

Sekwencje i właściwości gleb dolin rzecznych w krajobrazie młodoglacjalnym Polski północno-wschodniej

Sequences and properties of soils in river valleys in young glacial landscape of north-eastern Poland

Sławomir Smółczyński, Mirosław Orzechowski, Bożena Lemkowska

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Katedra Gleboznawstwa i Ochrony Gleb, ul. Plac Łódzki 3, 10-727 Olsztyn, e-mail: slawomir.smolczynski@uwm.edu.pl

Zarys treści: Celem pracy było zbadanie sekwencji oraz właściwości fizyczno-wodnych i sorpcyjnych gleb w układzie katenalnym w 3 odcinkach dolin rzecznych i na otaczających je wysoczyznach w strefie morenowej i zastoiskowej krajobrazu młodoglacjalnego. W kształtowaniu się gleb w badanych odcinkach dolin rzecznych główną rolę odegrały procesy: aluwialny, deluwialny, glejowy, darniowy, bagienny, murszowy, eluwialny i wertylizacji. W ich rezultacie od wysoczyzny w kierunku rzeki wytworzyły się następujące sekwencje gleb: w dolinie Guberu – czarne ziemie typowe, gleby deluwialne czarnoziemne typowe i kumulacyjne oraz mady czarnoziemne typowe, głębokie; w dolinie Liwny – gleby płowe, gleby deluwialne czarnoziemne typowe, mady czarnoziemne typowe, średnio głębokie i głębokie na torfie; w dolinie Łyny – arenosole, gleby deluwialne czarnoziemne kumulacyjne, gleby organiczne saprowo-murszowe, gleby namurszowe, mady czarnoziemne typowe, średnio głębokie i głębokie na torfie. Mady charakteryzowały się większą zawartością węgla, retencją wodną przy pF 2,0 oraz porowatością ogólną, a mniejszą gęstością objętościową niż gleby deluwialne i gleby zlokalizowane na stokach i wysoczyznach. W układzie katenalnym największy stopień nasycenia kationami wykazywały mady, które kwalifikowały się również do najwyższego stopnia odporności na degradację chemiczną.

Słowa kluczowe: pradoliny, gleby deluwialne, mady, właściwości fizyczno-wodne i sorpcyjne, odporność gleb na degradację

Abstract: The aim of the work was to examine the soil sequence as well as water-physical and sorptive properties in a catena in three sections of river valleys and surrounding hills. The research was carried out in morainic zone and zone of ice-dammed lakes origin of Vistula glaciation. In the studied river valley sections, the development of soils was mainly dependent on alluvial, deluvial, gleyic, sod-forming, peat-forming and muck-forming processes. As a result of these processes, the following soil sequences were formed, from the surrounding hills towards the river bed in Guber river valley: proper black earths, chernozemic proper deluvial soils and deep chernozemic cumulative deluvial soils; in Liwna river valley: lessive soils, chernozemic proper deluvial soils, deep and medium deep chernozemic proper alluvial soils on peat; in Łyna river valley: arenosols, chernozemic cumulative deluvial soils, sapric-moorsh organic soils, mucky soils, deep and medium deep chernozemic proper alluvial soils on peat. Alluvial soils (fluvisols) contained more carbon, had higher water retention ability at pF 2.0 and higher total porosity but lower bulk density than deluvial soils and soil surrounding the valleys. In a catena sequence, alluvial soils had the highest base saturation and were most resistant to degradation.

Key words: river valleys, deluvial soils, alluvial soils, physical – water and sorptive properties, resistance to degradation of soils

Wstęp

W krajobrazie młodoglacjalnym Pojezierza Mazurskiego, podobnie jak w innych regionach ukształtowanych podczas zlodowacenia Wisły, nie ma typowych form fluwialnych, a doliny rzeczne mają charakter poligeniczny (Kondracki 1972, Florek 1991, Kostrzewski i in. 2008). Rzeki wykorzystują istniejące już rynny polodowcowe, zagłębienia śródmorenowe, często o genezie wytopiskowej, łącząc je dolinami przełomowymi. Przykładem takiej

rzeki jest Łyna, która płynie przez dwa odrębne mezoregiony fizycznogeograficzne: Pojezierze Olsztyńskie reprezentujące strefę wysoczyzn morenowych oraz Nizinę Sępopolską reprezentującą strefę zastoiskową krajobrazu młodoglacjalnego, ukształtowanego w fazie pomorskiej (Gotkiewicz, Smołucha 1996). Na podstawie zakumulowanych w dolinie Łyny utworów wyróżniono 3 odcinki określone mianem basenu pojeziorowego (od źródeł do Dobrego Miasta) i basenu zastoiskowego (od Dobrego Miasta do Lidzbarka Warmińskiego) w krajobrazie more-

nowym na Pojezierzu Olsztyńskim oraz basenu namułowego (od Lidzbarka Warmińskiego do granicy państwa) w krajobrazie zastoiskowym Niziny Sępopolskiej (Piaścik i in. 2004). Wytworzone z utworów organicznych, mineralno-organicznych i mineralnych gleby dolin wykazują duże zróżnicowanie zarówno w przekroju podłużnym, jak i poprzecznym. Dodatkowo w strefie kontaktu doliny z obszarami wysoczyznowymi są one w różnym stopniu modyfikowane przez procesy deluwialne.

Celem pracy było zbadanie sekwencji i właściwości fizyczno-wodnych i sorpcyjnych gleb w przekroju poprzecznym obejmującym doliny rzeczne i otaczające je wysoczyzny w strefie morenowej i zastoiskowej krajobrazu młodoglacjalnego ukształtowanego w fazie pomorskiej zlodowacenia Wisły.

Material i metody

Badania przeprowadzono na odcinku doliny rzeki Łyny reprezentującym basen utworów zastoiskowych na Pojezierzu Olsztyńskim (katena Smolajny 54°01'14.9"N, 20°24'14.3"E) oraz w dolinach rzek Guber (katena Równina Górna, 54°10'36.0"N, 21°14'43.3"E) i Liwna (katena Silginy, 54°15'06.0"N, 21°14'03.7"E) na Równinie Sępopolskiej. Od krawędzi wysoczyzny w kierunku koryta rzeki wyznaczono transekty, wzdłuż których wykonano wiercenia i odkrywkę glebowe, z których pobrano próbki do analiz.

