

BUDOWA DOLINY BRZozÓWKI W ŚWIEtle WYNIKÓW BADAŃ GEOFIZYCZNYCH I GEOLOGICZNYCH, POLSKA NE

Structure of the Brzozówka River valley in the light of geophysical and geological study, NE Poland

KRZYSZTOF ŻUREK, TOMASZ KALICKI¹

Zarys treści. Meandrująca Brzozówka, lewy dopływ Biebrzy, położona w północno-wschodniej Polsce, w województwie podlaskim, płynie w szerokim obniżeniu polodowcowym o przebiegu N–S pomiędzy Wysoczyzną Goniądzką a Suchowolsko-Janowską. Dno doliny jest zatorfione. Badania georadarowe (GPR) miały na celu rozpoznanie budowy geologicznej dna obniżenia, określenie miąższości warstw torfu i wyznaczenie stropu jego podłoża mineralnego. Na przekrój GPR przecinający dolinę rzeki Brzozówki w kierunku wschodnio-zachodnim składa się 21 echogramów o łącznej długości 3525 m. Na echogramach zarejestrowano szereg anomalii na różnych poziomach. Stwierdzono nierówny strop podłoża mineralnego przykrytego warstwą osadów organicznych. W obrębie dna doliny można wyróżnić trzy segmenty o różnym wieku i odmiennej budowie: piaszczysto-żwirową terasę sandrową z okresu zlodowacenia wisły (vistulian), holoceniską równinę torfową (torfy zalegają na nierównym podłożu mineralnym, co może być pozostałością po starorzeczach plejstocenijskiego systemu roztokowego), piaszczyste aluwia holocenijskiego pasa meandrowego. Ten ostatni segment, fluwialny, zajmuje jedynie 10% szerokości dna, co pozwala uznać dolinę Brzozówki za dolinę rzeki niedożywionej.

Słowa kluczowe: Brzozówka, prospekcja georadarowa, rzeka niedożywiona, plejstocen, holocen

Abstract. The meandering Brzozówka River, a left tributary of the Biebrza River, is located in the Podlasie Voivodship of north-eastern Poland. It flows in a wide, N–S-oriented glacial depression between Goniądz and the Suchowola-Janików Upland. The valley floor is filled with peat. GPR surveys were conducted to recognise the geological structure of the bottom of the depression, determining the peat thickness and the top of its mineral base. The GPR cross-section crossing the Brzozówka River valley in an E–W direction consists of 21 echograms with a total length of 3 525 m. Anomalies were recorded at different levels on the echograms. An undulated top of mineral basement covered by a layer of organic sediments was identified. Several segments of different age and structure can be distinguished within the valley bottom: the Vistulian sandy gravel terrace, the Holocene peat plain (peats lie on the undulated top of mineral sediments, which may be palaeochannel remnants of a Pleistocene braided system) and the Holocene alluvia of a meander belt. The last, fluvial segment comprises only 10% of the whole valley bottom width, which allows us to consider the Brzozówka River valley as an underfit valley.

Key words: Brzozówka River, GPR prospecting, underfit river, Pleistocene, Holocene

Wstęp

Badany obszar doliny Brzozówki położony jest w północnej części Wysoczyzny Białostockiej w województwie podlaskim (rys. 1A, B). Rzeźba terenu tego regionu została ukształtowana głównie w okresie stadiału warty i przekształcona w warunkach peryglacialnych podczas zlodowacenia wisły (vistulianu) (Kozłowski 2005; Mojski 2005). W ukształtowaniu powierzchni dominują trzy główne jednostki geomorfologiczne. Od zachodu i wschodu są to dwie warciańskie płaskie wyso-

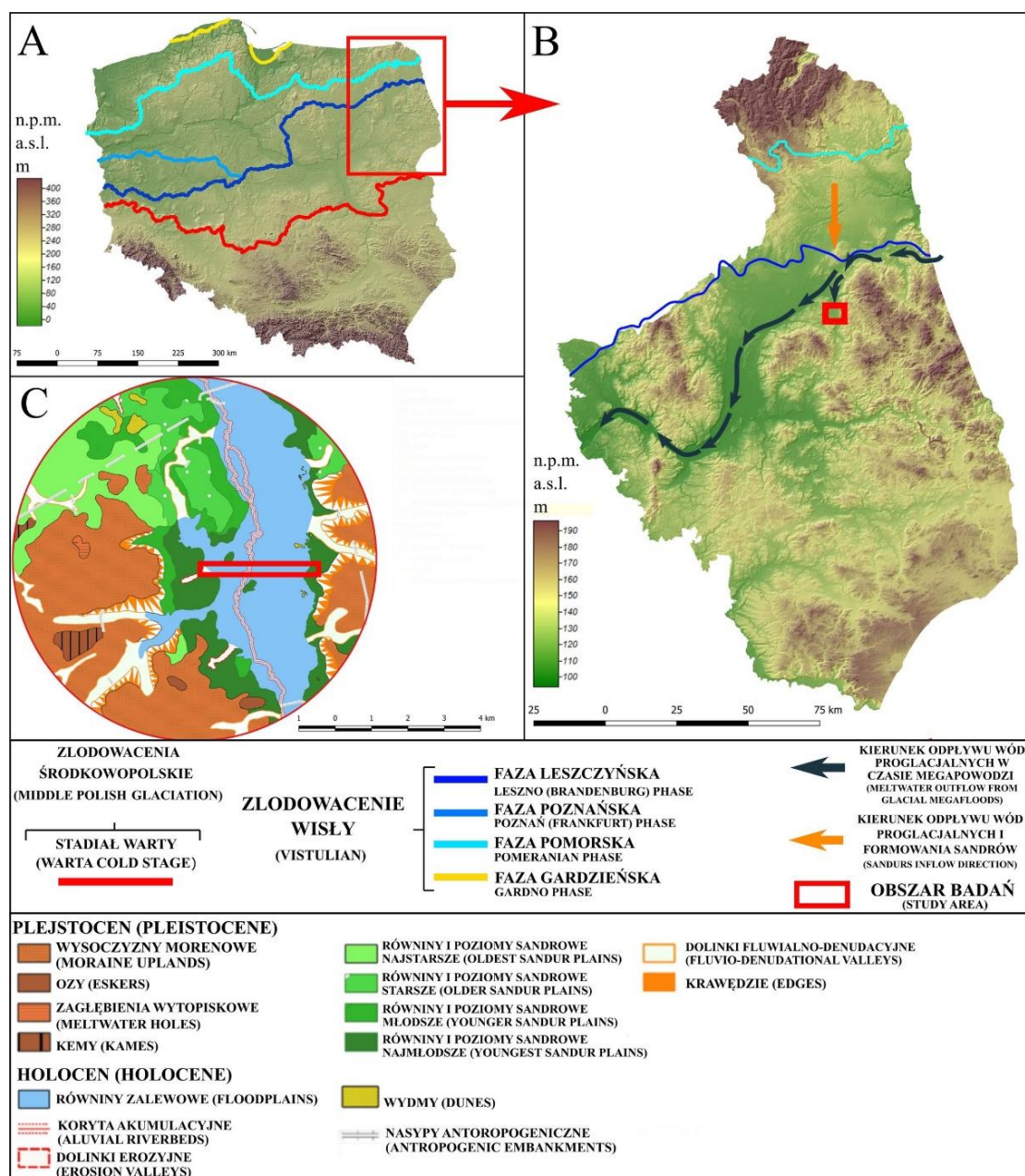
czyzny morenowe, urozmaicone kemami i zagłębieniami wytopiskowymi. Trzecia to obniżenie, w którym płynie rzeka Brzozówka (Banaszuk 2004a; Kondracki 2004; Kozłowski 2005). Obszar badań jest gęsto rozcięty siecią dolin fluwialno-denudacyjnych cieków okresowych, rzadziej stałych, np. Biebla (rys. 1B, C).

