

Aleksander Kalinowski^{1,2}, Katarzyna Glińska-Lewczuk¹,
Paweł Burandt¹, Żaneta Banaszek¹

WPŁYW ZJAWISK LODOWYCH NA EROZJĘ BRZEGÓW KORYTA RZECZNEGO NA PRZYKŁADZIE RZEKI ŁYNY

Streszczenie. W artykule podjęto próbę analizy wpływu zjawisk lodowych na erozję brzegów koryta rzeki pojeziernej na przykładzie rzeki Łyny (północno-wschodnia Polska). Do analizy wytypowano przekrój Smolajny, położony w jej środkowym biegu. Badania przeprowadzono w latach hydrologicznych 2005-2012. W badanym okresie obserwowano występowanie, rozwój i intensywność zjawisk lodowych, takich jak: lód brzegowy, pokrywa lodowa, spływ wody na lodzie na tle zmian cech morfologicznych koryta rzeczne. W wyniku obserwacji stwierdzono skokowe zwiększenie się szerokości koryta w badanym profilu poprzecznym (dwukrotnie po 0,5 m). Związane było to z długim czasem zalegania grubej pokrywy lodowej. W latach 2005-2012 zaobserwowano fluktuacje wielkości cech morfometrycznych, zarówno dodatnie jak i ujemne. Czynnikiem kształtującym brzegi koryta są ponadto gwałtowne roztopy pokrywy śnieżnej przy jednoczesnym utrzymywaniu się pokrywy lodowej. Wpływa to na zwiększone podmywanie brzegów koryta. Wykazano, że w badanym okresie nastąpiło zwiększenie szerokości koryta w badanym przekroju o jeden metr, zwiększenie powierzchni przekroju poprzecznego oraz głębokości maksymalnej i średniej.

Słowa kluczowe: erozja brzegowa, pokrywa lodowa, północno-wschodnia Polska, przepływ, morfologia koryta.

WSTĘP

Zmiany w układzie koryt rzecznych występują w przyrodzie stale pod wpływem procesów erozji i akumulacji. Badając erozję koryta rzeczne, główną uwagę poświęca się zjawisku transportu i depozycji rumowiska rzeczne [Takielak i in. 2007, Kiedrzyńska, Józwick 2006] oraz wpływu zmian poziomu zwierciadła wody na rzeźbę koryta [Bryndał i in. 2010, Rachlewicz 2006]. W polskiej literaturze sporadycznie podejmowano dyskusję na temat wpływu zjawisk lodowych na erozję brzegów koryta rzeczne [Banach 1998, Glińska-Lewczuk i in. 2005], w przeciwieństwie do problemu wpływu wezbrań spowodowanych zatorami lodowymi na kształt koryta rzeczne [Wierzbicki, Mazgajski 2011, Pawłowski 2009]. Badania te dotyczą zazwyczaj przyczyn, częstotliwości występowania i przebiegu zatorów lodowych, śryżowych oraz zatorów z kry lodowej. Jednym z aspektów zmienności konfiguracji brzegów rzeki jest wpływ działalności kry lodowej na obwałowania.

¹ Katedra Melioracji i Kształtowania Środowiska, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Plac Łódzki 2, 10-756 Olsztyn

² Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Stacja Hydrologiczno-Meteorologiczna w Olsztynie, ul. Sielska 34, 10-805 Olsztyn, email: Aleksander.Kalinowski@imgw.pl

W pracach takich autorów jak [Piątek i in. 2010, Borowiak, Barńczuk 2004] poddano ocenie intensywność oddziaływania zjawisk lodowych na zbiornikach wodnych.

Na podstawie badań przeprowadzonych przez Ettema i Daly (2004) na terenie Ameryki Północnej można wyróżnić trzy główne grupy czynników działających na brzeg koryta rzeki podczas występowania zjawisk lodowych:

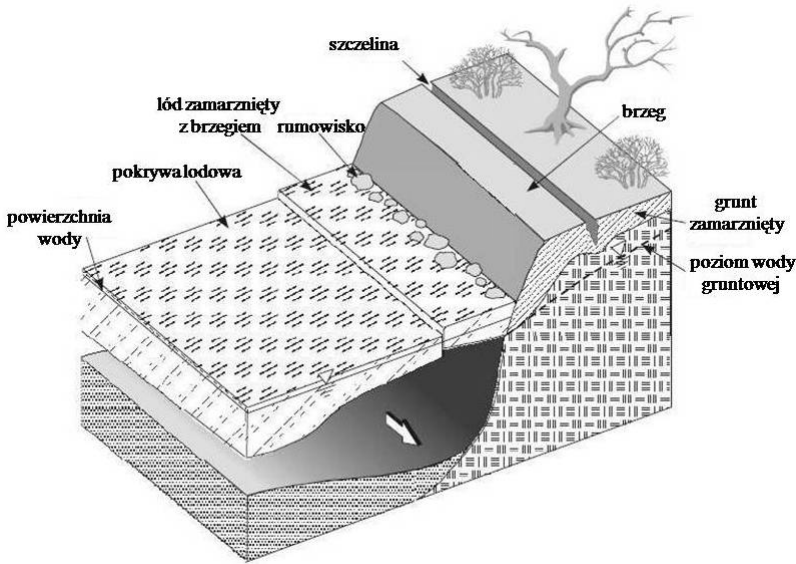
- osłabianie brzegu w wyniku zamarzania wody kapilarnej podczas silnych mrozów,
- rozrywanie, wrywanie gleby i roślin (łącznie z korzeniami) podczas odrywania się fragmentów lodu brzegowego (zmiany poziomu wody w rzece),
- żłobienie i abrazja oraz wrywanie roślin w wyniku ruszenia lodu.

Dwie pierwsze grupy czynników są nadal słabo rozpoznane, trzeciej grupie poświęcono więcej uwagi [Danilov 1972, Dionne 1974, Mackay, Mackay 1977].

Obecnie funkcjonują sprzeczne opinie dotyczące oddziaływania zjawisk lodowych na erozję koryta rzecznego. Smith (1979) postawił tezę, że erozja brzegów i dna koryta rzecznego następuje ok. 2,6 do 3 razy silniej podczas występowania zjawisk lodowych (w warunkach stanu brzegowego), w porównaniu do warunków swobodnego odpływu wody. Rok później pojawiła się opinia podważająca te stwierdzenia [Kellerhals, Church 1980].

