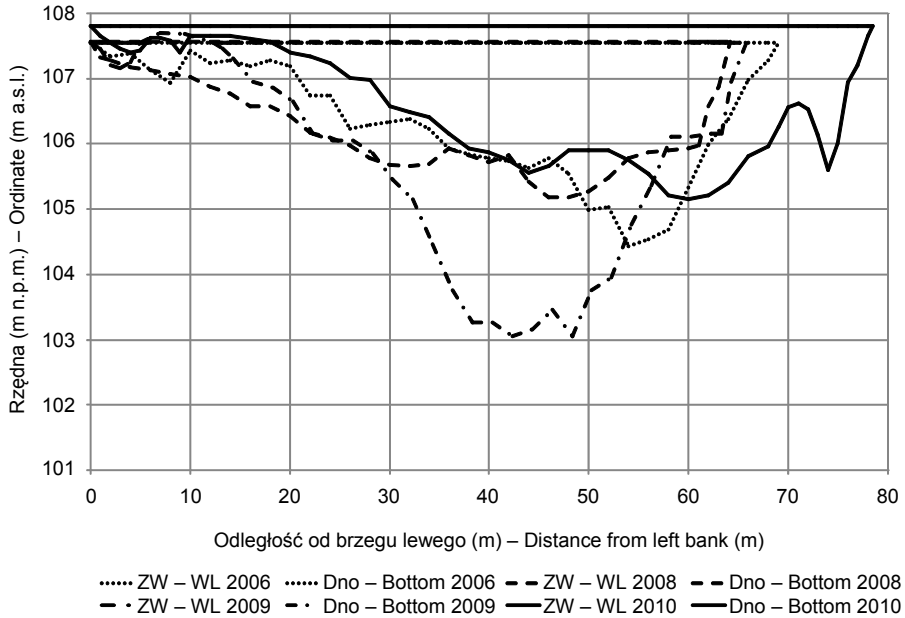
Jak wynika z analizy wyników badań wykonanych w ciągu pięciu lat (2006-2010), najpierw wystąpiło podniesienie się dna – w latach 2006-2008, a następnie obniżenie się – w latach 2009-2010. Najmniejsza wartość rzędnej dna w przekroju PR-3/7 zmieniała się od 103,24 m n.p.m. w 2008 roku do 101,86 m n.p.m. w 2009 roku. W 2007 roku najniższy poziom dna podniósł się w stosunku do 2006 roku o 0,19 m – do 103,08 m n.p.m. W 2008 roku najniższy poziom dna podniósł się o 0,16 m w porównaniu z 2007 rokiem. Z kolei w 2010 roku najniższy poziom dna zmniejszył się o 1,75 m do rzędnej 103,51 m n.p.m. w porównaniu z 2009 rokiem. Największe wartości rzędnych dna zaobserwowano przy brzegu lewym, a zmniejszały się one w stronę brzegu prawego. Na przestrzeni lat można zauważyć, że także przy brzegu lewym następowało podnoszenie się poziomu dna i tworzenie się odсыpiska (rys. 3).



Rys. 3. Zmiany dna w przekroju PR-3/7 (km 480+858)

Fig. 3. River bed changes in the PR-3/7 cross-section (km 480+858)

Pomiary przekroju PR-3/8 (rys. 4) wykonano w latach: 2006, 2007, 2009, 2010. Najmniejsza wartość rzędnej dna zmieniała się od 105,54 m n.p.m. w 2007 roku do 103,06 m n.p.m. w 2009 roku. W 2007 roku najniższy poziom dna podniósł się o 0,98 m w stosunku do 2006 roku. W 2008 roku najniższy poziom dna obniżył się o 0,36 m w stosunku do 2007 roku. W 2009 roku najniższy poziom dna obniżył się o 2,12 m do rzędnej 103,06 m n.p.m. – w porównaniu z 2008 rokiem. W kolejnym roku (2010), pomimo dużego wezbrania, które powinno spowodować silną erozję, zaobserwowano podniesienie się poziomu dna (nagromadzenie materiału) o 2,10 m. Podobną (jak w przypadku



Rys. 4. Zmiany dna w przekroju PR-3/8 (km 480 +850)

Fig. 4. River bed changes in the PR-3/8 cross-section (km 480 +850)

poprzedniego przekroju PR-3/7) zależność można zauważyć przy brzegu lewym, gdzie nastąpiło podniesienie się poziomu dna i utworzenie odsypiska.