W próbkach glebowych oznaczono: uziarnienie metodą areometryczną Prószyńskiego, straty prażenia w utworach organicznych i mineralno-organicznych przez spalanie próbek glebowych w temperaturze 550°C, gęstość fazy stałej metodą piknometryczną, gęstość objętościową za pomocą cylindereków o pojemności 100 cm³. Porowatość ogólną (Po) wyliczono na podstawie gęstości właściwej (S) i objętościowej (So) $Po = (S - So) \cdot So^{-1} \cdot 100$. Ponadto oznaczono pH w zawiesinie H₂O i w 1 M KCl, zawartość węgla organicznego metodą Tiurina, zawartość kationów wymiennych o charakterze zasadowym (Ca⁺², Mg⁺², K⁺, Na⁺) w wyciągu 1 M octanu amonowego o pH 7,0. Ca i Mg oznaczono metodą absorpcji atomowej na spektrometrze SOLAAR 969 firmy Pye Unicam, natomiast K i Na metodą emisji aparatem FLAPHO 4. Ilość wodoru wymiennego oznaczono metodą Kappena w 1 M roztworze octanu amonu.

Właściwości retencyjne utworów glebowych określono metodą komór nisko- i wysokociśnieniowych. Oznaczono pojemności wodne ($W_{obj.}$) dla wartości ciśnienia 98,1 hPa (pF 2,0), 490,5 hPa (pF 2,7), 981,0 hPa (pF 3,0) i 15 547,9 hPa (pF 4,2). Zawartość porów glebowych uzyskano z wyliczenia: makropory (porowatość ogólna – $W_{obj.}$ przy pF 2,0), mezopory odpowiadające potencjalnej retencji użytecznej (PRU) ($W_{obj.}$ pF 2,0 – $W_{obj.}$ pF 4,2), mikropory $W_{obj.}$ – przy pF 4,2.

Wyniki i dyskusja

W kształtowaniu się gleb w badanych odcinkach dolin rzecznych główną rolę odegrały następujące procesy: aluwialny, deluwialny, glejowy, darniowy, bagienny (torfotwórczy i mułotwórczy), murszowy, eluwialny i wertylizacji. W ich rezultacie od wysoczyzny w kierunku rzeki wytworzyły się następujące sekwencje gleb:

- w krajobrazie zastoiskowym:
 - dolina Guberu: czarne ziemie typowe, gleby deluwialne czarnoziemne typowe i kumulacyjne oraz mady czarnoziemne typowe, ciężkie, głębokie;
 - dolina Liwny: gleby płowe zaciekowe z cechami *vertic*, gleby deluwialne czarnoziemne typowe, mady czarnoziemne typowe, ciężkie, średnio głębokie i głębokie na torfie podścielonym gytią;
- w krajobrazie morenowym:
 - dolina Łyny: arenosole, gleby deluwialne czarnoziemne kumulacyjne, gleby organiczne saprowo-murszowe, gleby namurszowe, mady czarnoziemne typowe, średnie, średnio głębokie i głębokie na torfie (PTG 2011).

W katenie Równina Górna (ryc. 1) nachylenie stoków doliny rzeki Guber dochodziło do 8,7%, przy deniwelacji terenu 18,3 m. Gleby deluwialne (prof. 2, 3) położone pomiędzy czarnymi ziemiami i madami zajmowały szeroki pas o długości do 104 m, co świadczy o intensywnie zachodzących procesach erozji wodnej. Mady czarnoziemne typowe (prof. 4, 5) zlokalizowane na dnie doliny zajmowały odcinek 485 m. Na wysoczyźnie i w górnej części zbocza występowały czarne ziemie typowe (prof. 1), wykształcone z utworów glacialimnicznych wykazujących uziarnienie z gliny zwykłej i gliny ilastej (tab. 1).

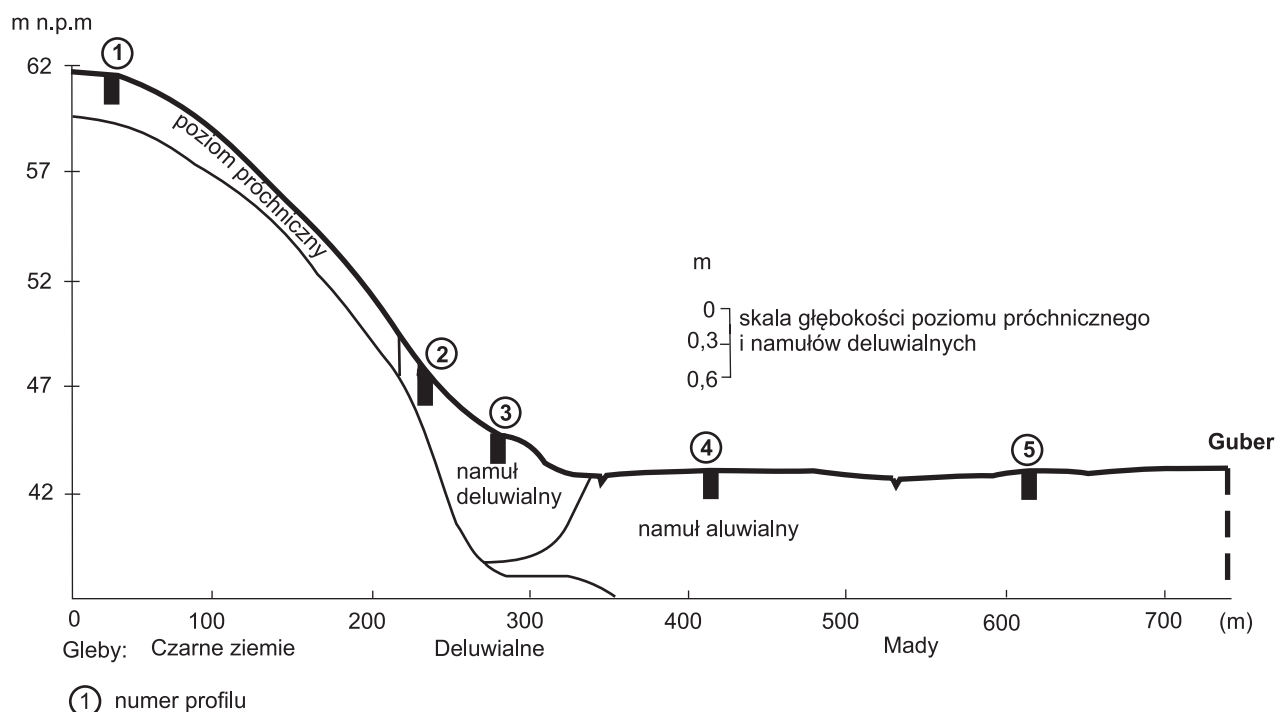
W katenie Silginy (ryc. 2) deniwelacje terenu pomiędzy górną częścią a dnem doliny rzeki Liwny były niewielkie i wynosiły 5,5 m, przy spadkach dochodzących do 4%. Gleby deluwialne (prof. 2) zajmowały przykrawędziową część doliny o szerokości 70 m, natomiast mady czarnoziemne (prof. 3, 4) typowe obejmowały pas o szerokości 720 m. W badanej katenie na wysoczyźnie występowały gleby płowe (prof. 1) wytworzone z gliny lekkiej na ile ciężkim pochodzenia glacialimnicznego.