Obniżenie Brzozówki, prawdopodobnie wytopiskowe, pochodzi z okresu stadiału warty (Falkowski 1970; Mojski 1972; Musiał 1992; Lindner, Marks 2012) lub ze starszego nasunięcia lądolodu wisły (Banaszuk 1980, 2001, 2004b). W vistulianie było kształtowane w dwóch etapach przez

¹ Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, Instytut Geografii i Nauk o Środowisku, Zakład Geomorfologii i Geoarcheologii, ul. Uniwersytecka 7, 25-406 Kielce; e-mail: chrisu.zurek@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4480-4305; tomaszkalicki@ymail.com, ORCID: 0000-0002-8421-5660

przeptywające nim wody proglaclalne, które formowały sandry dolinne (rys. 1A, B). W pierwszym etapie, na przedpolu lądolodu akumulowane były piaski i żwiry tworzące sandry (Kozłowski 2005), a wody spływające na południe utworzyły serię teras fluwioglaclalnych w obniżeniu Brzozówki (Banaszuk 2004a). Drugi etap nastąpił około 15,5–15,0 ka BP (Val'chik 1992; Kalicki 2006) lub 16,2 ka BP (Kozarski 1995; Kalicki 2006), kiedy to odpływ z jezior zaporowych Narocz-Wilno i Skidel oraz

wody rzeczne górnego Niemna kierował się doliną Łosośnej i przełomem Pripilin-Nurki do pradoliny Biebrzy i Narwi (Żurek S. 1994; Kalicki 2006; Frączek i in. 2020). Epizod ten był jednym z kluczowych mechanizmów kształtowania się systemu rzecznoego tego obszaru (Weckwerth i in. 2019). Przepływ ten mógł być również częściowo skierowany na południe przez obniżenie Brzozówki, a ciekły miały rozwinięcie roztokowe (rys. 1B).



Rys. 1. Lokalizacja obszaru badań: A – Mapa hipsometryczna Polski z zasięgami zlodowaceń (oprac. za Mojski 2005); B – Mapa hipsometryczna województwa podlaskiego (oprac. za Weckwerth i in. 2019); C – Mapa geomorfologiczna obszaru badań (oprac. T. Kalicki, M. Frączek)

Location of the study area: A – Hypsometric map of Poland with glaciacion ranges (compiled after Mojski 2005); B – Hypsometric Map of Podlaskie Voivodeship (compiled after Weckwerth *et al.* 2019); C – Geomorphological map of the study area (by T. Kalicki, M. Frączek)

Plejstocenska rzeźba obniżenia Brzozówki ulegała przeobrażeniom w okresie późnego glacjału i holocenu. Prawdopodobnie w wyniku kaptażu nastąpiło odwrócenie kierunku przepływu, a Brzozówka zaczęła płynąć w kierunku północnym i wpadała do Biebrzy. Przyczyną była erozja wsteczna, która nawiązywała do obniżonej bazy erozyjnej po wcięciu Biebrzy pod koniec młodszego pleniglacjału. Na badanym odcinku rzeka ma obecnie charakter meandrujący, a glacialne obniżenie Brzozówki wypełnione jest torfami (Kozłowski 2005).

Cel badań i metody

Celem nieinwazyjnych badań georadarowych było rozpoznanie budowy geologicznej obniżenia doliny rzeki Brzozówki, określenie głębokości zalegania osadów organicznych oraz rejestracja stropu podłoża mineralnego. Jest to pierwsza część badań mających na celu rozpoznanie genezy i etapów ewolucji tej doliny, która do tej pory była na marginesie zainteresowań naukowych badaczy. Prace badawcze realizowane są w ramach ustalenia warunków środowiskowych dla osadnictwa z okresu brązu, gdyż w dolinie położony jest jeden z tzw. „valley” fortów (Przepióra i in. 2019a; Żurek K. i in. 2020).

W badaniach zastosowano metodę georadaru, która jest bardzo przydatna do określania miąższości materii organicznej oraz położenia stropu podłoża mineralnego i wraz z weryfikacją otworami geologicznymi stanowi kompleksowe narzędzie do badania den dolin (Lamparski 2004; Frączek i in. 2018; Przepióra i in. 2019b; Kalicki i in. 2021).

W środowisku GIS wyznaczono dwa główne przekroje badawcze – po obu stronach rzeki. W efekcie ich połączenia powstał przekrój przecinający całe dno doliny Brzozówki z W na E w jej środkowym odcinku. Przekrój podzielono na odcinki (sekcje), z których każdy ma znane współrzędne przestrzenne. Odcinki wytyczono instrumentem RTK (Leica GNSS z anteną GS12 i kontrolerem CS15), a ich dokładne współrzędne zarejestrowano w układzie EPSG:2179-ETRS89/Poland CS 2000, zona 8, w środowisku Quantum GIS.

Do badań georadarowych wykorzystano system ProEx firmy Mala GeoScience (Professional Explorer) o częstotliwości powtarzania impulsów 200 kHz. System wyposażony był w ekranowaną antenę o częstotliwości 500 MHz. Łącznie na badanym obszarze uzyskano 21 echogramów o łącznej długości 3525 m. Przekroje od 0001 do 0011 zorientowane są W–E, natomiast przekroje 0012–

021 z E na W. Uzyskane dane zostały przetworzone w programach Ground Vision i Reflex (Lamparski 2004, 2020; Chwałek i in. 2016; Kalicki i in. 2021).