Erozyjne działanie lodu brzegowego jak i całej pokrywy przy zmieniającym się poziomie zwierciadła wody lodowej potwierdzają najnowsze badania [Engelhardt, Waren 1991, Zabilansky i in. 2002]. Przy całkowitej pokrywie lodowej podczas podnoszenia się poziomu wody następuje równoczesne uniesienie przymarzniętej do brzegów pokrywy lodowej. Następujące wówczas wrywanie cząstek gleby, większych fragmentów podłoża i roślin jest niezauważalne do czasu zniknięcia pokrywy lodowej. Podobne zjawisko ma miejsce również przy obniżaniu się stanu wody. Podczas występowania lodu brzegowego powyższe zjawisko występuje z różnym natężeniem. Na jego siłę wpływ ma wielkość zlodzenia brzegowego. Równocześnie może wystąpić pęknięcie gruntu i powstawanie szczeliny w ziemi w niewielkiej odległości od brzegu (rys. 1).

Podczas ruszania lodu może występować wrywanie fragmentów gruntu oraz roślin zamrzniętych w pokrywie lodowej. Ma to duże znaczenie zarówno, jako uszkodzenie brzegu w trakcie schodzenia lodu, jaki i w późniejszym występowaniu wezbrań roztopowych, gdzie wysoka woda niszczy osłabione w ten sposób brzegi. Dodatkowe uszkodzenia brzegu występują podczas spływu kry lodowej. Uderzająca o brzeg kora może odrywać fragmenty gruntu, bądź wbijać się w brzeg. Do dodatkowej deformacji brzegów dochodzi podczas spiętrzania się kry lub jej osiadania na brzegu rzeki [Wierzbicki, Mazgajski 2011].



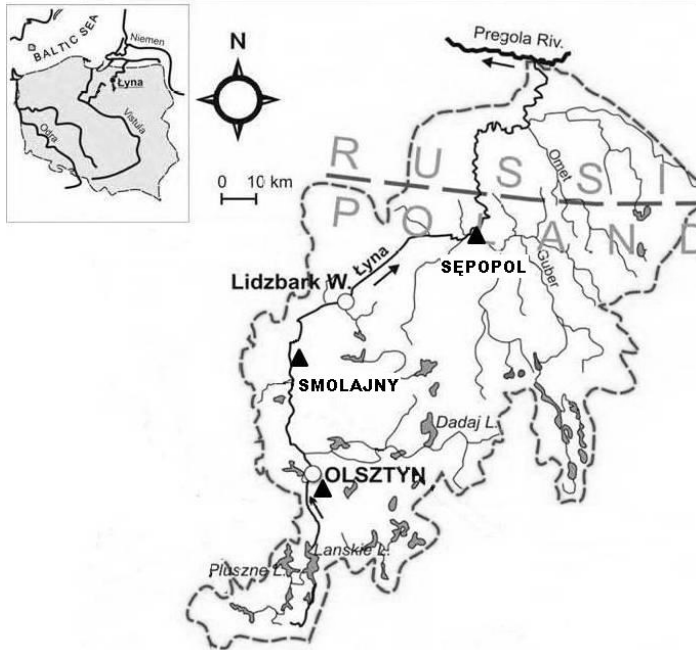
Rys. 1. Połączenie czynników hydraulicznych i mechanicznych na erozję brzegu i miejsce ich występowania [za Ettema, Daly 2004]

Fig. 1. Combined hydraulic and mechanic impacts on eroded channel banks, especially along channel bends [at Ettema, Daly 2004]

SYSTEM HYDROGRAFICZNY ZLEWNI ŁYNY

Łyna należy do rzek pojeziernych i jest największą rzeką przepływającą przez Pojezierze Mazurskie i Nizinę Staropruską. Źródła rzeki Łyny położone są na wysokości 153 m n.p.m.. Średni spadek rzeki od źródeł do Lidzbarka Warmińskiego wynosi 0,69 %, a od Lidzbarka Warmińskiego do granicy państwa 0,45 %. Łyna w górnym biegu przepływa przez szereg jezior rynnowych. Koryto Łyny jest w większości nieuregulowane z wyjątkiem około dziesięciokilometrowego odcinka powyżej Olsztyna, wyprostowanego sześciokilometrowego fragmentu meandrującego w rejonie Smolajń (poniżej Dobrego Miasta) i regulacją koryta w rejonie Lidzbarka Warmińskiego i Bartoszczyk. Całkowita długość rzeki wynosi 289 km, powierzchnia zlewni 5989,84 km² (w tym w granicach Polski 208,57 km² i 5721,65 km²). Łyna wpada do Pregoly (rys. 2), ta zaś uchodzi do Zalewu Wiślanego w Obwodzie Kaliningradzkim (Rosja). Istotny wpływ na reżim hydrologiczny rzeki Łyny wywiera budowa geomorfologiczna jej zlewni. Na powierzchni przeważają osady czwartorzędowe – plejstoceńskie pochodzenia polodowcowego: gliny morenowe, piaski, żwiry oraz holoceni – osady w dolinach rzek zlewni, w rynnach polodowcowych, w obniżeniach terenu na wysoczyznach morenowych i równinach sandrowych [Klimaszewski 1995]. Cechą doliny Łyny jest naprzemianległy układ odcinków przełomowych i basenów zastoiskowych, w których, w szczególności w części południowej, nadal funkcjonują jeziora rynnowe (m. in. Łańskie, Pluszne). Tak urozmaiconej rzeźbie powierzchni towarzyszy mozaika gleb. W górnej części zlewni przeważają