Na podstawie przekrojów poprzecznych wykreślono profil podłużny, wyznaczając w każdym przekroju poprzecznym średni poziom dna (tab. 1).

Tabela 1. Rzędne zwierciadła wody i uśrednionego dna w przekrojach poprzecznych poniżej progę nr 3 (km 480 +902) (m n.p.m.) (HÄMMERLING 2011)

Table 1. Water level and average river bed level ordinates in cross-sections downstream sill No. 3 (km 480 +902) (m a.s.l.) (HÄMMERLING 2011)

Numer przekroju Number of cross-section	km	12.06.2006 Q = 33 m ³ /s	18.06.2007 Q = 33 m ³ /s	7.07.2008 Q = 33 m ³ /s	23.06.2009 Q = 33 m ³ /s	5.07.2010 Q = 54 m ³ /s
1	2	3	4	5	6	7
PR-3/1	480 +912	107,70	107,72	107,72	107,72	107,97
		106,61	106,97	106,97	106,95	106,27
PR-3/2	480 +900	107,69	107,69	107,71	107,71	107,91
		107,16	107,14	107,08	107,14	107,12

Tabela 1 – cd. / Table 1 – cont.

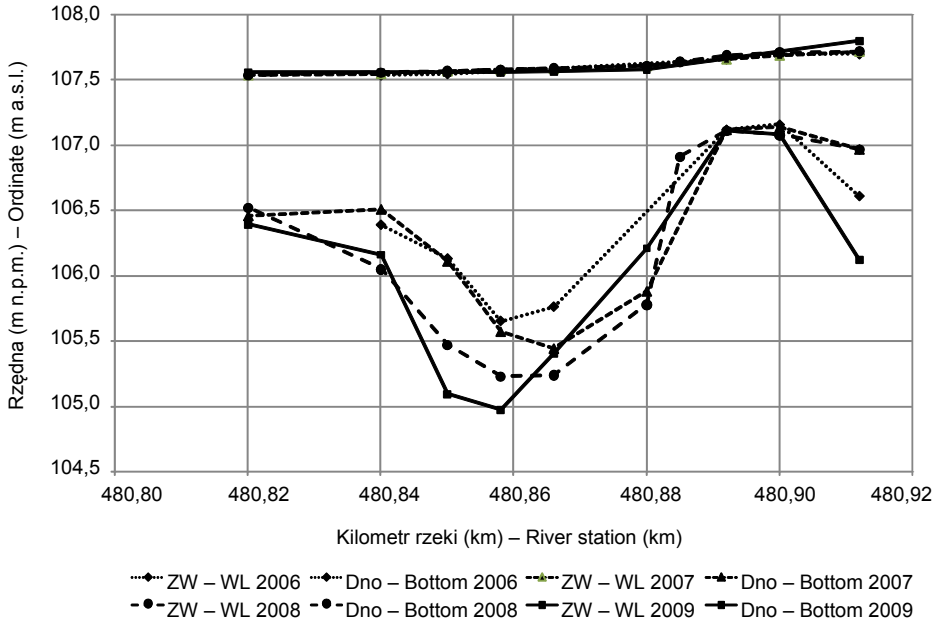
1	2	3	4	5	6	7
PR-3/3	480 +892	107,66	107,66	107,69	107,69	107,75
		107,12	107,12	107,11	107,14	107,14
PR-3/4	480 +882	–	–	107,64	107,64	107,62
				106,91	106,90	106,90
PR-3/5	480 +877	–	107,61	107,61	107,61	107,82
			105,88	105,78	106,12	106,37
PR-3/6	480 +866	107,59	107,59	107,59	107,59	107,82
		105,76	105,44	105,24	105,24	105,40
PR-3/7	480 +858	107,57	107,58	107,58	107,58	107,81
		105,65	105,57	105,23	104,84	106,21
PR-3/8	480 +850	107,55	107,57	107,57	107,57	107,81
			106,11	105,47	105,10	106,31
PR-3/9	480 +842	107,54	107,57	107,56	107,55	107,81
		106,39	106,51	106,05	106,07	106,53
PR-3/9A	480 +832	–	–	–	107,54	107,80
					106,46	106,71
PR-3/10	480 +822	–	107,54	107,54	107,53	107,80
			106,46	106,52	106,53	106,60