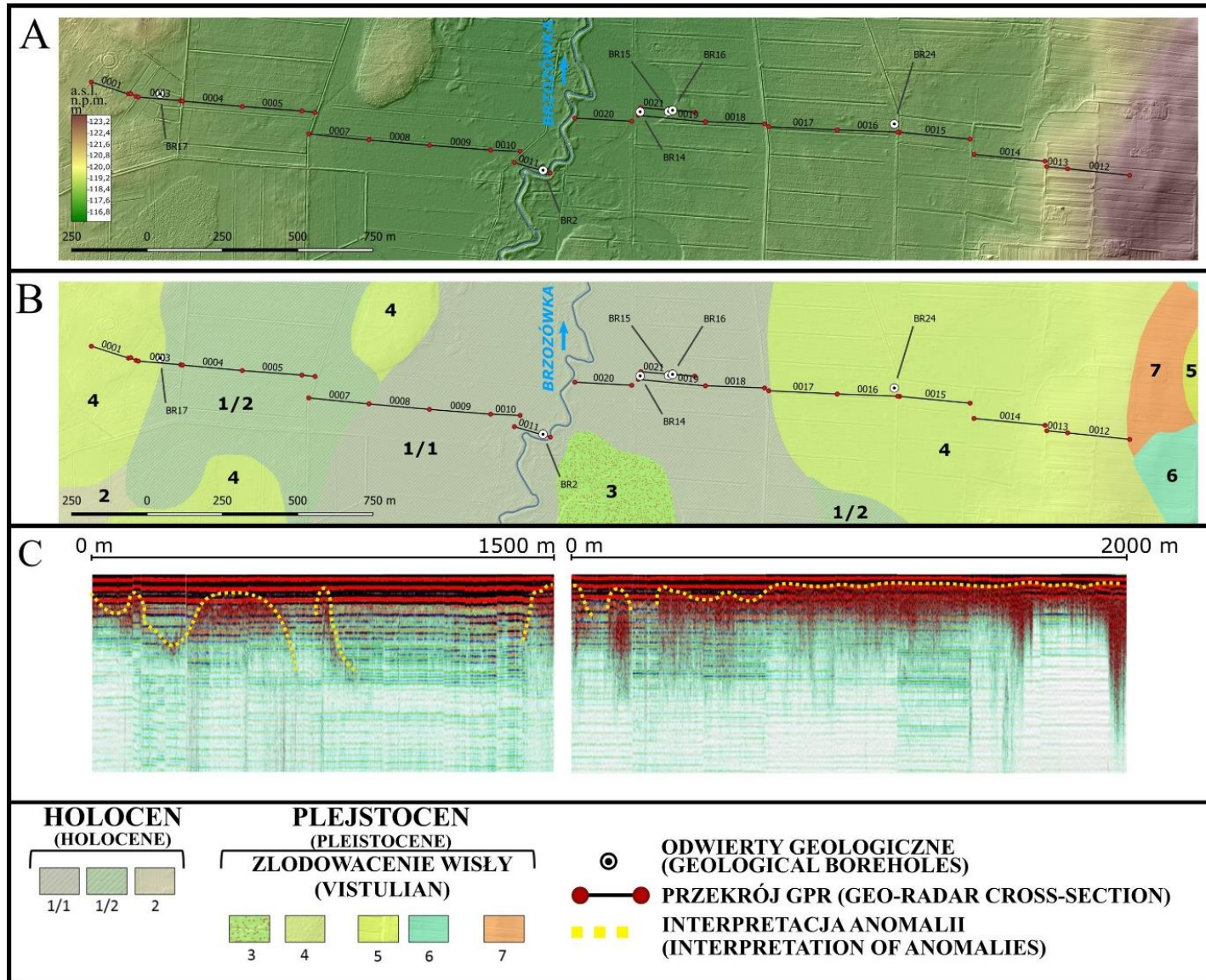
W celu weryfikacji echogramów wykonano sześć odwiertów geologicznych przy użyciu okienkowej wiertni ręcznej Eijkkamp oraz próbnika torfowego Instorf. W Zespole Laboratoriów Geomorfologiczno-Hydrologicznych Instytutu Geografii i Kształtowania Środowiska Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach wykonano analizy sedymentologiczne osadów mineralnych metodą sitową i laserową, a zawartość materii organicznej określono metodą straty prażenia. Wyniki przedstawiono graficznie w programie GRANULOM wraz z obliczonymi parametrami rozkładu Folka, Warda (1957): przeciętna wartość ziarna (M_z), odchylenie standardowe (δ_i), skośność (Sk_i) i kurtoza (K_G). Datowanie radiowęglowe próbek osadów organicznych metodą standardową wykonano w Laboratorium Datowań Bezwzględnych w Krakowie. Kalibracja datowania została przeprowadzona z użyciem krzywej kalibracyjnej w programie OxCal v 4.4.2 (Walanus, Goslar 2009).

W niniejszym artykule zostały przedstawione tylko wybrane przekroje georadarowe, dla których wykonano weryfikacyjne odwierty geologiczne.

Wyniki

W trakcie prospekcji georadarowej uzyskano łącznie 21 echogramów o łącznej długości 3525 m. W efekcie powstał przekrój georadarowy o orientacji W–E przecinający obniżenie Brzozówki (rys. 2A, B). Weryfikację danych georadarowych wykonano w sześciu otworach geologicznych w segmentach 0003, 0011, 0019 i 0016 (rys. 3, 4, 5, 6). Dno osadów organicznych datowano metodą ^{14}C w segmentach 0019 (rys. 5).

W echogramie 0003 na całej jego długości – 145 m – zarejestrowano ciąg anomalii o głębokości od 0,3 do 1,5 m. Interpolując zasięg ich występowania, przybierają one linię wklęsłą, reprezentującą nierównomierny strop. Może być ona interpretowana jako granica oddzielająca osady mineralne od materii organicznej. Potwierdzeniem tego jest otwór BR17 wykonany na 77 metrze tego odcinka, w którym granica anomalii pokrywa się ze zmianą typu osadu na głębokości 65 cm (rys. 3). Na podstawie tych danych można przyjąć, że niecka anomalii będzie w całości wypełniona torfami położonymi na piaskach i żwirach fluwioglacialnych budujących dolny poziom sandrowy.