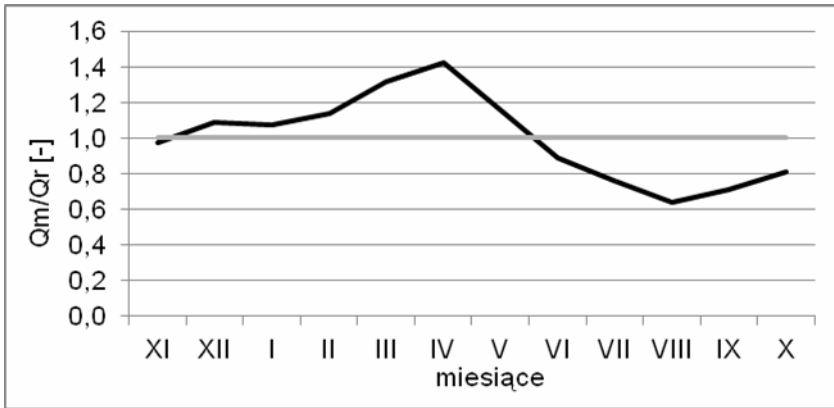
gleby bielcowe, brunatne i płowe, w środkowej części gliny średnie i lekkie (okolice Olsztyna), a w części dolnej zlewni gliny lekkie, piaski, żwiry i ropy. Zróżnicowanie gleb w obrębie wzniesień morenowych pogłębiają procesy erozyjne. Dno doliny Łyny i jej dopływów pokrywają gleby hydrogeniczne [Kalinowski 2011].



Rys. 2. Lokalizacja rzeki Łyny na tle Polski

Fig. 2. Location of the Łyna River on the background of Poland

Rzeka Łyna charakteryzuje się wysokim wskaźnikiem retencyjności zlewni, wynikającym ze znacznej jeziorności, lesistości i wykazuje przy tym cechy stabilnego odpływu ze zlewni. Przewaga odpływu pochodzącego z topnienia pokrywy śnieżnej, w stosunku do całkowitego odpływu średniego rocznego, stanowi o typie reżimu niwalnego. Odpływ rzeczny, na rozpatrywanym obszarze, należy sklasyfikować według Dynowskiej (1994), jako typ niwalny średnio wykształcony, gdyż średni odpływ miesiąca wiosennego wynosi 130-180 % średniego odpływu rocznego. W profilu Smolajny (rys. 3) zmiany współczynnika nieregularności odpływu kształtują się w ciągu roku od 0,6-1,4. W przebiegu rocznym stanów i przepływów wód zaznacza się jeden wyraźny i drugi drugorzędny okres wezbraniowy oraz jeden wyraźny okres niżówkowy [Glińska-Lewczuk 2011]. Po osiągnięciu wiosennego maksimum stany i przepływy wody wyraźnie się zmniejszają. Kulminacje stanów występują najczęściej na wiosnę (w lutym i marcu), co jest efektem topnienia śniegu oraz rozmarzania gruntu przy jednoczesnym zasilaniu opadowym.



Rys. 3. Zmiany współczynnika nieregularności miesięcznych przepływów Łyny w profilu Smolajny [za Glińska-Lewczuk 2011]

Fig. 3. Changes in monthly flow fluctuations rate at the cross section of Smolajny on the Łyna River [according to Glińska-Lewczuk 2011]

Obserwacje i pomiary hydrologiczne prowadzone na Łynie w Smolajnach przez służby IMGW w latach 1960-2010 wykazały, że średni przepływ roczny (SSQ) wynosi $14,45 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, co odpowiada odpływowi jednostkowemu ze zlewni na poziomie: $6,31 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. Stany charakterystyczne drugiego stopnia z wielolecia 1956-2010 dla rzeki Łyny w profilu Smolajny przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie stanów (cm) dla stacji wodowskazowej Smolajny na rzece Łynie z wielolecia (1960-2010), (opracowanie własne)

Table 1. List of states (cm) for gage stations Smolajny on the Łyna River of several years (1960-2010), (own work)

Parametr	Smolajny
Stan alarmowy	300
Stan ostrzegawczy	280
WWW	328 (407, 12.01.1916)
SWW	259
GGSS	191
SSW	148
DGSS	106
SNW	67
NNW	-2 (15.09.1964)

WARUNKI KLIMATYCZNE

Według Atlasu Klimat Polski [Lorenc, 2005] średnia roczna temperatura powietrza w latach 1971-2000 dla obszaru zlewni Łyny kształtuje się na poziomie 7,4 °C, stycznia -2,4 °C, a lipca 17 °C. Średni czas trwania termicznego lata wynosi około 80 dni. Liczba dni gorących, z temperaturą ≥ 25 °C wynosi średnio 25, dni przymrozkowych - 108, a bardzo mroźnych, z temperaturą ≤ -10 °C – 2-3. Okres z opadem śniegu nie przekracza zazwyczaj 60 dni. Pokrywa śnieżna zalega tu średnio przez 73 dni, a jej wysokość w sezonie wynosi średnio 10 cm.

METODYKA BADAŃ

Na podstawie pomiarów wskaźników erozji brzegowej uzyskanych przez Glińską-Lewczuk i innych (2005) – tabela 2, do badań wybrano przekrój hydrometryczny (108+890 km biegu rzeki) w Smolajnach na rzece Łynie (Pojezierze Olsztyńskie).

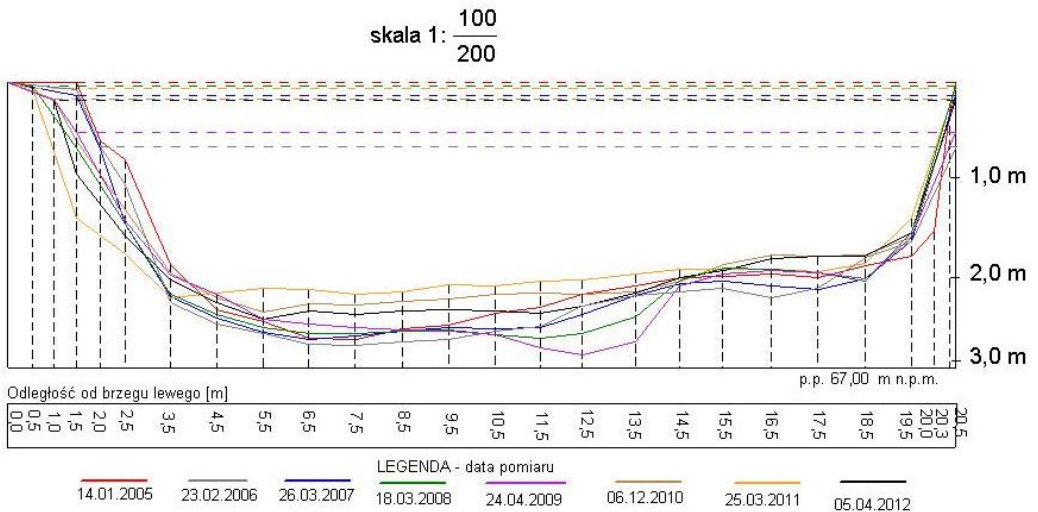
Tabela 2. Erozja korytowa na wybranych odcinkach Łyny według pomiarów wykonanych w okresie 1998-2004 r. [za Glińska-Lewczuk i in. 2005]