W katenie Smolajny (ryc. 3) deniwelacje terenu między wysoczyzną a dnem doliny rzeki Łyny wynosiły 5,7 m, przy nachyleniu stoku wynoszącym 4,8%. Na zboczu doliny występowały arenosole (prof. 1) wytworzone z piasku gliniastego, zalegającego na piasku luźnym pochodzenia wodnolodowcowego. Gleby deluwialne czarnoziemne, kumulacyjne (prof. 2) zlokalizowane w przykrawędziowej strefie doliny zajmowały niewielki pas o szerokości 31,0 m. W badanym odcinku doliny Łyny szczególnie interesujące są gleby organiczne. W sąsiedztwie mad czarnoziemnych gleby te przykryte są płytką warstwą aluwialnych namułów mineralno-organicznych (prof. 4, tab. 6). Gleby takie zostały wyodrębnione w IV wydaniu systematyki gleb (PTG 1989) jako podtyp gleb namurszowych, w których miąższość namułów nie przekraczała 30 cm. Według kryteriów V wydania systematy-

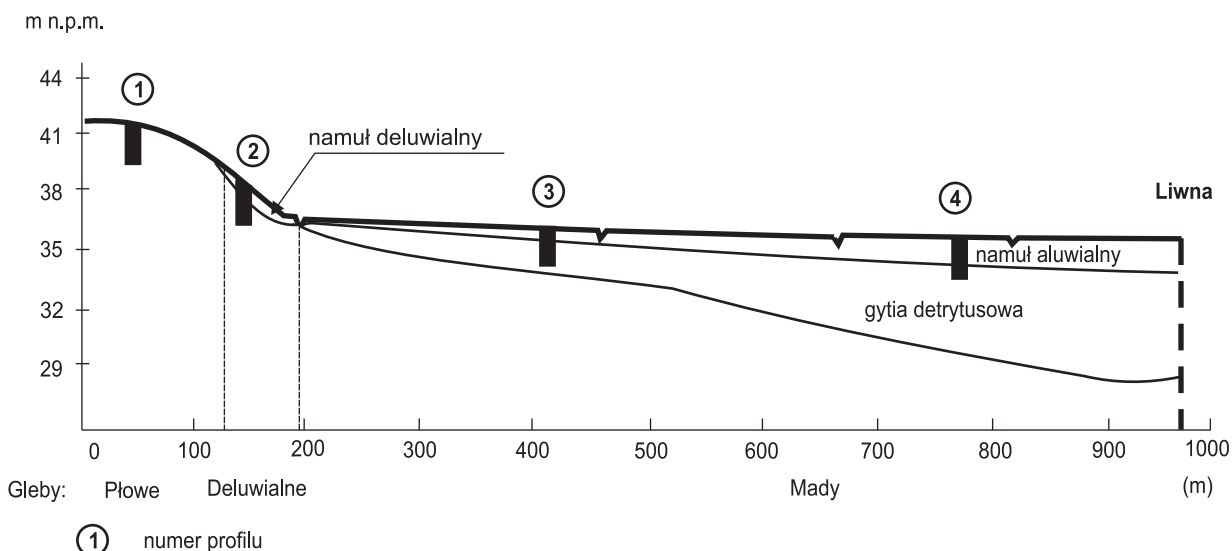
ki gleb (PTG 2011) gleby organiczne mogą być przykryte warstwą namulów o większej miąższości (do 40 cm), jednak nie są one wyróżniane jako jednostka taksonomiczna. W dalszej odległości od koryta rzeki w piętrze wierzchnim gleb organicznych występował poziom murszowy (profil 3, gleba organiczna saprowo-murszowa), który zawiera znaczną domieszkę części mineralnych (572–611 g·kg⁻¹ gleby) (tab. 6). Według Okruszki (1976) gleby murszowe, zawierające w wierzchnich warstwach domieszkę części mineralnych w granicach 500–800 g·kg⁻¹ gleby, można zakwalifikować do grupy gleb organicznych, silnie zamulonych. W badanej katenie mady czarnoziemne typowe (prof. 5, 6) zajmowały 186,0 m szerokości doliny.

Badane mady czarnoziemne wytworzone były głównie z gliny zwykłej, pyłu gliniastego i ilastego oraz gliny pylasto-ilastej. Gleby deluwialne czarnoziemne typowe i kumulacyjne wykazywały uziarnienie glin zwykłych i piasków gliniastych (tab. 1, 3, 5).