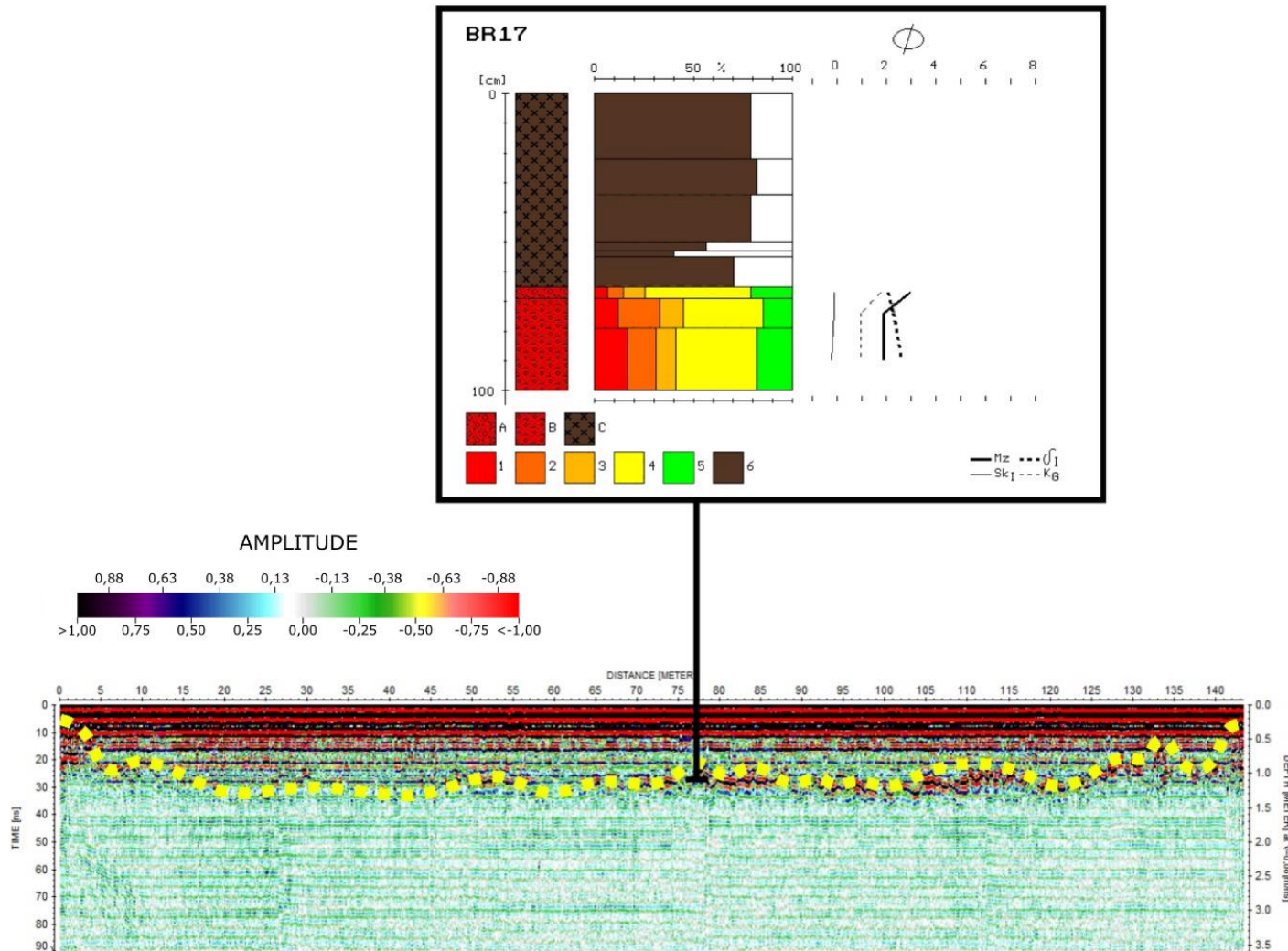
Rys. 2. Lokalizacja profilowania GPR w dnie doliny Brzozówki: A – na tle DEM; B – na tle SMGP (Kozłowski 2005); C – zintegrowany przekrój georadarowy z interpretacją anomalii

1/1 – torfy na piaskach fluwioglacjalnych; 1/2 – torfy na piaskach i żwirach glaciofluwialnych; 2 – namuły torfowe; 3 – piaski glaciofluwialne; 4 – piaski i żwiry glaciofluwialne; 5 – piaski i żwiry lodowcowe; 6 – namuły i piaski zastoiskowe; 7 – gliny zwałowe

Location of GPR profiling in the bottom of the Brzozówka River valley:

A – against the DEM; B – against the SMGP (Kozłowski 2005) map; C – Integrated geo-radar section with anomaly interpretation

1/1 – peats on glaciofluvial sands; 1/2 – peats on glaciofluvial sands and gravels; 2 – peaty silts; 3 – glaciofluvial sands; 4 – glaciofluvial sands and gravels; 5 – glacial sands and gravels; 6 – stagnation silts and sands; 7 – tills

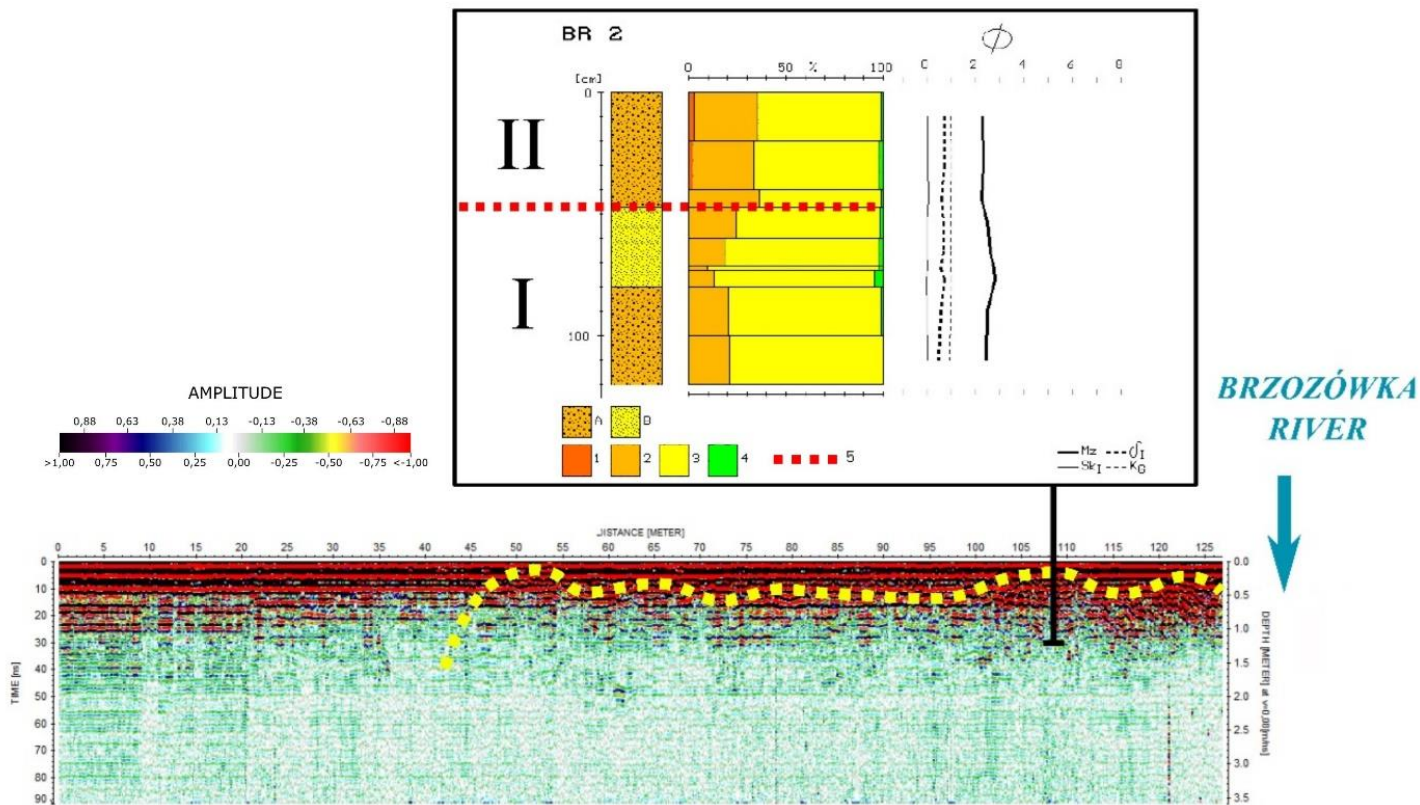


Rys. 3. Echogram przekroju 0003 z odwiertem geologicznym BR17

litologia: A – piaski z pojedynczymi żwirami, B – piaski pylaste ze żwirami, C – torfy; frakcje: 1 – żwiry, 2 – piaski gruboziarniste, 3 – piaski średnioziarniste, 4 – piaski drobnoziarniste 5 – pyły i ropy, 6 – torfy; parametry rozkładu uziarnienia Folka, Warda (1957): M_z – średnica średnia, δ_1 – odchylenie standardowe (sortowanie), Sk_1 – skośność, K_G – kurtoza