Table 2. Bank erosion on selected parts of Łyna River in 1998-2004 [acc. to Glińska-Lewczuk *et al.* 2005]

Odcinek		Długość odcinka [km]	Rozmiar erozji (brzegowa i osuwiskowa łącznie)	
Miejscowość	km rzeki		[tys ³ m]	[m ³ /km]
Lidzbark – Łaniewo	73,19-90,09	16,9	124,05	8210
Łaniewo – Smolajny	90,09-108,89	18,8	400,27	23830
Smolajny – Dobrze Miasto	108,89-114,39	5,5	848,80	17320

Miejsce pomiarów przekroju usytuowane zostało 5 metrów powyżej wodowskazu. Pomiar szerokości koryta rzeczno-ego [B], profilu poprzecznego i przepływu wody [Q] wykonywano zgodnie z obowiązującą w Państwowej Służbie Hydrologiczno-Meteorologicznej procedurą pomiaru natężenia przepływu za pomocą młynka hydrometrycznego sygnalizującego (A.OTT C 31-00 oraz SEBA F1 – oba produkcji niemieckiej). Pomiar wykonywano, co miesiąc, w latach hydrologicznych 2005-2012 z łodzi lub z pokrywy lodowej. Spośród 88 pomiarów, w analizie erozji brzegów uwzględniono jedynie pomiary wykonane przy stanie wody zbliżonym do stanu brzegowego wynoszącego odpowiednio dla brzegu lewego ok. 230 i dla brzegu prawego ok. 330 cm. Sondowanie głębokości [h] odbywało się od brzegu lewego do prawego z dokładnością 1 cm. Równocześnie mierzono natężenie przepływu wody w rzece. Pomiar grubości pokrywy lodowej wykonywano z dokładnością 1 cm za pomocą przymiaru, tzw. „kosi lodowej” umieszczonej w świeżo wyciętych przeręb-
blach. Stopień pokrycia koryta rzeczno-ego zjawiskami lodowymi określano procen-

towo na podstawie wizualnego pomiaru tzw. „drabinką Sommera” na odcinku ok. 150 m (0 – brak zjawiska, 10-90% zjawisko lodowe) przy jednoczesnym pomiarze przekroju porzecznego i przepływu wody w korycie rzecznym. Pomiarzy przepływu wody, powierzchni przekrojów poprzecznych [F] oraz głębokości średniej [h_{sr}] obliczono za pomocą programu Hydropomiar ver. 1.1.7.17. Przekroje (rys. 4) wykreślone zostały w programie MikroMap ver. 5.19., jak również obliczono długość obwodu zwilżonego [P]. Lokalny spadek zwierciadła wody zmierzono dnia 03.06.2011 przy stanie H = 146 cm. Do analizy stanów wody oraz występowania i natężenia zjawisk lodowych wykorzystano dane z lat hydrologicznych 2005-2012 należące do zasobów IMGW.



Rys. 4. Zmiany przekroju poprzecznego Łyny w Smolajnach obrazujące proces erozji brzegów i zmian dna koryta

Fig. 4. Changes in the cross-section of Lyna River at Smolajny gauge illustrating bank erosion and changes in the channel bottom

WYNIKI BADAŃ

W latach 2005-2012 stwierdzono znaczne zróżnicowanie zjawisk lodowych na rzece Łynie w profilu Smolajny. Wśród najczęściej występujących zjawisk lodowych na Łynie były: lód brzegowy 139 dni, pełna pokrywa lodowa 128 dni, śryż 51 dni. Występowanie wody na lodzie, kry i zatorów występowało łącznie przez 28, 5 i 2 dni. Najdłużej utrzymujący się lód brzegowy wystąpił w roku 2011 i trwał z przerwami od 03.12.2010 do 22.03.2011 (łącznie 79 dni). Najdłużej utrzymująca się pokrywa lodowa wystąpiła w roku 2010 tj. od 16.01.2010 – 24.02.2010 (40 dni).

Szczególny charakter związany z oddziaływaniem na strefę brzegową posiada pokrywa lodowa. W badanym przedziale czasu na rzece Łynie w profilu Smolajny całkowite zlodzenie koryta nie wystąpiło tylko w dwóch latach hydrologicznych 2005 oraz 2007 (tab. 3). Grubość pokrywy lodowej wynosiła od 5 cm w roku 2008

do 40 cm w roku 2010. W okresie utrzymywania się najgrubszej pokrywy lodowej średnia dobowa temperatura powietrza w miesiącach styczniu i lutym 2010 rok wahała się od -3 do -20°C, a minimalna przy gruncie od -6 do -24°C. Zestawienie rozkładu zjawisk lodowych (w półroczach zimowych) o największym wpływie na erozję brzegową koryta rzecznego przedstawia tabela 3, czas trwania zjawisk przedstawiono na hydrografie stanów wód (rys. 5).

