

# Badania „kopalnego lasu” ze schyłku vistulianu w dolinie Warty (Kotlina Kolska, środkowa Polska)

Piotr Kittel, Joanna Petera-Zganiacz, Danuta Dzieduszyńska, Juliusz Twardy, Marek Krapięć, Szymon Bijak, Karol Bronisz, Michał Zasada, Dominik Płaza

**Abstrakt.** W obrębie osadów późnovistuliańskiej terasy niskiej doliny Warty stwierdzono liczne karpy oraz pnie powalonych drzew, stanowiące przynajmniej w części zachowane *in situ* relikty „kopalnego lasu”. Datowania  $^{14}\text{C}$  pni dowodzą, że odnalezione drzewa rosły na tym terenie w przedziale 12760-11765 lat temu. W sezonach 2010 i 2011 w wykopie o wymiarach 6 x 20 m, udokumentowano ponad 300 fragmentów drzew, a także drobne gałęzie oraz szyszki. Znaleziony materiał pomierzono i pobrano z niego próbki do określenia składu gatunkowego, wymiarów drzew, ich wieku, a także wzajemnych relacji chronologicznych i tempa zamierania lasu. Udokumentowany został także ogólny kontekst geologiczny i osady, w których znajduje się poszczególne fragmenty drewna. Wstępne wyniki wskazują, że w dolinie Warty co najmniej od końcowej części allerödu funkcjonował niewysoki, dość gęsty las sosnowy, który w młodszym dryasie najprawdopodobniej uległ podtopieniu. Dobre zachowanie drewna dowodzi jego szybkiego pogrzebania, przez co zaistniała możliwość podjęcia szczegółowych interdyscyplinarnych badań paleoekologicznych, których efektem winno być dokładniejsze poznanie przemian środowiska naturalnego późnego glacjału w środkowej Polsce.

**Słowa kluczowe:** subfosylne drzewa, okres przejściowy vistulian-holocen, Warta, Polska środkowa

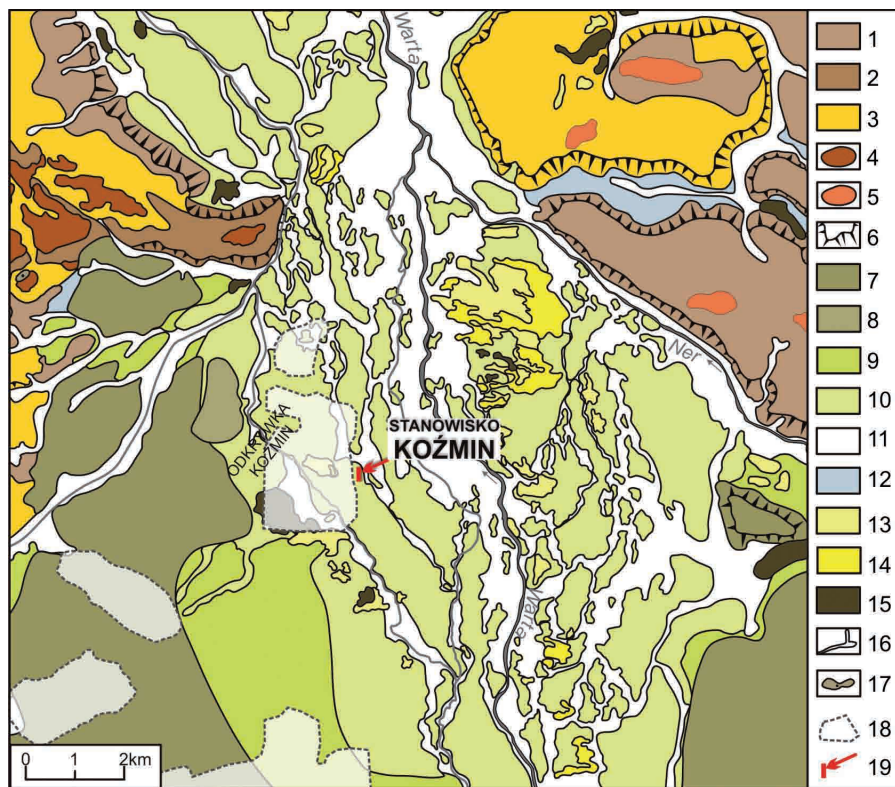
**Abstract.** Within the deposits of the Late Weichselian lower terrace of the Warta River Valley, numerous stumps and collapsed trunks constituting the relict of subfossil forest in the *in situ* position have been found.  $^{14}\text{C}$  dating point to an age range between 12760-11765 cal BP. In 2010 and 2011 in the open pit of 6 x 20 m over 300 tree remnants, branches and cones have been documented. The wood relicts have been measured and sampled in order to describe the species and the tree dimensions, relative chronology and period of decline of trees as well. Besides, the geologic position and lithological characteristics of the units within which the tree remnants were found have been documented. Preliminary results point to the existence of a quite dense though small forest in the Warta River valley from the end of Alleröd at least, which probably in Younger Dryas became water-logged. Good preservation of the wood points to a quick burial and offers an opportunity to carry out interdisciplinary palaeoecological analyses in order to provide the more exact reconstruction of the Late Weichselian environment in central Poland.