Pomiary terenowe przeprowadzone poniżej progę nr 3 wskazały na zmienność geometrii wyboju. Na brzegu lewym wytworzyło się odspisko. Porównując przekroje poprzeczne z lat 2006-2009, można zaobserwować mniejsze lub większe zmiany powodujące powiększanie się wyboju lokalnego. W latach 2009-2010 następowało zmniejszanie się jego rozmiarów. W trakcie badań terenowych zaobserwowano zwiększenie szerokości przekrojów poprzecznych poniżej progę nr 3 oraz erozję skarp na brzegu prawym koryta.

Po pierwszym roku eksploatacji uśredniona na szerokości dna rzędna korony progę nr 3 wynosiła 107,16 m n.p.m. i różniła się o 0,36 m w stosunku do projektowanej rzędnej (rys. 4). Uśredniona na szerokości dna rzędna korony progę była punktem odniesienia do wyznaczenia głębokości wyboju poniżej progę nr 3 w poszczególnych latach. Głębokość wyboju opisuje najniższy poziom dna w przekroju poprzecznym. Po pięcioletnim okresie eksploatacji wybój lokalny powstały poniżej progę nr 3 miał długość 27,0 m i szerokość 20,0 m. Przy przepływie $Q = 33 \text{ m}^3/\text{s}$ głębokości wyboju wynosiły od 1,37 do 3,52 m, różnica poziomów wody górnej i dolnej: 0,16 m.

Maksymalna głębokość wyboju obserwowana w 2010 roku przy przepływie $Q = 54 \text{ m}^3/\text{s}$ wynosiła 5,27 m. W okresie od czerwca 2009 roku do lipca 2010 roku maksymalna głębokość dna zmniejszyła się o 0,26 m, a wybój w układzie poziomym zmniejszył swoją długość o 8 m, natomiast jego szerokość pozostała bez zmian. Pomierzona w dniu

5 lipca 2010 roku przy przepływie $Q = 54 \text{ m}^3/\text{s}$ różnica poziomów wody górnej (na progu) i dolnej (poniżej prog) wyniosła 0,16 m (rys. 5).

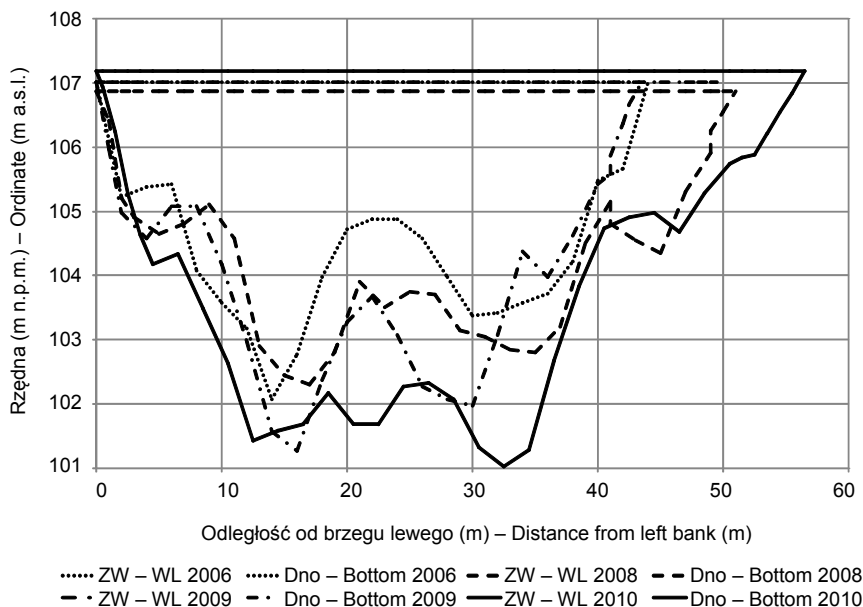


Rys. 5. Układ zwierciadła wody i uśrednionego dna poniżej prog nr 3 (km 480 +902) (HÄMMERLING 2011)