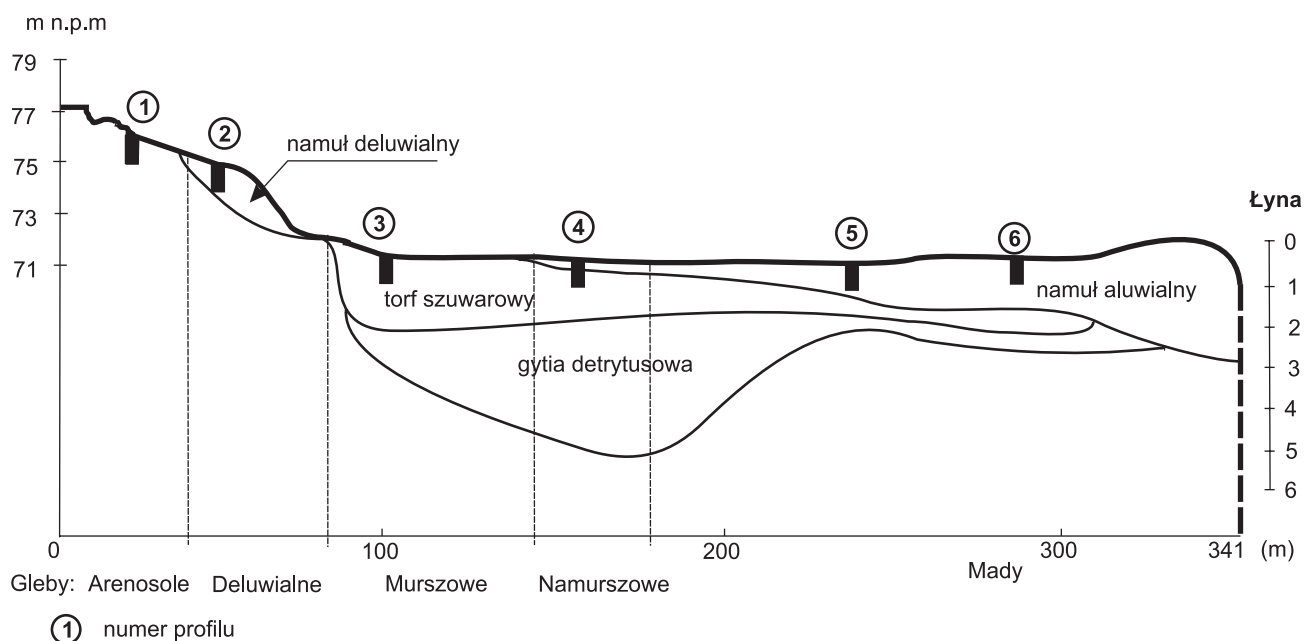
W badanych odcinkach dolin rzecznych gleby deluwialne czarnoziemne w poziomach wierzchnich wykazywały mniejszą zawartość węgla organicznego niż mady czarnoziemne (tab. 2, 4, 6). Najwyższą zawartość węgla stwierdzono w madach doliny rzeki Liwny (56,9–63,6 g·kg⁻¹ gleby) (tab. 4), gdzie w porównaniu z glebami deluwialnymi ilość tego pierwiastka była 2–2,5-krotnie większa. Mady czarnoziemne w dolinie



Ryc. 1. Sekwencja gleb w katenie Równina Górna
Fig. 1. Soil catena Równina Górna



Ryc. 2. Sekwencja gleb w katenie Siłginy
Fig. 2. Soil catena Siłginy



Ryc. 3. Sekwencja gleb w katenie Smolajny
 Fig. 3. Soil catena Smolajny

tej rzeki charakteryzowały się również 2,5–3,2-krotnie większymi zasobami materii organicznej niż gleby deluwialne (tab. 4). W pozostałych katenach różnice te były mniejsze (tab. 2, 6).

Badania właściwości wodnych gleb katen wykazały, że mady miały większą retencję wodną przy wartości potencjału wody glebowej 98,1 hPa (pF 2,0) oraz porowatość ogólną, a mniejszą gęstość objętościową niż gleby deluwialne i gleby położone w otoczeniu dolin rzecznych (tab. 1, 3, 5). Gleby te wyróżniały się także większymi zasobami wody w warstwie do 1 m głębokości. W badanych madach wzajemny stosunek wielkości porów glebowych był niekorzystny. Dominowały mikropory, których objętość dochodziła do 39,5%, a ich udział w porowatości ogólnej stanowił od 35,0% do 64,1%. Objętość porów aeracyjnych nie przekraczała 20%. Zbliżone właściwości dla mad bardzo ciężkich i ciężkich delty wiślanej podają Piaszcik i in. (1998). W układzie profilowym badanych mad wraz ze wzrostem głębokości zmniejszała się objętość porów aeracyjnych (makroporów), a zwiększała się objętość mikroporów. Natomiast objętość wody dostępnej dla roślin w zakresie pF 2,0–4,2 w całym profilu utrzymywała się na zbliżonym poziomie.

Mady w dolinach rzecznych ze względu na wysoką pojemność wodną w stanie połowej pojemności wodnej (pF 2,0) odgrywają ważną rolę w bilansie wody glebowej, ponieważ retencjonują wody opadowe oraz powierzchniowe wody erozyjne spływające po stokach z obszarów wysoczyznowych. Wyliczone zasoby wody w 1-metrowej warstwie gleby wykazały, że mady są w stanie zretencjonować od 178, mm do 243,7 mm wody dostępnej dla roślin (tab. 1, 3, 5).

Spośród badanych katen największe wartości pH (w H₂O i KCl) zanotowano w glebach obiektu Równina Górna. Natomiast w przekroju poprzecznym analizowanych dolin najwyższy odczyn stwierdzono w madach

czarnoziemnych zlokalizowanych najbliżej koryta rzeki (tab. 2, 4, 6).

Wyliczone współczynniki korelacji (tab. 7) wskazują, że zdolności sorpcyjne badanych gleb uzależnione były głównie od zawartości węgla organicznego oraz zawartości frakcji ilastej (<0,002 mm) i frakcji pyłu (0,05–0,002 mm). Największą kationową pojemność wymienną (KPW) wykazywały gleby organiczne saprowo-murszowe w dolinie Łyny (tab. 6). W analizowanych przekrojach kationowa pojemność wymienna mad czarnoziemnych była większa niż gleb deluwialnych (tab. 2, 4, 6). Wśród zasadowych kationów wymiennych dominował wapń. Zawartość tego kationu w badanych glebach (z wyjątkiem arenosoli) była większa niż ilość kationu wodoru (tab. 2, 4, 6). Spośród badanych katen gleby w dolinie rzeki Guber wyróżniały się najwyższym stopniem wysycenia gleb kationami o charakterze zasadowym (91,7–99,1%) (tab. 2). W układzie katenalnym badanych obiektów najmniejszy stopień nasycenia zasadami stwierdzono w glebach położonych w górnej części stoków, a największy w madach czarnoziemnych (tab. 2, 4, 6). Uwzględniając zawartość zasadowych kationów wymiennych (KPWs) w kompleksie sorpcyjnym, Siuta (1978) wyróżnił 10 stopni odporności gleb na degradację. Według tego kryterium można stwierdzić, że najmniejszą odpornością na degradację chemiczną charakteryzowały się arenosole (1. stopień – gleby bardzo słabo odporne) i gleby deluwialne (3. stopień – gleby słabo odporne) w dolinie Łyny oraz gleby płowe (4. stopień – gleby słabo odporne) i gleby deluwialne (5. stopień – gleby średnio odporne) w dolinie Liwny. Największą odporność na degradację wykazywały gleby w przekroju rzeki Guber (9. i 10. stopień). We wszystkich badanych odcinkach dolin, mady czarnoziemne kwalifikowały się do 10. najwyższego, stopnia odporności na degradację. Falkowska, Falkowski (1994) i Falkowska (2004) podkreślają, że gleby o dużej pojemności