Tabela 3. Wybrane zjawiska lodowe na rzece Łynie w profilu Smolajny w latach hydrologicznych 2005-2012

Table 3. Chosen ice phenomena at the cross section of Smolajny on the Łyna River in the period of 2005-2012

Rok hydrologiczny	Grudzień			Styczeń			luty			marzec		
	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-31	1-10	11-20	21-28	1-10	11-20	21-31
2005												
2006												
2007												
2008												
2009												
2010												
2011												
2012												

lód brzegowy/Ice shore

pokrywa lodowa/Ice cover

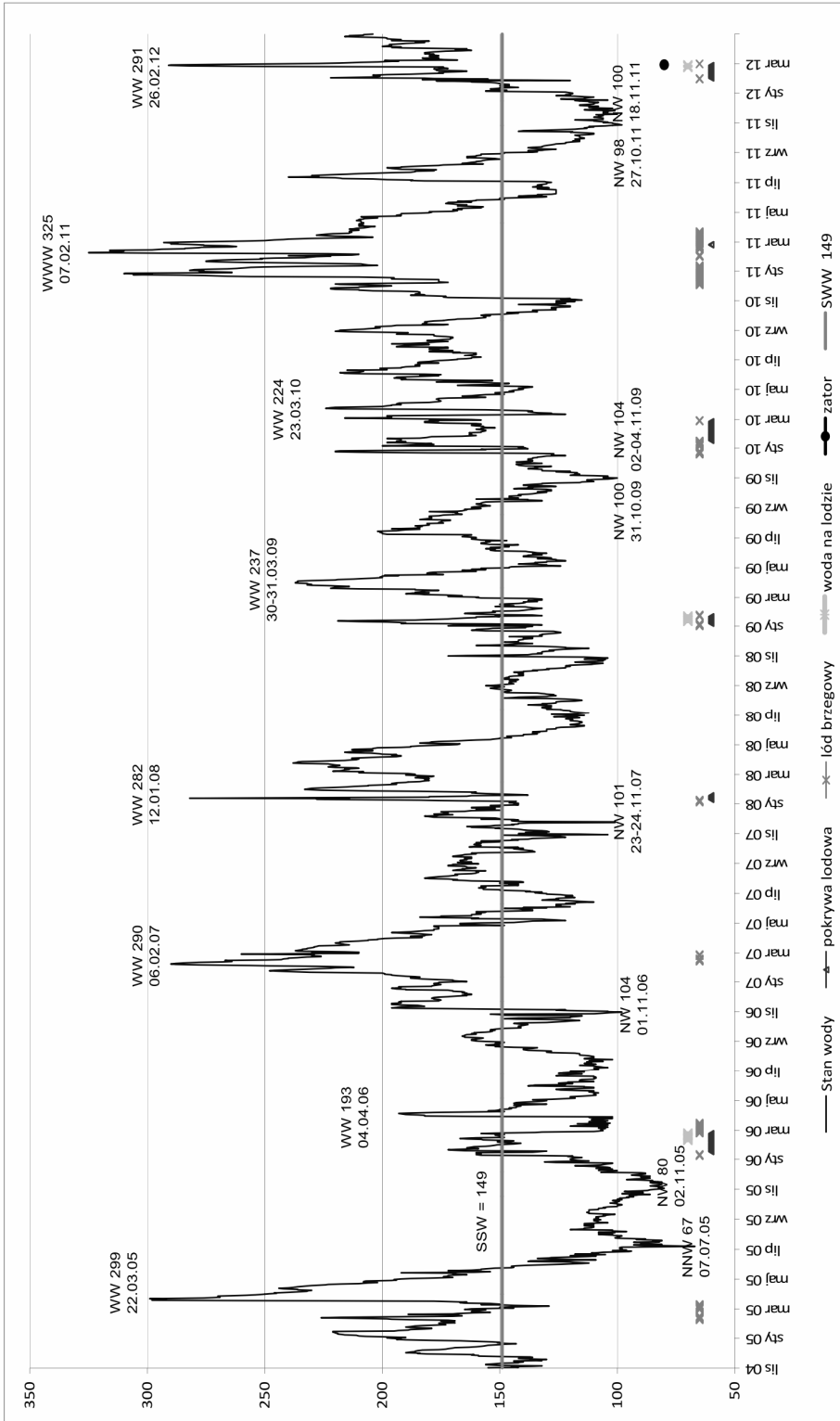
woda na lodzie/water on ice

kra/Ice floe

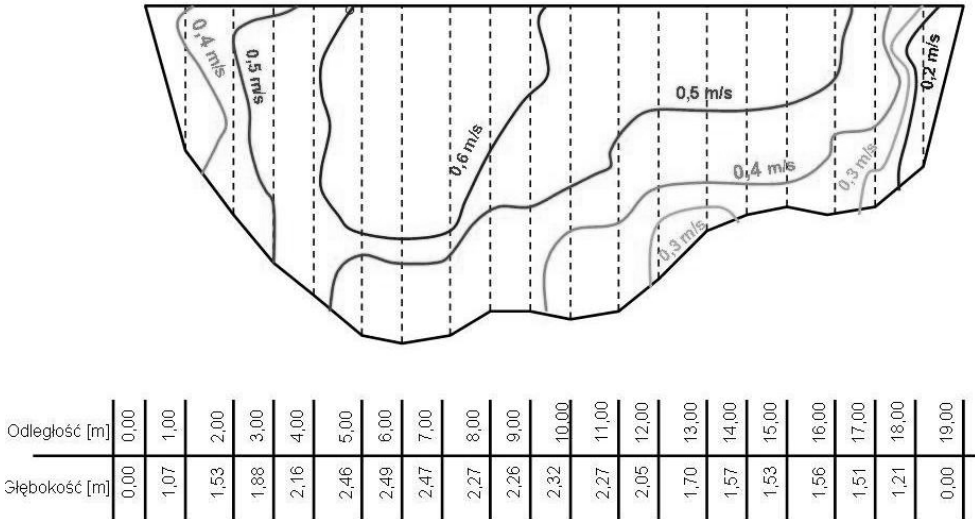
Przykładowe zróżnicowanie rozkładu izotach, w badanym profilu Smolajny na rzece Łynie, przy przepływie swobodnym i pod pokrywą lodową przedstawiono na rys.6a i 6b.

Wyniki pomiarów cech morfologicznych badanego przekroju poprzecznego koryta rzeki oraz dynamikę ich zmian przedstawiono w tabeli 4. W celu porównania wybranych parametrów zmierzonych w różnych terminach i przy różnych stanach wody, dokonano korekcji otrzymanych wyników do warunków panujących przy stanie wody wynoszącym 220 cm na wodowskazie w Smolajnach w dniu 14 stycznia 2005 roku.

Podczas obserwacji przekroju poprzecznego koryta rzecznego (listopad 2004 – kwiecień 2012) względem stycznia 2005 roku, zaobserwowano fluktuację wartości poszczególnych cech morfometrycznych koryta rzecznego. W wyniku wystąpienia zjawisk lodowych, szerokość zwierciadła wody w profilu pomiarowym zwiększyła się skowo.