Fig. 5. Water level and average river bed level arrangement downstream sill No. 3 (km 480 +902) (HÄMMERLING 2011)

Największą dynamikę zmian dna poniżej prog nr 4 odzwierciedlają przekroje PR-4/3 i PR-4/4. Pomiar przekroju PR-4/3 (rys. 6) wykonano podczas badań terenowych w latach 2006-2010. Najmniejsza wartość rzędnej dna zmieniała się od 102,26 m n.p.m. w 2007 roku do 101,03 m n.p.m. w 2010 roku. W 2007 roku najniższy poziom dna podniósł się o 0,19 m – do rzędnej 102,26 m n.p.m. – w porównaniu z 2006 rokiem. W 2008 roku najniższy poziom dna podniósł się o 0,04 m – do rzędnej 102,30 m n.p.m. – w porównaniu z 2007 rokiem. W 2009 roku najniższy poziom dna obniżył się o 1,03 m w stosunku do 2008 roku. W 2010 roku najniższy poziom dna obniżył się o 0,24 m – do rzędnej 101,03 m n.p.m. – w porównaniu z 2009 rokiem. Najniższe poziomy dna można zaobserwować w odległości około 15 m od brzegu lewego i prawego. W osi koryta w latach 2006-2009 obserwowano większe wartości rzędnych dna, natomiast w latach 2009-2010 nastąpiło obniżenie rzędnych dna w osi koryta.

Pomiar przekroju PR-4/4 wykonano w latach 2006-2010. Najmniejsza wartość rzędnej dna zmieniała się od 104,30 m n.p.m. w 2007 roku do 102,27 m n.p.m. w 2006 roku. W 2007 roku najniższy poziom dna podniósł się o 2,03 m – do rzędnej 104,30 m n.p.m. – w porównaniu z 2006 rokiem. W 2008 roku najniższy poziom dna obniżył się o 1,70 m w stosunku do 2007 roku. W 2009 roku najniższy poziom dna podniósł się



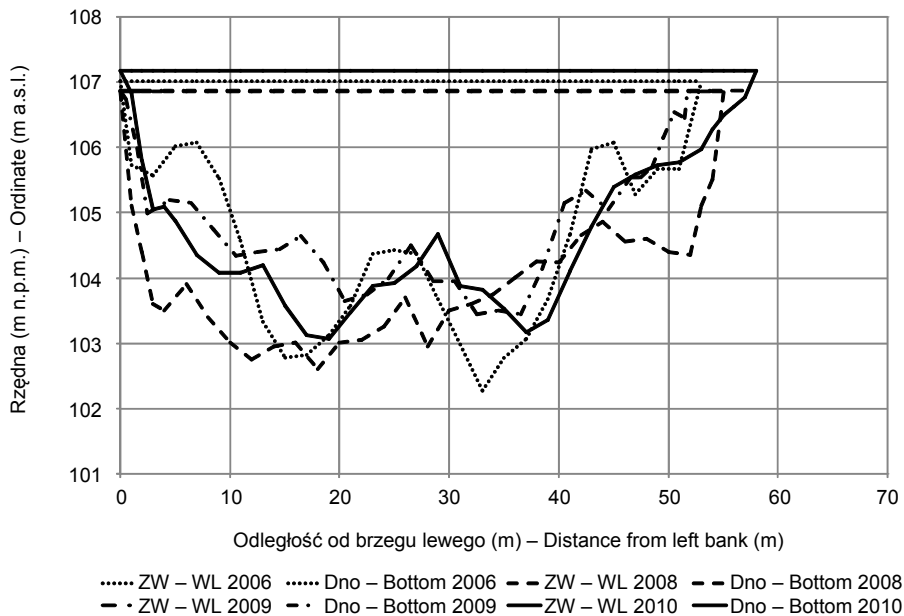
Rys. 6. Zmiany dna w przekroju PR-4/3 (km 479+193)
 Fig. 6. River bed changes in the PR-4/3 cross-section (km 479+193)

o 0,84 m – do rzędnej 103,44 m n.p.m. – w porównaniu z 2008 rokiem. W 2010 roku najniższy poziom dna obniżył się o 0,37 m w stosunku do 2009 roku. Przy lewym brzegu zwiększyło się znacznie nachylenie skarpy (rys. 7).