Tabela 1. Właściwości fizyczne i retencyjne gleb w katenie Równina Górna
Table 1. Physical and retention properties of soil in catena Równina Górna

Położenie odkrywkki	Poziom gene tyczny	Głębokość [cm]	% zawartość frakcji o ϕ [mm]			Utwór glebowy*	Gęstość objętościowa Mg · m ⁻³	Porowatość ogólna	Zawartość wody przy pF 2,0	Makropory % obj.	Mezopory	Mikropory	Zasoby wody w warstwie gleby – 1 m
			>2,0	2,0–0,05	0,05–0,002								
1. Czarna ziemia typowa**													
górna	Ap	0–28	1	47	39	14	1,338	46,9	36,4	10,5	18,9	17,5	156,8***
część stoku	A2	28–38	1	46	40	14	1,390	45,9	39,0	6,9	13,4	18,7	
	Ckg	38–103	0	30	32	38	1,509	42,6	38,2	4,4	14,6	23,6	
	Ckg	poniżej 103	0	17	47	36	1,488	43,1	40,3	2,8	12,4	27,9	
2. Gleba deluwialna czarnoziemia typowa													
dolna	Ap	0–30	1	45	36	19	1,326	46,7	38,4	8,3	19,1	19,3	173,9
część stoku	A2	30–55	1	44	34	22	1,495	43,9	38,6	5,3	16,9	21,7	
	A2	55–83	0	37	35	28	1,382	46,4	39,4	7,0	18,9	20,5	
	Cg	poniżej 83	0	13	22	65	1,475	41,3	39,0	2,3	12,6	26,4	
3. Gleba deluwialna czarnoziemia kumulacyjna													
podstawa stoku	Ap	0–27	1	50	36	14	1,300	48,6	36,2	12,4	19,3	16,9	181,5
	A2	27–55	1	51	29	20	1,518	43,0	35,9	7,1	18,0	17,9	
	A3	55–99	1	39	40	21	1,410	45,2	37,4	7,8	17,9	19,5	
	Cg	poniżej 99	0	18	51	31	1,184	51,9	48,2	3,7	19,1	29,1	
4. Mada czarnoziemia typowa													
dolina rzeczna	A	0–22	0	24	55	21	0,986	58,0	49,2	8,8	20,6	28,6	178,0
	A2	22–43	0	11	43	46	0,945	59,5	55,0	4,5	18,8	36,2	
	Ag3	43–80	0	9	39	52	1,122	55,4	51,3	4,1	16,0	35,3	
	Ag4	poniżej 80	0	11	39	50	1,121	54,1	51,7	2,4	17,0	34,7	
5. Mada czarnoziemia typowa													
dolina rzeczna	A	0–26	0	19	51	30	0,983	58,9	49,6	9,3	19,5	30,1	192,7
	A2	26–48	0	16	47	37	1,108	55,8	51,0	4,8	18,2	32,8	
	Ag3	48–88	0	11	41	48	0,902	63,2	58,5	4,7	19,7	38,8	
	Ag4	poniżej 88	0	10	47	43	0,914	62,6	58,8	3,8	19,3	39,5	

* – PTG 2008, ** – PTG 2011, *** – zasoby wody ogólnie dostępne dla roślin w warstwie 1 m (pF 2,0–4,2); – nie oznaczono.

Tabela 2. Właściwości fizykochemiczne gleb w katenie Równina Górna
Table 2. Physical and chemical properties of soil in catena Równina Górna

Położenie odkrywkki	Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Utwór glebowy	pH		Zawartość		Zasoby materii org. w warstwie 1 m	KPW	KPWs	Ca ²⁺	H ⁺	V
				H ₂ O	KCl	C-org. g · kg ⁻¹ gleby	Próchnica						
1. Czarna ziemia typowa													
górną	Ap	0-28	gz	6,1	5,4	19,2	33,1	165,7	278,6	255,5	213,3	23,1	91,7
część stoku	A2	28-38	gz	6,1	5,5	17,4	30,0		260,3	240,0	199,4	20,3	92,7
	Ckg	38-103	gi	7,4	6,4	-	-		258,9	245,9	162,0	13,0	95,0
	Ckg	poniżej 103	gpyi	7,8	6,7	-	-		307,4	302,9	248,2	4,5	98,5
2. Gleba deluwialna czarnoziemna typowa													
dolina	Ap	0-30	gz	6,8	6,0	18,4	31,7	341,5	270,7	255,2	217,8	15,5	94,4
część stoku	A2	30-55	gz	6,6	5,9	14,1	24,3		240,2	228,1	206,5	12,1	95,0
	A3	55-83	gi	7,0	6,1	18,7	32,2		372,6	362,4	316,4	10,2	97,3
	Cg	poniżej 83	ic	7,9	6,8	-	-		411,5	407,5	354,3	4,0	99,0
3. Gleba deluwialna czarnoziemna kumulacyjna													
podstawa stoku	Ap	0-27	gz	7,1	6,5	30,7	52,9	337,6	325,2	316,3	268,4	8,9	97,3
	A2	27-55	gz	7,5	6,5	10,8	18,6		207,0	201,5	173,0	5,5	97,3
	A3	55-99	gz	7,6	6,4	8,9	15,3		296,1	288,1	244,1	8,0	97,3
	Cg	poniżej 99	gpyi	7,3	6,3	-	-		486,7	468,1	395,0	18,6	96,2
4. Mada czarnoziemna typowa													
dolina	A	0-22	pyi	7,5	6,7	52,4	90,3	425,0	390,3	381,8	339,5	8,5	97,8
rzeczna	A2	22-43	ip	7,6	6,8	38,0	65,5		459,8	453,6	391,8	6,2	98,7
	Ag3	43-80	iz	7,7	6,7	12,2	21,0		502,5	496,5	429,8	6,0	98,8
	Ag4	poniżej 80	iz	7,9	6,9	3,1	5,3		480,5	475,0	337,7	5,5	98,9
5. Mada czarnoziemna typowa													
dolina	A	0-26	gpyi	7,7	6,8	45,8	79,0	459,0	687,6	680,8	612,9	6,8	99,0
rzeczna	A2	26-48	gpyi	7,8	6,6	16,3	28,1		580,6	575,2	511,4	5,4	99,1
	Ag3	48-88	ipy	7,5	6,5	27,4	47,2		680,2	670,0	584,1	10,2	98,5
	Ag4	poniżej 88	ipy	7,6	6,3	9,7	16,7		685,0	676,1	594,7	8,9	98,7