Echogram of section 0003 with geological borehole BR17

litology: A – sands with single gravels, B – silty sands with gravels, C – peats; fractions: 1 – gravels, 2 – coarse sands, 3 – medium sands, 4 – fine sands, 5 – silts and clays, 6 – peats; Folk, Ward (1957) distribution parameters (1957): M_z – mean diameter, δ_1 – standard deviation (sorting), Sk_1 – skewness, K_G – kurtosis

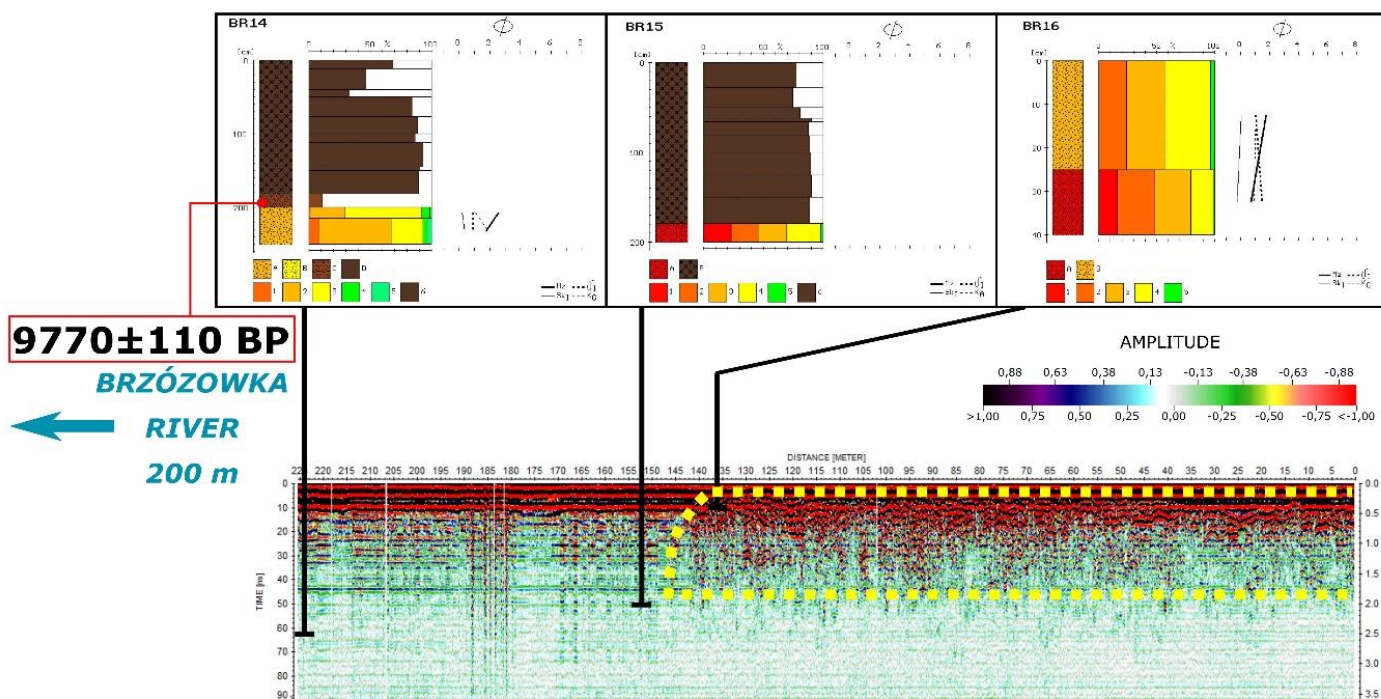


Rys. 4. Echogram przekroju 0011 z odwiertem geologicznym BR2

litologia: A – piaski średnioziarniste, B – piaski drobnoziarniste; frakcje: 1 – piaski gruboziarniste, 2 – piaski średnioziarniste, 3 – piaski drobnoziarniste, 4 – pyły i iły, 5 – granica między dwoma epizodami agradacji; parametry rozkładu Folk, Warda (1957): M_z – średnica średnia, δ_1 – odchylenie standardowe (sortowanie), Sk_1 – skośność, K_G – kurtoza

Echogram of section 0011 with geological borehole BR2

lithology: A – medium sands, B – fine sands; fractions: 1 – coarse sands, 2 – medium sands, 3 – fine sands, 4 – silts and clays 5 – the boundary between two episodes of aggradation; Folk, Ward (1957) distribution parameters (1957); M_z – mean diameter, δ_1 – standard deviation (sorting), Sk_1 – skewness, K_G – kurtosis



Rys. 5. Echogram przekroju 0019 z odwiertami geologicznymi BR14, BR15 i BR16

BR14: litologia: A – piaski średnioziarniste; B – piaski drobnoziarniste C – mulki torfiaste, D – torfy; frakcje: 1 – piaski gruboziarniste, 2 – piaski średnioziarniste, 3 – piaski drobnoziarniste, 4 – pyły, 5 – iły, 6 – torfy; parametry rozkładu Folka, Warda (1957): M_z – średnica średnia, δ_1 – odchylenie standardowe (sortowanie), Sk_1 – skośność, K_G – kurtoza
 BR15: A – piaski ze żwirami; B – torfy; frakcje: 1 – żwiry, 2 – piaski gruboziarniste, 3 – piaski średnioziarniste, 4 – piaski drobnoziarniste, 5 – pyły i iły, 6 – torfy; parametry rozkładu Folka, Warda (1957): M_z – średnica średnia, δ_1 – odchylenie standardowe (sortowanie), Sk_1 – skośność, K_G – kurtoza