Przekroje opisujące wybój, który wytworzył się poniżej progę nr 4, pokazują zmiany dna na przestrzeni lat. W przekrojach PR-4/2' i PR-4/3 najniższe poziomy dna zaobserwowano w odległości około 15 m od brzegu lewego i prawego. W osi koryta w latach 2006-2009 obserwowano najniższe poziomy dna, natomiast w latach 2009-2010 nastąpiło zwiększenie wartości rzędnych dna w osi koryta, czyli dno spłaszczyło się. Poniżej końca umocnienia skarpy na brzegu prawym powstało rozmycie. Również na prawym brzegu nastąpiło wypłylenie dna w przekrojach od PR-4/6 do P-12/2.

Na podstawie przekrojów poprzecznych wykreślono profil podłużny, wyznaczając w każdym przekroju poprzecznym średni poziom dna (tab. 2).

Po rocznym okresie eksploatacji uśredniona na szerokości dna rzędna korony progę nr 4 wyniosła 106,70 m n.p.m. i jej wartość była większa od rzędnej projektowanej o 0,20 m. Próg ten stabilizował poziom zwierciadła wody na stanowisku dolnym progę nr 3 (km 480+902) na rzędnej obserwowanej w 2004 roku przy przepływie $Q = 33 \text{ m}^3/\text{s}$. Uśredniona na szerokości dna rzędna korony progę (106,70 m n.p.m.) była punktem odniesienia do wyznaczenia głębokości wyboju poniżej progę nr 4 w poszczególnych latach. Głębokość wyboju opisuje najniższy poziom dna w przekroju poprzecznym. Poniżej opisywanego progę powstał wybój lokalny o długości 37,0 m i szerokości od 30,0 m do 38,0 m. Przy przepływie $Q = 33 \text{ m}^3/\text{s}$ głębokości wyboju wynosiła od 1,93 do 3,93 m, różnica poziomów wody górnej i dolnej: 0,45 m (WIERZBICKI i IN. 2011).



Rys. 7. Zmiany dna w przekroju PR-4/4 (km 479 +181)

Fig. 7. River bed changes in the PR-4/4 cross-section (km 479 +181)

Tabela 2. Rzędne zwierciadła wody i uśrednionego dna w przekrojach poprzecznych poniżej prog nr 4 (km 479 +225) (m n.p.m.) (HÄMMERLING 2011)

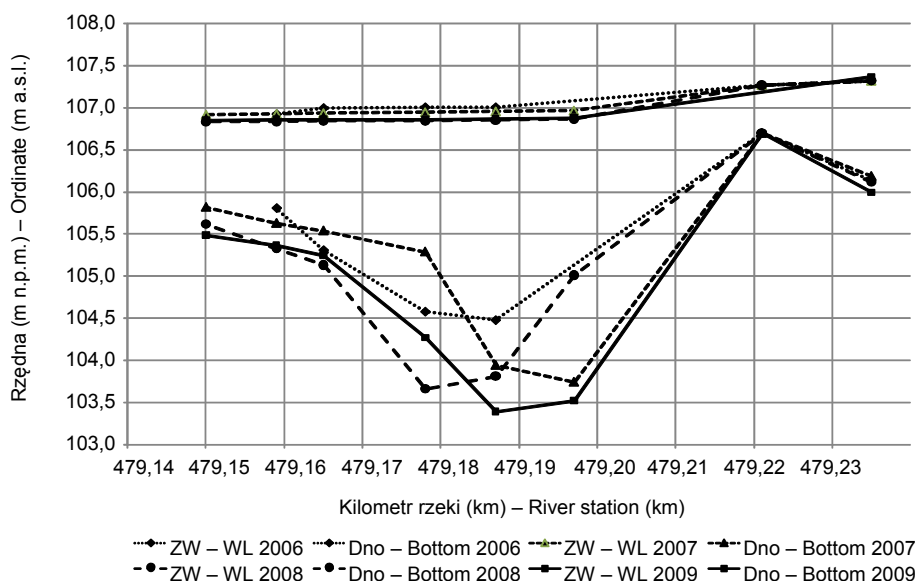
Table 2. Water level and average river bed level ordinates in cross-sections downstream sill No. 4 (km 479 +225) (m a.s.l.) (HAMMERLING 2011)