- nie oznaczono, KPW - kationowa pojemność wymienna, KPWs - suma zasadowych kationów wymiennych, V - stopień nasycenia kationami zasadowymi

Tabela 3. Właściwości fizyczne i retencyjne gleb w katenie Siliginy
Table 3. Physical and retention properties of soil in catena Siliginy

Położenie odkrywkii	Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	% zawartość frakcji o ϕ [mm]			Utwór glebowy	Gęstość objętościowa	Porowatość ogólna	Zawartość wody przy pF 2,0	Makropory	Mezopory	Mikropory	Zasoby wody w warstwie gleby – 1 m	
			>2,0	2,0–0,05	0,05–0,002									<0,002
1. Gleba płowa zaciekowa z cechami <i>vertic</i>														
górną część stoku	Ap	0–28	2	65	19	16	gl	1,620	39,2	28,1	11,1	16,3	11,8	189,0
	Bti	28–60	0	7	29	64	ic	1,419	44,2	38,5	5,7	18,8	19,7	
	Ci	poniżej 60	0	12	27	61	ic	1,380	46,5	39,6	6,9	20,8	18,8	
2. Gleba deluwialna czarnoziemna typowa														
podstawa stoku	Ap	0–26	1	78	20	2	pg	1,364	45,8	26,2	19,6	16,5	9,7	148,4
	A2	26–45	1	80	15	5	pg	1,516	41,3	25,1	16,2	14,1	11,0	
	A3	45–65	1	84	8	8	pg	1,600	38,5	25,8	12,7	13,6	12,2	
	Cg	poniżej 65	0	29	50	21	gz	1,476	43,2	35,1	8,1	14,7	20,4	
3. Mada czarnoziemna typowa														
dolina rzeczna	A	0–25	0	43	48	9	gz	0,986	60,5	42,7	17,8	21,5	21,2	200,2
	A2	25–78	0	23	47	30	gi	1,302	47,6	37,1	10,5	16,8	20,3	
	Lc	78–105	–	–	–	–	gytia	0,522	73,8	56,2	17,6	26,1	30,1	
	Oa	poniżej 105	–	–	–	–	torf	0,284	83,2	61,0	22,2	32,6	28,4	
4. Mada czarnoziemna typowa														
dolina rzeczna	A	0–25	0	47	44	9	gz	0,872	62,6	46,3	16,3	21,8	24,5	220,7
	A2	25–60	0	36	40	24	gz	0,949	59,6	45,8	13,8	19,6	26,2	
	A3	60–110	0	10	49	41	ipy	0,836	65,7	55,2	10,5	24,4	30,8	
	Oa	poniżej 110	–	–	–	–	torf	0,302	80,5	59,6	20,9	30,5	29,1	

Tabela 4. Właściwości fizykochemiczne gleb w katenie Siłginy
Table 4. Physical and chemical properties of soil in catena Siłginy

Polożenie odkrywkki	Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Utwór glebowy	pH		Zawartość			Zasoby materii org. w warstwie 1 m	KPW	KPW _s	Ca ²⁺	H ⁺	V
				H ₂ O	KCl	C-org.	Próchnica	mmol(+) · kg ⁻¹						
1. Gleba płowa zaciekowa z cechami vertic														
górna część stoku	Ap	0-28	gl	5,8	5,3	5,2	9,0	40,8	129,0	100,2	83,2	28,8	77,7	
	Bti	28-60	ic	6,6	5,9	-	-	-	274,2	54,0	178,1	20,2	92,6	
	Ci	poniżej 60	ic	6,8	6,1	-	-	-	326,3	313,3	220,0	13,0	96,0	
2. Gleba deluwialna czarnoziemna typowa														
dolna część stoku	Ap	0-26	pg	5,7	5,1	24,3	41,9	235,6	181,1	146,3	135,3	34,8	80,8	
	A2	26-45	pg	6,4	5,9	11,1	19,1	-	127,2	104,7	98,4	22,5	82,3	
	A3	45-65	pg	6,5	5,9	5,8	10,0	-	87,2	74,3	66,5	12,9	85,2	
	Cg	poniżej 65	gz	6,5	6,0	-	-	-	155,9	143,3	111,8	12,6	91,9	
3. Mada czarnoziemna typowa														
dolna rzeczna	Aa	0-25	gz	5,3	4,9	56,9	98,1	632,7	495,4	452,8	390,2	42,6	91,4	
	A2	25-78	gi	6,9	6,1	12,6	21,7	-	211,7	195,1	151,3	16,6	92,1	
	Lc	78-105	gytia	6,5	5,9	-	210,0*	-	812,0	763,8	672,7	48,2	94,1	
	Oa	poniżej 105	torf	6,1	5,8	-	610,0*	-	996,0	864,5	734,6	131,5	86,8	
4. Mada czarnoziemna typowa														
dolna rzeczna	Aa	0-25	gz	6,3	5,8	63,6	109,6	758,4	738,7	680,2	612,3	58,5	92,1	
	A2	25-60	gz	6,5	5,9	54,0	93,1	-	727,9	673,7	607,5	54,2	92,6	
	A3	60-110	ipy	6,3	5,6	36,5	62,9	-	611,7	572,9	488,2	38,8	93,7	
	Oa	poniżej 110	torf	6,0	5,5	-	583,0*	-	975,0	823,0	712,2	152,0	84,4	