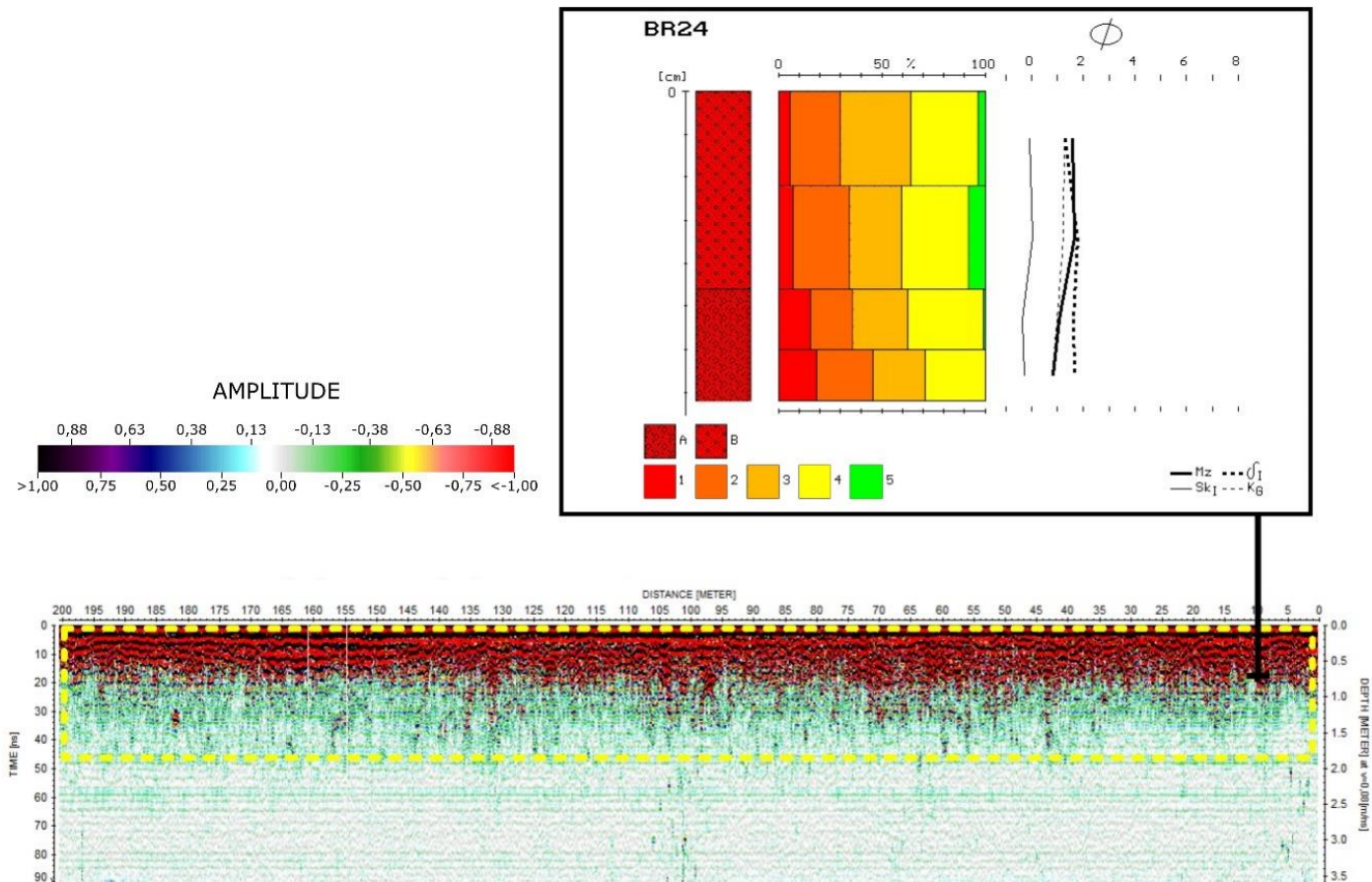
BR16: litologia: A – piaski ze żwirami, B – piaski średnioziarniste; frakcje: 1 – żwiry, 2 – piaski gruboziarniste, 3 – piaski średnioziarniste, 4 – piaski drobnoziarniste, 5 – pyły i iły; parametry rozkładu Folka, Warda (1957): M_z – średnica średnia, δ_1 – odchylenie standardowe (sortowanie), Sk_1 – skośność, K_G – kurtoza
 lithology: A – sands with gravels, B – medium-grained sands; fractions: 1 – gravels, 2 – coarse sands, 3 – medium sands, 4 – fine sands, 5 – silts and clays; Folk, Ward (1957) distribution parameters: M_z – mean diameter, δ_1 – standard deviation (sorting), Sk_1 – skewness, K_G – kurtosis

Echogram of section 0019 with geological borehole BR14, BR15 and BR16

BR14: lithology: A– medium-grained sands, B – fine sands, C – peaty silts, D – peats; fractions: 1 – coarse sands, 2 – medium sands, 3 – fine sands, 4 – silts, 5 – clays, 7 – peats; Folk, Ward (1957) distribution parameters: M_z – mean diameter, δ_1 – standard deviation (sorting), Sk_1 – skewness, K_G – kurtosis

BR15: lithology: A – sands with gravels, B – peats; fractions: 1 – gravels, 2 – coarse sands, 3 – medium sands, 4 – fine sands, 5 – silts and clays, 6 – peats; Folk, Ward (1957) distribution parameters: M_z – mean diameter, δ_1 – standard deviation (sorting), Sk_1 – skewness, K_G – kurtosis

BR16: lithology: A – sands with gravels, B – medium-grained sands; fractions: 1 – gravels, 2 – coarse sands, 3 – medium sands, 4 – fine sands, 5 – silts and clays; Folk, Ward (1957) distribution parameters: M_z – mean diameter, δ_1 – standard deviation (sorting), Sk_1 – skewness, K_G – kurtosis



Rys. 6. Echogram przekroju 0016 z odwiertem geologicznym BR24

litologia: A – piaski z pojedynczymi żwirami, B – piaski pylaste ze żwirami; frakcje: 1 – żwiry, 2 – piaski gruboziarniste, 3 – piaski średnioziarniste, 4 – piaski drobnoziarniste, 5 – pyły i ily; parametry rozkładu Folka, Warda (1957): M_z – średnica średnia, δ_1 – odchylenie standardowe (sortowanie), Sk_1 – skośność, K_G – kurtoza

Echogram of section 0016 with geological borehole BR24

lithology: A – sands with single gravels, B – silty sands with gravels; fractions: 1 – gravel, 2 – coarse sands, 3 – medium sands, 4 – fine sands, 5 – silts and clays; Folk, Ward (1957) distribution parameters: M_z – mean diameter, δ_1 – standard deviation (sorting), Sk_1 – skewness, K_G – kurtosis

W echogramie 0011, zlokalizowanym bezpośrednio na lewym brzegu rzeki Brzozówki, można wyróżnić serię wyraźnych anomalii liniowych, które zanikają do głębokości około 45 m. Seria anomalii od 45 m do 127 m związana jest ze zmianą typu sedimentacji i należy ją interpretować jako aluwia odsypu meandrowego. Potwierdza to otwór BR 2 składający się z dobrze wysortowanych piasków średnio i drobnoziarnistych. Można w nim wyróżnić dwa ogniwa, które mogą świadczyć o dwóch epizodach agradacji aluwii. Zanik anomalii na 45 metrze echogramu wskazuje prawdopodobnie na granicę pomiędzy osadami mineralnymi a wypełnieniem organicznym (rys. 4).