Numer przekroju Number of cross-section	km	12.06.2006 Q = 33 m ³ /s	18.06.2007 Q = 33 m ³ /s	7.07.2008 Q = 33 m ³ /s	24.06.2009 Q = 33 m ³ /s	6.07.2010 Q = 54 m ³ /s
1	2	3	4	5	6	7
PR-4/1	479 +235	107,32	107,32	107,32	107,37	107,52
		106,14	106,19	106,12	106,00	105,90
PR-4/2	479 +221	107,27	107,27	107,27	–	107,18
		106,70	106,70	106,70	–	106,61
PR-4/2'	479 +200	–	106,97	106,87	106,88	107,18
		–	103,74	105,01	103,52	102,18
PR-4/3	479 +193	107,01	106,96	106,86	106,87	107,18
		104,48	103,94	103,81	103,39	101,99
PR-4/4	479 +181	107,01	106,95	106,85	106,86	107,17
		104,58	105,29	103,66	104,27	103,67

Tabela 2 – cd. / Table 2 – cont.

1	2	3	4	5	6	7
PR-4/5	479 +172	107,00	106,94	106,85	106,86	107,17
		105,31	105,54	105,13	105,25	105,37
PR-4/6	479 +163	106,93	106,93	106,84	106,86	107,17
		105,81	105,63	105,33	105,37	105,52
PR-4/7	479 +150	–	106,92	106,84	106,85	107,16
		–	105,82	105,62	105,49	105,56
P-12/2	479 +138	106,92	106,92	106,83	106,84	107,16
		105,80	105,73	105,57	105,58	105,66

Po pięcioletnim okresie eksploatacji powstały poniżej progę nr 4 wybój lokalny osiągnął długość 34 m i szerokość od 30 m do 40 m. Głębokości wyboju obserwowane przy przepływie $Q = 54 \text{ m}^3/\text{s}$ wynosiły od 2,07 m do 5,58 m. W okresie od czerwca 2009 roku do lipca 2010 roku maksymalna głębokość wyboju zwiększyła się o 0,49 m, a wybój w układzie poziomym zwiększył swoją maksymalną szerokość o 2 m, natomiast jego długość pozostała bez zmian. Uśredniona na szerokości dna koryta rzeki rzędna korony progę nr 4 wynosiła 106,61 m n.p.m. i jej wartość była większa od rzędnej projektowanej (106,50 m) o 0,11 m. Pomierzona w dniu 6 lipca 2010 roku przy przepływie $Q = 54 \text{ m}^3/\text{s}$ różnica poziomów wody górnej i dolnej wyniosła 0,35 m (rys. 8).



Rys. 8. Układ zwierciadła wody i uśrednionego dna poniżej progę nr 4 (km 479 +225) (HÄMMERLING 2011)

Fig. 8. Water level and average river bed level arrangement downstream sill No. 4 (km 479 +225) (HÄMMERLING 2011)

Podsumowanie

Budowa zbiornika Jeziorsko na rzece Warcie zmieniła warunki przepływu wody w korycie. Warunki przepływu doprowadziły do powstania poniżej zapory erozji podłużnej, która została ograniczona przez budowę progów stabilizujących. Poniżej progów nr 3 wybudowanego w 2005 roku wystąpiła erozja lokalna. W latach 2006-2009 zauważono powiększanie się wyboju lokalnego poniżej progów nr 3. W latach 2009-2010 wyboj lokalny powstały poniżej progów nr 3 zmniejszył swoje rozmiary, było to najprawdopodobniej spowodowane wezbrzeniami, które występowały wiosną 2010 roku. Na przestrzeni lat 2006-2010 można zauważyć, że przy brzegu lewym poniżej progów nr 3 wytworzyło się odsypisko. Skierowanie głównej osi przepływu bardziej w stronę brzegu prawego powodowało systematyczną jego erozję. Na podstawie przeprowadzonych w latach 2006-2010 badań terenowych można stwierdzić, że wykonany w 2005 roku próg nr 3 (km 480 +902) jest w dobrym stanie technicznym. Zagrożeniem w dalszej eksploatacji progów może być erozja brzegowa, która uwidoczniła się na brzegu prawym tuż poniżej progów nr 3. Na przestrzeni lat 2006-2010 poniżej progów nr 4 występował proces erozji lokalnej z systematycznym zwiększaniem się maksymalnej głębokości wyboju. Przeprowadzone badania terenowe wykazały powstanie erozji brzegu prawego, która może w dalszych latach zagrażać bezpieczeństwu progów nr 4 (km 479 +225).