* - straty prażenia

Tabela 5. Właściwości fizyczne i retencyjne gleb w katenie Smolajny
Table 5. Physical and retention properties of soil in catena Smolajny

Położenie odkrywki	Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	% zawartość frakcji o ϕ [mm]			Utwór glebowy	Gęstość objętościowa $Mg \cdot m^{-3}$	Porowatość ogólna	Zawartość wody przy pF 2,0	Makropory % obj.	Mezopory	Mikropory	Zasoby wody w warstwie gleby – 1 m mm	
			> 2,0	2,0–0,05	0,05–0,002									<0,002
1. Arenosol														
górną część stoku		Ap	1	84	14	2	pg	1,455	40,9	17,5	23,4	11,9	5,6	77,0
stoku		C	8	96	2	2	pl	1,704	36,1	10,4	25,7	5,9	4,5	
2. Gleba deluwialna właściwa, średnio głęboka														
podstawa stoku		Ap	6	82	16	2	pg	1,412	46,1	24,6	21,5	12,7	11,9	158,8
		A2	9	81	16	3	pg	1,297	46,4	23,4	23,0	13,2	10,2	
		A3	2	90	9	1	ps	0,920	61,4	35,2	26,2	18,4	16,8	
		C	14	91	5	4	ps	1,675	37,1	14,3	22,8	8,2	6,1	
3. Gleba organiczna saprowo-murszowa														
dolina rzeczna		M	–	–	–	–	mursz	0,413	80,7	59,6	21,1	31,9	27,7	443,1
		M	–	–	–	–	mursz	0,514	76,3	54,5	21,8	24,3	30,2	
		Oa	–	–	–	–	torf	0,172	91,2	80,1	11,1	53,0	27,1	
		Oe	–	–	–	–	torf	0,159	91,4	78,9	12,5	52,0	26,9	
4. Gleba namurszowa* (PTG 1989)														
dolina rzeczna		AO	–	–	–	–	namuł	0,561	76,3	57,9	18,4	30,0	27,9	447,9
		AO	–	–	–	–	namuł	0,829	65,3	54,8	10,5	25,2	29,6	
		Oa	–	–	–	–	torf	0,178	91,0	79,3	11,7	52,9	26,4	
		Oe	–	–	–	–	torf	0,163	91,3	77,2	14,1	51,6	25,6	
5. Mada czarnoziemna typowa														
dolina rzeczna		A	0	20	71	9	pyg	0,935	61,4	48,5	12,9	22,2	26,3	243,7
		A2	0	21	68	11	pyg	0,984	60,6	48,8	11,8	21,2	27,6	
		A3	0	11	64	25	pyi	1,055	57,9	50,9	7,0	21,1	29,8	
		Ag4	0	6	74	20	pyi	1,127	54,7	48,9	5,8	17,9	31,0	
		Oa	–	–	–	–	torf	0,336	84,8	63,6	21,2	33,4	30,2	
6. Mada czarnoziemna typowa														
dolina rzeczna		A	0	24	68	8	pyg	1,052	56,6	41,8	14,8	21,0	20,8	188,4
		A2	0	22	67	11	pyg	1,104	55,8	43,4	12,4	21,8	21,6	
		A3	0	24	62	14	pyi	1,218	51,4	40,2	11,2	16,7	23,5	
		Ag4	0	13	61	26	pyi	1,174	53,5	47,4	6,1	17,0	30,4	
		Ag5	0	10	60	30	gpyi	1,142	50,8	43,6	7,2	16,7	26,9	

Tabela 6. Właściwości fizykochemiczne gleb w dolinie Liny
Table 6. Physical and chemical properties of soil in Lyna valley

Polożenie odkrywki	Poziom genetyczny	Głębokość [cm]	Utwór glebowy	pH		Zawartość		Zasoby materii org. w warstwie 1 m Mg · ha ⁻¹	KPW	KPWs	Ca ²⁺	H ⁺	V
				H ₂ O	KCl	Org.	Próchnica						
górna część stoku	Ap	0–30	pg	5,9	5,0	9,2	15,9	69,4	55,3	34,6	27,4	20,7	62,6
	C	30–150	pl	5,8	5,0	–	–	–	13,6	6,2	5,2	7,4	45,6
2. Gleba deluwialna czarnoziemna kumulacyjna													
1. Arenosol													
dolina	Ap	0–28	pg	6,1	5,4	21,6	37,2	734,2	94,5	81,7	71,6	12,8	86,5
część stoku	A2	28–46	pg	6,2	5,4	26,5	45,7	–	108,3	85,7	75,4	22,6	79,1
	A3	46–102	ps	6,5	5,6	56,1	96,7	–	426,7	388,0	350,7	38,7	90,9
	C	102–150	ps	6,8	6,1	–	–	–	47,6	43,1	37,2	4,5	90,5
3. Gleba organiczna saprowo-murszowa													
dolina	M	0–15	mursz	6,6	6,0	–	428,0*	1374,1	969,2	679,0	621,5	290,2	70,1
rzeczna	M	15–33	mursz	6,4	5,9	–	389,0*	–	1081,0	837,6	772,2	243,4	77,5
	Oa	33–65	torf	6,3	5,8	–	633,0*	–	1504,5	1217,5	1162,2	287,0	80,9
	Oe	poniżej 65	torf	6,2	5,6	–	720,0*	–	1468,5	1187,0	1108,5	281,5	80,8
4. Gleba namurszowa													
dolina	AO	0–15	namul	6,5	5,7	–	172,0*	1122,6	552,7	386,1	332,6	166,6	69,9
rzeczna	AO	15–30	namul	6,7	5,8	–	150,0*	–	686,6	518,8	456,9	167,8	75,6
	Oa	30–60	torf	6,6	5,9	–	620,0*	–	1420,0	1151,8	1075,2	268,2	81,1
	Oe	poniżej 60	torf	6,4	5,6	–	706,0*	–	1394,0	1143,0	1074,5	251,0	82,0
5. Mada czarnoziemna typowa													
dolina	A	0–23	pyg	6,6	5,5	34,2	59,0	604,7	442,7	420,2	383,1	22,5	94,9
rzeczna	A2	23–40	pyg	6,8	5,6	26,8	46,2	–	419,3	399,8	357,0	19,5	95,3
	A3	40–58	pyi	7,0	6,3	25,6	44,1	–	503,2	485,6	430,3	17,6	96,5
	Ag4	58–72	pyi	6,7	6,0	14,1	24,3	–	330,5	317,7	272,04	12,8	96,1
	Oa	poniżej 72	torf	6,0	5,4	–	387,0*	–	1024,2	655,5	604,3	368,7	64,0
6. Mada czarnoziemna typowa													
dolina	A	0–18	pyg	6,7	5,7	30,1	51,9	349,7	408,6	387,6	351,5	21,0	94,9
rzeczna	A2	18–43	pyg	7,1	6,1	16,0	27,6	–	398,2	388,7	34,2	9,5	97,6
	A3	43–70	pyi	7,1	6,2	12,8	22,1	–	321,5	310,0	273,8	11,5	96,4
	Ag4	70–112	pyi	7,3	6,3	16,9	29,1	–	427,8	415,8	367,6	12,0	97,2
	Ag5	poniżej 112	gpyi	7,2	6,3	11,4	19,7	–	315,0	258,4	13,5	13,5	95,7