**Key words:** subfossil trees, transition Weichselian-Holocene, Warta River, central Poland

## Wstęp

Stanowisko Koźmin zlokalizowane jest w południkowym odcinku doliny Warty, w mezoregionie Kotlina Kolska (Kondracki 2002). W tym obszarze dolina Warty znacznie się rozszerza osiągając

około 8 kilometrów szerokości. Utwory geologiczne wistulianu i holocenu, wśród których dominują osady rzeczne, są przedmiotem badań prowadzonych na obszarze Kopalni Węgla Brunatnego „Adamów” i w jej okolicach od kilkunastu lat. Znaczną część doliny zajmuje późnowistulianańska terasa niska (Ryc. 1). Na powierzchni terasy występuje złożony system nieczynnych, w większości kopalnych, koryt rzecznych trzech generacji: jednej młodszodryasowej i dwóch holocenijskich (Krauzlis 1975; Petera 2002; Turkowska et al. 2004; Forysiak 2005).



**Ryc. 1.** Położenie terenu badań na tle sytuacji geomorfologicznej (wg Forysiaka 2005)

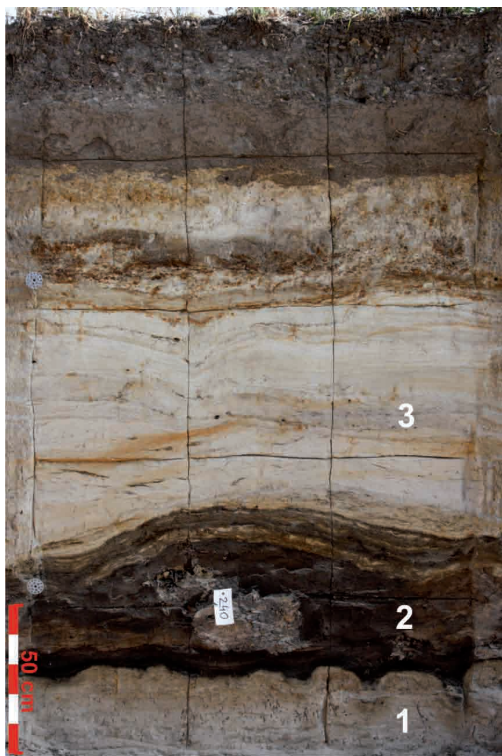
1 – wysoczyzny płaskie, 2 – wysoczyzny pagórkowate, 3 – równiny wodnolodowcowe, 4 – pagórki czołowomorenowe, 5 – kemy, 6 – stoki, 7 – poziom pradolinny niższy, 8 – terasa erozyjna, 9 – terasa wysoka, 10 – terasa niska, 11 – dna dolin, 12 – równiny rozlewiskowe, 13 – pola piasków eolicznych, 14 – wydmy, 15 – torfowiska, 16 – doliny różnej genezy, 17 – zagłębienia bezodpływowe różnej genezy, 18 – obszary eksploatowanych odkrywek oraz obszary poeksploatacyjne, 19 – lokalizacja stanowiska badawczego

*Fig. 1. Location of the investigated area in relation to geomorphological situation (after Forysiak 2005)*

1 – morainic plain, 2 – hummocky morainic plain, 3 – glaciofluvial plain, 4 – end-morainic hillocks, 5 – kames, 6 – slopes, 7 – lower terrace of marginal valley, 8 – erosional terrace, 9 – alluvial high terrace, 10 – alluvial low terrace, 11 – valley floor, 12 – lacustrine plain, 13 – aeolian plain, 14 – dunes, 15 – peatlands, 16 – valleys of various origin, 17 – closed depressions, 18 – post-exploitation areas and outcrops of the Adamów Lignite Mine, 19 – location of the investigated site