Literatura

- DYSARZ T., WICHER-DYSARZ J., 2011. Application of hydrodynamic simulation and frequency analysis for assessment of sediment deposition and vegetation impacts on floodplain inundation. *Pol. J. Environ. Stud.* 20, 6: 1441-1451.
- DYSARZ T., WICHER-DYSARZ J., 2013. Analysis of flow conditions in the Stare Miasto reservoir taking into account sediment settling properties. *Annu. Set The Environ. Prot.* 15: 584-605.
- HÄMMERLING M., 2011. Prognozowanie zmian erozyjnych dna koryta rzeki poniżej budowli piętrzących. *Maszynopis. Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej UP, Poznań.*
- HÄMMERLING M., BŁĄZEJEWSKI R., WALCZAK N., 2013. Modeling of local scour in non-cohesive soils below sills using SSIIM computer code. *Rocz. Ochr. Środ.* 15: 538-550.
- WALCZAK N., WALCZAK Z., HÄMMERLING M., PRZEDWOJSKI B., 2013. Analytical model for vertical velocity distribution and hydraulic roughness at the flow through river bed and valley with vegetation. *Rocz. Ochr. Środ.* 15: 405-419.
- WICHER-DYSARZ J., DYSARZ T., 2007. Wpływ rezerwatu przyrody na eksploatację zbiornika nizinnego Jeziorsko. *Infrastrukt. Ekol. Ter. Wiej.* 4: 179-186.
- WIERZBICKI M., HÄMMERLING M., PRZEDWOJSKI B., 2008. Przebieg procesu erozji poniżej zbiornika Jeziorsko na rzece Warcie. *Przeł. Nauk. Inż. Kształt. Środ.* 17, 40 (2): 136-145.
- WIERZBICKI M., HÄMMERLING M., PRZEDWOJSKI B., 2011. Wpływ budowy progów stabilizujących na kształtowanie się układu zwierciadła wody i dna poniżej zbiornika Jeziorsko. *Gosp. Wod.* 6: 239-243.

INVESTIGATIONS OF LOCAL SCOUR GEOMETRY CHANGES DOWNSTREAM THE STABILIZING SILLS ON THE WARTA RIVER

Summary. This article presents the results of the field measurements conducted below sills Nos. 3 and 4 localized on the Warta River. *In-situ* investigations were made systematically (2006-2010) from the construction moment. On the basis of the results of the analysis the dynamics of the erosion process below the stabilization sills can be estimated, as well as the present changes of local scour geometry. Systematic field investigations of the local scour allow to specify the type of disaster, endangerment, i.e. the stability loss of the sill resulting from scour effect. Conditions of water flow in the trough brought about the longitudinal erosion below the dam which was limited by the construction of the stabilizing weirs. The threat existing in the process of further exploitation of the weir may be created by the coastal erosion which is observed on the right bank just below weir No. 3. Local erosion process occurred alongside with a systematic increase in the local scour maximum depth below weir No. 4, in 2006-2010. The conducted field research showed erosion formation of the right bank. The situation may pose another danger to the safety of weir No. 4 (km 479 +225).

Key words: local scour, *in-situ* investigations, stabilizing sills

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Mateusz Hämmerling, Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94, 60-649 Poznań, Poland, e-mail: mhammer@up.poznan.pl

Zaakceptowano do opublikowania – Accepted for publication:

1.09.2014

Do cytowania – For citation:

Hämmerling M., Wierzbicki M., Walczak N., Zawadzki P., Mazur R., 2014. Badania zmian geometrii wybojów lokalnych poniżej progów stabilizujących na rzece Warcie. *Nauka Przyr. Technol.* 8, 4, #59.