Echogramy 0019 i 0016 zlokalizowane są na prawym brzegu rzeki. W pierwszym z nich, na 50 metrze, zarejestrowano silną anomalię, która tworzy granicę między dwoma rodzajami odczytów georadarowych. Potwierdzają to dwa odwierty geologiczne – BR15 zlokalizowany poza granicą anomalii oraz BR16 zlokalizowany na 136 metrze przekroju. Odwiert BR15 osiąga głębokość 2 m. Na głębokości 180 cm wystąpiła ostra granica między stropem żwirów a zalegającymi bezpośrednio nad nimi torfami. Nie jest to widoczne w profilowaniu georadarowym. Dla porównania odwiert BR16 składa się z piasków średnich i gruboziarnistych, na których nie zalegają torfy. Są to piaski pochodzenia fluwioglacjalnego. Anomalia ta wyznacza granicę między paleomeandrami, które położone są pod krawędzią terasy (sandr doliny) (rys. 5).

W otworze BR14 na głębokości 200 cm zarejestrowano wyraźną granicę pomiędzy osadami mineralnymi a organicznymi. Nie jest ona widoczna na echogramie. Spąg torfów datowany był na: 9770 ± 110 BP (MKL-5082), co przy uwzględnieniu prawdopodobieństwa na poziomie 95,4% daje interwały 9 457–8 805 BC (91,3%), 9 551–9 481 BC (2,4%) i 9 657–9 605 BC (1,7%), a prawdopodobieństwo na poziomie 68,3% wyznacza interwały 9 371–9 123 BC (57,4%), 8 997–8 997 BC (10,5%) i 8 884–8 880 BC (0,4%) (rys. 5).

W echogramie 0016 zarejestrowano szereg anomalii na całej długości przekroju. Wyniki GPR na 10 metrze zweryfikowano odwiertem BR24, w którym zarejestrowano serię piasków i żwirów budujących wyższy poziom plejstocenijskiej terasy sandrowej (rys. 6).

Wnioski

Badania georadarowe pozwoliły na rozpoznanie budowy geologicznej obniżenia Brzozówki. Dane z przekroju można zinterpretować jako warstwę

osadów organicznych o zmiennej miąższości spoczywającą na nierównym stropie podłoża mineralnego (rys. 2C). Na echogramach zarejestrowano szereg anomalii występujących na różnych poziomach.

W obrębie dna doliny można wyróżnić kilku segmentów o różnym wieku i odmiennej budowie. Są to:

- segment plejstocenijskiej terasy zbudowany z osadów piaszczysto-żwirowych, położony na wysokości od 120 do 121 m n.p.m. i o szerokości około 1600 m,

- segment równiny torfowej o miąższości osadów organicznych od 0,5 do 2 m, które zaczęły narastać od początku holocenu, o czym świadczy data 9770 ± 110 BP (MKL-5082), na nierównym podłożu mineralnym, co może być pozostałością po starorzeczach dawnego systemu roztokowego, położonej na wysokości 120 m n.p.m. i o szerokości około 1800 m,

- holocenijski pas meandrowy, segment aluwialny towarzyszący współczesnemu korytu rzeki, zbudowany z piasków odsypów meandrowych, położony na wysokości 120 m n.p.m. i szerokości 200–300 m.

Badana forma jest doliną rzeki niedożywionej (por. Dury 1970; Kalicki i in. 2019), gdzie pas meandrowy Brzozówki (segment fluwialny) z okresu późnego glacjału i holocenu zajmuje jedynie około 300 m (ok. 10%) szerokości dna obniżenia. Analogiczna sytuacja występuje również w innych odcinkach pradoliny Biebrzy-Narwi, np. w Kotlinie Wizny (Wawrusiewicz i in. 2017).

Literatura

- Banaszuk H. 1980. Geomorfologia południowej części Kotliny Biebrzańskiej. *Prace i Studia Geograficzne*. Wyd. UW: 7-66.
- Banaszuk H. 2001. Kotlina Biebrzańska. Aktualny stan, walory i główne zagrożenia środowiska przyrodniczego. W: C. Sadowska-Snarska (red.) *Społeczno-gospodarcze aspekty funkcjonowania Biebrzańskiego Parku Narodowego*. Studia Regionalne. Wyd. Wyższej Szkoły Ekonomicznej w Białymstoku, Białystok 4: 9-53.
- Banaszuk H. 2004a. Ogólna charakterystyka Kotliny Biebrzańskiej i Biebrzańskiego Parku Narodowego. W: H. Banaszuk (red.) *Kotlina Biebrzańska i Biebrzański Park Narodowy. Aktualny stan, walory, zagrożenia i potrzeby czynnej ochrony środowiska*. Monografia przyrodnicza. Wyd. Ekonomia i Środowisko, Białystok: 19-25, 44-98.
- Banaszuk H. 2004b. Geomorfologia Kotliny Biebrzańskiej. W: H. Banaszuk (red.) *Kotlina Biebrzańska i Biebrzański Park Narodowy. Aktualny stan,*