Tabela 7. Współczynniki korelacji dla właściwości fizycznych i sorpcyjnych
Table 7. Correlation coefficients for physical and sorptive properties

Wyszczególnienie	Porowatość ogólna	Zawartość wody przy pF20	Makropory	Mezopory	Mikropory	KPW	KPWs	Ca ²⁺	V
0,05–0,002	0,571*	0,682*	–0,412*	0,630*	0,597*	0,476*	0,493*	0,496*	0,639*
< 0,002	0,359*	0,742*	–0,796*	0,189	0,821*	0,542*	0,579*	0,527*	0,613*
Gęstość objętościowa	–0,992*	–0,789*	0,035	–0,714*	–0,715*	–0,859*	0,851*	0,852*	–0,497*
C org.	0,635*	0,231	0,448*	0,522*	0,111	0,527*	0,488*	0,521*	0,056*
pH H ₂ O	0,232	0,574*	–0,677*	0,113	0,664*	0,378*	0,435*	0,409*	0,7615*
pH KCl	0,167	0,526*	–0,682*	0,070	0,619*	0,355*	0,409*	0,379*	0,714*

*– poziom istotności 0,05

sorpcyjnej, liniowo rozmieszczone w dolinach rzecznych, pełnią bardzo ważną rolę w kształtowaniu odporności środowiska na antropopresję.

Wnioski

Charakterystycznym ogniwem sekwencji gleb w badanych katenach są mady, które ze względu na dużą zawartość węgla kwalifikowały się do mad czarnoziemnych.

Mady czarnoziemne w badanych odcinkach dolin miały większą retencję wodną przy pF 2,0 oraz porowatość ogólną, a mniejszą gęstość objętościową niż gleby deluwialne oraz gleby położone na stokach i wysoczyznach.

Mady, pomimo dużych zdolności retencyjnych, charakteryzowały się niekorzystnym rozkładem porów glebowych, wśród których dominowały mikropory. Ich udział w porowatości ogólnej stanowił od 35,0% do 64,1%.

Zdolności sorpcyjne badanych gleb uzależnione były głównie od zawartości węgla organicznego, frakcji ilastej i pyłowej. W układzie katenalnym największy stopień nasycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami stwierdzono w madach czarnoziemnych. Gleby te ze względu na wysoką zawartość kationów zasadowych kwalifikowały się do najwyższego stopnia odporności gleb na degradację.

Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki nr N N310776040.

Literatura

- Falkowska E., Falkowski T., 1994. Zróżnicowanie litologii i właściwości sorpcyjnych utworów powierzchniowych i ich znaczenie dla ochrony przed rozprzestrzenianiem się zanieczyszczeń na obszarach o rzeźbie glacialnej na przykładzie doliny Supraśli. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu* 246: 47–57.
- Falkowska E., 2004. Ocena podatności morfogenetycznych elementów dolin rzecznych Niżu Polskiego na antropopresję. W: T. Heese, W. Puchalski (red.), *Bliskie naturze kształtowanie dolin rzecznych*. Wyd. Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, s. 43–57.
- Florek W., 1991. Postglacjalny rozwój dolin rzek środkowej części północnego skłonu Pomorza. *WSP w Słupsku*.
- Gotkiewicz J., Smołucha J., 1996. Charakterystyka krajobrazów młodoglacjalnych Pojezierza Mazurskiego i Równiny Sępopolskiej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 431: 119–136.
- Kondracki J., 1972. *Polska północno-wschodnia*. PWN, Warszawa.
- Kostrzewski A., Zwoliński Z., Andrzejewski L., Florek W., Mazurek M., Niewiarowski W., Podgórski Z., Rachlewicz G., Smolska E., Stach A., Szymańska J., Szpikowski J., 2008. Współczesny morfosystem strefy młodoglacjalnej. *Landform Analysis* 7: 7–11.
- Okruszko H., 1976. Zasady rozpoznawania i podziału gleb hydrogenicznych z punktu widzenia potrzeb melioracji. *Bibl. Wiad. IMUZ* 52: 7–54.
- Piaścik H., Orzechowski M., Smółczyński S., 1998. Air, water and retaining properties of alluvial soils in delta landscape. *Pol. J. of Soil Science* 31(2): 1–7.
- Piaścik H., Sowiński P., Lemkowska B., 2004. Uwarunkowania fizyczno-geograficzne w rozwoju dolin rzecznych i zakumulowanych w nich utworów w krajobrazie Pojezierza Mazurskiego. W: T. Heese, W. Puchalski (red.), *Bliskie naturze kształtowanie dolin rzecznych*. Wyd. Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, s. 83–90.
- PTG, 1989. Systematyka gleb Polski. *Rocz. Glebozn.* 40, 3/4: 1–150.
- PTG, 2009. Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych. *Rocz. Glebozn.* 60, 2: 5–16.
- PTG, 2011. Systematyka gleb Polski. *Rocz. Glebozn.* 62, 3: 1–193.
- Siuta J., 1976. Znaczenie odporności gleb (na degradację) w gospodarce zasobami środowiska przyrodniczego. Instytut Kształtowania Środowiska, Warszawa.