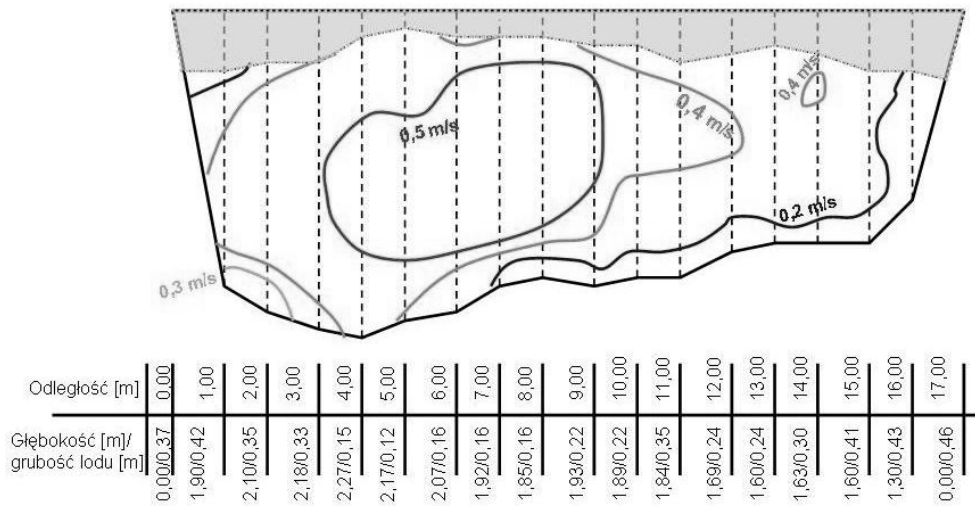


Rys. 5. Hydrograf stanów wód (cm) wraz ze zaznaczonymi zjawiskami lodowymi w profilu Smolajny na rzece Lynie (lata hydrologiczne 2005-2012)
Fig. 5. Hydrograph of water level (cm) with ice phenomena for gauge station of Smolajny on the Lyna River (hydrological years 2005-2012)



Rys. 6a. Przykładowy rozkład izotach przy przepływie swobodnym w profilu Smolajny na rzece Łynie

Fig. 6a. Exemplary distribution of isovel in modular flow at gauge station Smolajny on the Łyna River



Rys. 6b. Przykładowy rozkład izotach przy przepływie pod lodem w profilu Smolajny na rzece Łynie

Fig. 6b. Exemplary distribution of isovel in non-modular flow under ice cover for gauge station Smolajny on the Łyna River

Tabela 4. Dynamika zmian wymiarów przekroju poprzecznego koryta Łyny (109,89 km) w Smolajnach w latach hydrologicznych 2005-2012

Table 4. Dynamics changes has showed on selected parameters of cross-section of Lyna River channel (108,89 km) for gauge station Smolajny in hydrological years 2005-2012

Data	14.01. 2005	23.02. 2006	26.03. 2007	18.03. 2008	24.04. 2009	06.12. 2010	25.03. 2011	05.04. 2012
Szerokość przekroju B [m]	19,0	18,3	19,5	20,0	19,0	19,5	20,0	19,5
Powierzchnia przekroju F [m ²]	40,65	31,67	40,74	42,55	34,05	35,47	37,97	36,80
Powierzchnia skorygowana F' [m ²]*	40,65	42,26	43,47	43,35	42,39	38,98	39,38	40,80
	100,00%	103,96%	106,94%	106,64%	104,28%	95,89%	96,85%	100,37%
Głębokość maksymalna h [m]	2,78	2,28	2,65	2,73	2,43	2,31	2,26	2,36
Głębokość maks. skorygowana h' [m]*	2,78	2,88	2,79	2,77	2,89	2,49	2,33	2,56
	100,00%	103,60%	100,36%	99,64%	103,96%	89,57%	83,81%	92,09%
Głębokość średnia h _{sr} [m]	2,14	1,73	2,09	2,13	1,79	1,82	1,90	1,89
Głębokość średnia skorygowana h' _{sr} [m]*	2,14	2,31	2,22	2,17	2,23	1,99	1,96	2,02
	100,00%	107,94%	103,74%	101,40%	104,21%	92,99%	91,59%	94,39%
Obwód zwilżony P [m]	44,26	41,18	43,86	45,77	42,52	43,65	45,07	43,77
Obwód zwilżony skorygowany P' [m]*	44,26	44,93	44,66	46,92	46,28	46,09	46,30	46,26
	100,00%	101,51%	100,90%	106,01%	104,56%	104,13%	104,61%	104,52%

*Różnice w wymiarach: $\Delta B=1m$; $\pm\Delta F'=4,49 m^2$; $\pm\Delta h'=0,56m$; $\pm\Delta h_{sr}'=0,35m$; $\pm\Delta P'=2,66 m$, odniesiono do stanu 220 cm na wodowskazie w Smolajnach.

Pierwsze wyraźne zwiększenie szerokości koryta rzecznego o pół metra wystąpiło po półroczu zimowym 2006 roku, drugi znaczny (ok. 0,5 m) wzrost szerokości nastąpił w roku 2011. Powierzchnia przekroju poprzecznego w pierwszych czterech latach zwiększyła się o 2,82 m² (~7%), w następnych trzech, zmniejszyła o 1,67 m² (~3,5%), by na koniec okresu obserwacji zbliżyć się do wartości początkowej. Głębokość maksymalna zwiększyła się w 2006 roku o 10 cm (3,6%). Przez następne dwa lata oscylowała wokół wartości początkowej, by w 2009 roku osiągnąć swoje ekstremum - zwiększenie o 11 cm (~4%). W ostatnich trzech latach badanego okresu zaobserwowano znaczne wypływanie koryta rzecznego w profilu Smolajny o 45 cm (~12%). Zmierzone wartości dla głębokości średniej przedstawiały tendencje

zbliżone do głębokości maksymalnej. Mierzona wartość obwodu zwilżonego zwiększyła się w roku 2008 o 2,66 m (~6%), by do końca okresu badań pozostać na zbliżonym poziomie.