- walory, zagrożenia i potrzeby czynnej ochrony środowiska. Monografia przyrodnicza. Wyd. Ekonomia i Środowisko, Białystok: 44-98.
- Chwałek S., Kalicki T., Krupa J. 2016. Results of ground-penetrating radar (GPR) survey of Agora. International Symposium Paphos Agora Project „In the heart of ancient city – Five years of Krakow Archaeologists’ Research at the Paphos Agora on Cyprus (2011-2015).
- Dury G.H. 1970. General theory of meandering valleys and underfit streams. W: G.H. Dury (ed.) *Rivers and river terraces*. Wyd. Macmillan, London: 264 -275.
- Falkowski E. 1970. Historia i prognoza rozwoju układu koryta wybranych odcinków rzek nizinnych Polski. *Biuletyn Geologiczny* 12: 5-121.
- Folk R.L., Ward W.C. 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27: 3-27.
- Frączek M., Kalicki M., Wawrusiewicz A., Sanko A.F. 2018. Kontekst środowiskowy i stratygrafia stanowiska archeologicznego Lipowo w Kotlinie Biebrzy (NE Polska). *Acta Geographica Lodziensis* 107: 25-37.
- Frączek M., Bęben A., Żurek K., Kalicki T., Wawrusiewicz A., Szypul W., Kasprzyk P. 2020. New results of the palaeoenvironmental and archaeological research of the Subneolithic hunter-gatherer communities of the Niemen Culture case study for Lipsk site (NE Poland). *Acta Geobalcanica* 6-3: 37-144.
- Kalicki T. 2006. Zapis zmian klimatu oraz działalności człowieka i ich rola w holocenijskiej ewolucji dolin środkowoeuropejskich. *Prace Geograficzne IGiPZ PAN* 204.
- Kalicki T., Sanko A.F., Trifonov Yu.Yu. 2019. Types of underfit stream valleys on the territory of Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology* 2: 108-120 (in Russian) <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-2-108-120>
- Kalicki T., Chrabąszcz M., Chwałek S., Tsvirko D., Żurek K., Biesaga P., Przepióra P. 2021. New research results in the lower and middle section of the Łososina valley (Wiarna Rzeka) Holy Cross Mountains, Poland. *Acta Geobalcanica* 7-1: 13-18.
- Kondracki J. 2004. Geografia Polski: regiony fizyczno-geograficzne. PWN, Warszawa.
- Kozarski S. 1995. Deglacjacja północno-zachodniej Polski: warunki środowiska i transformacja geosystemu (~20 ka→10 ka BP). *Dokumentacja Geograficzna* 1.
- Kozłowski I. 2005. Objasnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski, arkusz Suchowola. PIG, Warszawa.
- Lamparski P. 2004. Formy i osady czwartorzędowe w świetle badań georadarowych. *Prace Geograficzne IGiPZ PAN* 194.
- Lamparski P. 2020. Badania georadarowe kemów jako przykład możliwości zastosowania metod geofizycznych do badania form zbudowanych z drobnopziarnistych osadów klastycznych. *Przegląd Geograficzny* 92(3): 423-446.
- Lindner L., Marks L. 2012. O podziale klimatostatygraficznym kompleksu środkowopolskiego w plejstocenie Polski. *Przegląd Geologiczny* 60(1): 36-45.
- Mojski J.E. 1972. Nizina Podlaska. W: R. Galon (red.) *Geomorfologia Polski. T. 2. Niż Polski*. PWN, Warszawa: 318-373.
- Mojski J.E. 2005. Ziemie polskie w czwartorzędzie. Zarys morfogenezy. PIG, Warszawa.
- Musiał A. 1992. Studium rzeźby glacialnej północnego Podlasia. Rozprawy Uniwersytetu Warszawskiego. Warszawa.
- Przepióra P., Żurek K., Kalicki T., Frączek M., Wawrusiewicz A., Piasecki A., Piasecka K., Fularczyk K., Biesaga P., Małęga E. 2019a. Geoarchaeology of “Valley Forts”: case study at Jatwież Duża (Podlasie, E-Poland) - first results. *Proceedings Geobalcanica*: 43-50.
- Przepióra P., Kalicki T., Chwałek S., Houbrechts G. 2019b. Historyczny układ hydrotechniczny w Jędrowie (województwo świętokrzyskie) zachowany w formach i osadach – studium geoarcheologiczno-konserwatorskie. *Acta Universitatis Lodziensis, Folia Geographica Physica* 18: 29-40.
- Val’chik M.A. 1992. Razvitie dolinno-rechnoy seti Belorussii i Pribaltiki v sviazi s degradaciey valdajskogo lednikovogo pokrova W: L.M. Shirokov (red.) *Gidrographicheskaya set’ Belorussii i regulirovanie rechnogo stoka*. Wyd. Universitetskoye, Minsk: 3-10.
- Walanus A., Goslar T. 2009. Datowanie radiowęglowe. Wyd. AGH.
- Wawrusiewicz A., Kalicki T., Przędziecki M., Frączek M., Manasterski D. 2017. Grądy-Woniecko. Ostatni łowcy-zbieracze znad środkowej Narwi. Muzeum Podlaskie w Białymstoku, Białystok.
- Weckwerth P., Wysota W., Piotrowski W., Adamczyka A., Krawieca A., Dąbrowski M. 2019. Late Weichselian glacier outburst floods in North-Eastern Poland: Landform evidence and palaeohydraulic significance. *Earth-Science Reviews* 194: 216-233.
- Żurek K., Kalicki T., Niebieszczański J., Chwałek S., Przepióra P., Frączek M., Bahyrycz C. 2020. Preliminary results of the geophysical surveys of the network of defence settlements from the Bronze Age between the Biebrza and Narew (NE Poland). *Acta Geobalcanica* 6-2: 57-64.

Summary

The investigated area of the Brzozówka valley is situated in the northern part of the Białystok Upland in the Podlasie Voivodeship. The relief of the region was mainly shaped during the Warta Cold Stage and transformed in periglacial conditions during the Vistulian glaciation.

Brzozówka (a fourth-order river, and a left-bank tributary of Biebrza River) is an underfit river with meandering pattern. It currently flows northwards and its vast valley is filled with peat.

In the Pomeranian phase of the LGM, this valley was one of the southern outflows of the meltwater routes. The Pleistocene relief of the valley was shaped during sandur spreading and was further evolved during the Late Glacial and Holocene. The factors controlling its evolution were climate change.

The GPR method used to determine the thickness of organic matter and the mineral substrate is very useful in the study of paleo-environmental evolution. This method, together with verification by geological boreholes, provides a comprehensive tool for investigating changes in valley bottom environments.

Three main geomorphological units dominate the landscape of the study area. To the west and east there is a moraine flat glacial upland, which decreases to the flat valley of the river Brzozówka. The relief was shaped during the Warta cold stage of the Middle Polish (Saalian) glaciations. The Brzozówka depression itself is probably of melt-out origin and its evolution should be associated with the Vistulian glaciation. It probably proceeded in two stages. The first, during which periglacial conditions in the foreland formed sandur tracks (middle and upper stage) and waters flowed southwards, created a series of fluvioglacial terraces (outwash valley plains) in the Brzozówka valley.

The second stage occurred around 15.5–15.0 ka BP or 16.2 ka BP, when the outflow from the Narocz-Vilnius and Skidel dam lakes and the river waters of the upper Nemunas followed the valley of the Łosośna River and through the Pripilin-Nurki gorge to reach the Biebrza and Narew Rivers' valley. This flow could also have been partly

directed southwards through the Brzozówka depression, and the river had a braided pattern.

The Pleistocene relief of the Brzozówka River valley was transformed during the Late Glacial and Holocene. Stream capture reversed the flow direction, and the river began to flow north and discharged into the Biebrza River. This may have been caused by headward erosion, which was responsible for lowering the erosion base after the incision of the Biebrza River at the end of the Younger Pleniglacial. In the study section, the river has a meandering river pattern. The Brzozówka depression is filled with peats.

During GPR prospection, a total of 21 echograms were obtained with a total length of 3 525 m. The result was the creation of a GPR profile with W–E orientation crossing the Brzozówka valley. Anomalies were recorded at different levels on the echograms. The profile data can be interpreted as an irregular layer of the mineral substrate covered by organic sediments.

GPR data made it possible to recognise the geological structure of the bottom of the Brzozówka valley and to distinguish a segment of the valley of different ages and diverse structure. They made it possible to distinguish different age segments in the valley bottom:

- a Pleistocene terrace segment composed of sandy and gravelly sediments, located at 120 to 121 m a.s.l. and about 1 600 m wide,
- a segment of a peat plain with organic sediments of 0.5 to 2 m thick, which started to grow at the beginning of the Holocene, 9 770±110 BP (MKL-5082), on uneven mineral ground, which may be a remnant of the old system of a braided river, located at 120 m a.s.l. and about 1 800 m wide,
- a Holocene meander belt, an alluvial segment accompanying the modern river channel, built of sands of meander deposits, located at 120 m a.s.l. and 200–300 m wide.

The studied form is an underfit river valley, where a meander belt of the Brzozówka River (a fluvial segment) from the Late Glacial and Holocene periods occupies only about 300 m (*ca* 10%) of the valley bottom width. A similar situation is observed in other sections of the Biebrza–Narew ice-marginal valley, e.g. in the Wizna Basin (Wawrusiewicz *et al.* 2017).