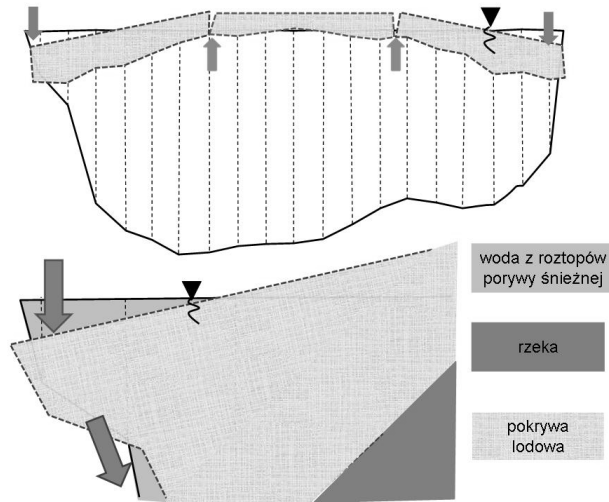
W latach 2005-2008 zaobserwowano zwiększenie powierzchni przekroju rzeczno-ego przy jednoczesnej stabilizacji głębokości maksymalnej i niewielkich waha- niach głębokości średniej. W drugiej części okresu badań (2009-2011) następowa- ło zmniejszenie powierzchni przekroju przy równoczesnym zmniejszeniu głębokości maksymalnej i średniej oraz zwiększeniu szerokości koryta o ok. pół metra. W ostatnim roku badanego okresu szerokość koryta zwiększyła się w przybliżeniu o kolejne 0,5 m. Jednocześnie powierzchnia zwiększyła się osiągając wartość zbliżoną do powierzchni z marca 2005 roku. Głębokość skorygowana maksymalna i średnia była mniejsza o odpowiednio 22 cm i 20 cm. W celu wizualnego porównania zmian koryta rzeczno-ego, przekroje z wybranych pomiarów umieszczono na jednym wykresie (rys. 4).

DYSKUSJA

Zjawiska lodowe występujące na rzekach posiadają istotne znaczenie w procesie kształtowania koryta rzeczno-ego, w szczególności jego szerokości. Z obserwacji badanego profilu wynika, że największy wpływ na ten proces ma długotrwałe utrzy- mywanie się pokrywy lodowej, lub też lodu brzegowego w znacznym stopniu po- krywającym rzekę. Zjawisko to posiada przebieg o zróżnicowanej intensywności zależnej od występujących warunków meteorologicznych. Sprzyjającą okolicznością jest nadejście i umocnienie się pogody wyżowej (wyż kontynentalny znad Rosji). Towarzyszy temu znaczny spadek temperatur, zarówno średniej dobowej, jaki i minimalnej. Podczas trwania niskich temperatur powietrza wytwarza się gruba war- stwa lodu na powierzchni wody, przy jednoczesnym zmniejszeniu zasilania rzeki. Skutkuje to obniżeniem się poziomu wody, załamywaniem się lodu w strefie brze- gowej, a przez to osłabianiem i wrywaniem gruntu.

Dodatkowym czynnikiem wpływającym na erozję brzegową jest topnienie pokrywy śnieżnej w okresie wiosennym. Szczególne znaczenie ma to przy wystąpieniu gwałtownego ocieplenia wiosennego lub śródzimowego, gdy następuje zwiększony spływ powierzchniowy. Zaobserwowano znaczne ilości wody zbierające się na lodzie przy brzegach koryta stanowiąc dodatkowe obciążenie na styku brzeg – lód. Równocześnie następuje podniesienie się poziomu wody w rzece. Wynikiem takiej sytuacji jest pęknięcie lodu i wypiętrzenie pokrywy lodowej w części środkowej korta przy jednoczesnym obniżeniu i wciśnięciu części brzegowej pokrywy w brzeg. Spływ wody przy brzegu po pokrywie lodowej i pod pokrywą, dodatkowo wypłukuje grunt osłabiony w części brzegowej. Schemat takiej sytuacji przedstawiono na rys. 7.

Największy wzrost szerokości koryta rzeczno-ego w obserwowanym profilu nastąpił po pierwszym półroczu 2006 roku, w wyniku czego wystąpiła konieczność opracowania przez Państwową Służbę Hydrologiczno – Meteorologiczną nowej krzywej natężenia przepływu dla stacji wodowskazowej w Smolajnach.



Rys. 7. Schemat sił działających na brzeg w trakcie gwałtownych roztopów
Fig. 7. Diagram of forces working on river bank during sudden snowmelt

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Erozja koryta rzecznego jest procesem ciągłym i nieprzerwanym. Jednakże jej nasilenie jest zróżnicowane w czasie i zależne od występowania warunków hydrologiczno-meteorologicznych.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że:

1. Zjawiskiem lodowym o najistotniejszym wpływie na erozję brzegów koryta rzecznego jest pełna pokrywa lodowa oraz lód brzegowy o stopniu pokrycia przekraczającym 60 %,
2. Istotne znaczenie dla stabilności koryta rzecznego posiada faza pęknięcia pokrywy lodowej przy zmieniających się stanach wody,
3. Analiza sytuacji hydrologicznej rzeki Łyny w Smołajnach wykazała, że:
 - zmiany powierzchni przekroju poprzecznego [F] koryta w ciągu 8 lat wahały się w maksymalnych granicach $\pm\Delta\sim 11\%$ (4,49 m²), wartości maksymalnej,
 - zmiany głębokości maksymalnej h wyniosły $\pm\Delta\sim 20\%$ (56 cm), a głębokości średniej h_{sr} $\pm\Delta\sim 16\%$ (35 cm), wartości maksymalnych,
 - szerokość koryta w badanym profilu zwiększyła się o 1 metr,
 - obwód zwilżony na koniec badanego okresu zwiększył się o 2 metry (4,5%),
4. Obserwowane zjawiska lodowe powinny podlegać szczegółowej analizie w przekrojach gdzie osiadanie brzegu może przyczynić się do strat w budowach hydrotechnicznych, podmywaniu przyczółków mostów i użytkowanych rolniczo terenach nadrzecznych.

Istotną zmianą w przekroju poprzecznym koryta rzeki zaobserwowaną podczas pomiarów hydrologicznych jest podcinanie brzegów koryta. Jest to istotny czynnik

mogący wpływać na wiarygodność odczytów wodowskazowych i mogący mieć znaczenie dla obserwacji długoterminowych (zmiany powierzchni przekroju poprzecznego, głębokości i spadku zwierciadła wody).

LITERATURA

- Banach M. 1998. Dynamika brzegów dolnej Wisły. Dokumentacja geograficzna. PAN IGI-PZ, Wrocław.
- Borowiak D., Barńczuk J. 2004. Secular fluctuations of ice phenomena in Upper Radunia Lake, Kashubian Lakeland. *Limnological Review*, 4: 17-24.
- Bryndal T., Cabaj W., Gębica P., Kroczałak R., Suligowski R. 2010. Gwałtowne wezbrania spowodowane nawałnymi opadami deszczu w zlewni potoku Wątok (Pogórze Ciężkowickie) W: Woda w badaniach geograficznych [red: T.Ciupa, R. Suligowski] UJK Kielce: 307-319.
- Danilov I.D. 1972. Ice as a factor of relief formation and sedimentation. *Problemy Kriolitoologii*, 2: 137-143.
- Dionne C.J. 1974. How ice shapes the St Lawrence. *Canadian Geographical Journal*, 88(2): 4-9.
- Dynowska I. 1994. Reżim odpływu rzeczny, plansza 32.3 Odpływ rzeczny [w:] Atlas Rzeczypospolitej Polskiej, IG PZ PAN, wyd. PPWK im E. Romera S.A., Warszawa.
- Engelhardt B., Waren G. 1991. Upper Missouri River bank erosion. Report prepared by North Dakota and Montana, North Dakota State Water Commission, Bismark, North Dakota.
- Ettema R., Daly S.F. 2004. Sediment Transport Under Ice. Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, New Hampshire.
- Glińska-Lewczuk K. 2011. Komentarz do Mapy Hydrograficznej Polski 1: 50 000. Arkusz: Olsztyn, Dobrze Miasto i Lidzbark Warmiński. CUGiK Warszawa.
- Glińska-Lewczuk K., Cymes I., Kobus S., Grabińska B. 2005. Erozja korytowa na sieci rzecznej Warmii i Mazur. *Inżynieria Ekologiczna*, 13: 66-69.
- Kalinowski A. 2011. The Issue of the Snowmelt Flooding on Post-Glacial Rivers Based on the Example of the Łyna River. In: *Issues of Landscape Conservation and Water Management in Rural Areas* [Edit by Glińska-Lewczuk K.] *Contemporary Problems of Management and Environmental Protection*, 7: 203-220.
- Kellerhals, R., Church M. 1980. Comment on "Effects of channel enlargement by river ice processes on bankfull discharge in Alberta, Canada," by Smith D.G., in *Water Resources Research*, 16(6): 1131-1134.
- Kiedrzyńska E., Józwiak A. 2006. Analiza procesu transportu rumowiska unoszonego na tle dynamiki przepływów rzeki Pilicy z wykorzystaniem metod statystycznych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, Nr 4/3/2006, PAN, o. Kraków: 45-53.
- Klimaszewski M. 1995. *Geomorfologia*, PWN, Warszawa.
- Mackay J.R., Mackay D.K. 1977. The stability of ice-push features, Mackenzie River, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 14(10): 2213- 2225.
- Pawłowski B. 2009. Long-term variability in the course of ice phenomena on the Vistula river in Toruń. *Bulletin of Geography*, 1: 91-102.
- Piątek M., Solarzski M., Rzętała M., Pradela A. 2010. Przebieg zjawisk lodowych w wybranych antropogenicznych zbiornikach wodnych Wyżyny Katowickiej. W: *Woda w badaniach geograficznych* [red: T.Ciupa, R.Suligowski] UJK Kielce: 243-252.
- Rachlewicz G. 2006. Zjawiska wezbraniowe i ich skutki geomorfologiczne w rzekach proglacjalnych – przykłady z doliny Ebby, Spitsbergen środkowy. W: *Funkcjonowanie geo-*

- ekosystemów zlewni rzecznych 4. Procesy ekstremalne w środowisku geograficznym Kołobrzeg 2006: 59-60.
- Smith D.G. 1979. Effects of channel enlargement by river ice processes on bankfull discharge in Alberta, Canada. *Water Resources Research*, 15(2): 469-475.
- Tekielak T., Michalik A., Bąk Ł., Książek L. 2007. Wpływ wezbrań na intensywność procesów fluwialnych na przykładzie koryta potoku Smolnik. *Infrastruktura i Ekologia Tereńów Wiejskich*, Nr 4/1/2007, PAN, o. Kraków: 167-178.
- Wierzbicki G., Mazgajski M. 2011. Wezbranie zatorowe rzeki Wisły w Kotlinie Warszawskiej w lutym i marcu 2010 roku. *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 51: 52-60.
- Zabilansky, L., Ettema R., Wuebben J.L., Yankielun N.E. 2002. Survey of river-ice influences on channel bathymetry along the Fort Peck reach of the Missouri River, winter 1998–1999. U.S. Army Engineer Research and Development Center, Cold Regions Research and Engineering Laboratory, ERDC/CRREL Technical Report, s. 02-14.

EFFECT OF ICE PHENOMENA ON BANK EROSION OF A RIVER CHANNEL BASED ON THE EXAMPLE OF THE ŁYNA RIVER

Abstract. The aim of the paper is attempt to analysis influence on bank erosion on example Łyna river (NE Poland). The analysis has been performed at the cross section of Smolajny during hydrological years 2005-2012. In that period we observed occurrence, evolution and intensity of ice phenomena, such as: border ice, ice cover, water runoff on ice cover. Simultaneously, hydrological and morphological measurements of bed channel have been done. Results showed that width of river bed had increase, bit by bit (twice by 0,5 m), in observed cross section. There was observed fluctuation attributes of morphology in years 2005-2012, both positive and negative. Sudden snowmelt has a great impact on bank erosion, with prolonged ice cover. That situation has influence on sapping of banks. It was stated that, in spite of fluctuations of channel morphological parameters, the overall increase in the channel width was at about 1m in 2005-2012. Similarly other parameters, as wetted area, maximal and average depths have increased in those years.

Keywords: bank erosion, ice cover, N-E Poland, discharge, channel morphology.