W budowie geologicznej terasy niskiej Warty istotny element stanowi seria mułków organicznych z przewarstwieniami torfowymi o miąższości około 0,2-0,5 m, przy czym torfy występują przede wszystkim w spągu tej serii. Strop serii organicznej budują rytmicznie warstwowane mułki organiczne z przewarstwieniami piaszczystymi, a miejscami gytie. Spąg serii zaburzony jest często przez struktury deformacyjne o charakterze pogrążów (Petera 2002). Seria organiczna ma znaczne rozprzestrzenienie, co udokumentowane zostało na ścianach odkrywki oraz ręcznymi sondowaniami geologicznymi. Spąg utworów organicznych w środkowej części obszaru znajduje się na rzędnej od około 93,5 m n.p.m. do około 94,5 m n.p.m. Na wschód i na zachód podnosi się do ponad 95 m n.p.m. (Petera 2002; Petera-Zganiacz, Dzieduszyńska 2007).

Utwory serii organicznej zawierają zasadniczy horyzont odkrytych subfossylnych pni drzew. Seria rozcięta jest miejscami przez paleokoryta wypełnione piaskami. Niejednokrotnie stwierdzane były tkwiące w wypełnieniu paleokoryt pnie drzew, które uległy redepozycji (Turkowska et al. 2004; Petera-Zganiacz, Dzieduszyńska 2007). W podłożu serii organicznej występują piaski, o miąższości około 2-10 m, stanowiące osady kopalnej terasy plenivistuliańskiej (Petera 2002). Utwory organiczne z horyzontem subfossylnych pni przykryte są natomiast przez piaski, zazwyczaj drobnoziarniste (Ryc. 2). Ich cechą charakterystyczną jest znikoma zawartość materii organicznej, występującej najczęściej w postaci wkładek namytego, bardzo drobnego detrytusu roślinnego. Seria ta dochodzi do powierzchni terenu, a jej miąższość wynosi od około 2 do 3 metrów. Przejście od osadów mineralno-organicznych do serii mineralnej jest stopniowe i wyraża się coraz cieńszymi i słabiej wyrażonymi warstewkami mułku z substancją organiczną. W spągu serii także tkwią fragmenty drzew, prawdopodobnie inkorporowane z horyzontu pni (Petera 2002; Turkowska et al. 2004; Petera-Zganiacz, Dzieduszyńska 2007).



**Ryc. 2.** Profil osadów budujących terasę niską Warty (w odkrywce testowej) (Fot. J. Petera-Zganiacz 2011)

1 - fluwialne piaski plenivistuliańskie, 2 - późnovistuliańskie osady organiczne z horyzontem subfossylnych pni, 3 - seria późnovistuliańskich osadów fluwialnych facji pozakorytowej

*Fig. 2. Profile of deposits of the Warta lower terrace (into test pit) (Photo by J. Petera-Zganiacz 2011)*

1 - Pleniweichselian fluvial sands, 2 - Late Weichselian organic deposits with tree subfossil trunk horizon, 3 - Late Weichselian overbank deposits

## Material i metody

Na ścianach odkrywki Koźmin KWB „Adamów” w obrębie serii organicznej położonej około 2 m p.p.t., w osadach terasy niskiej, stwierdzono obecność ciągłego horyzontu subfosylnych pni drzew. Ich rozprzestrzenienie prześledzono na długich, kilkusetmetrowych ścianach odkrywki. Wykonane wstępne datowania radiowęglowe dowiodły późnovistuliańskiego wieku szczątków drewna (Petera-Zganiacz, Dzieduszyńska 2007; Dzieduszyńska et al. 2011). Horyzont subfosylnych pni znajduje się przede wszystkim w stropie torfów oraz w obrębie nakrywających je mulków organicznych. W sezonach 2010 i 2011 przystąpiono do odsłonięcia metodami archeologicznymi szczątków „kopalnego lasu”. Prace prowadzono na powierzchni około jednego ara, w wykopie o wymiarach około 6 m na około 20 m. W jego obrębie zarejestrowanych zostało ponad 300 dobrze zachowanych szczątków drzew. Licznie wystąpiły karpy *in situ* o talerzowym systemie korzeniowym (Ryc. 3). W niższych warstwach serii organicznej ujawniły się powalone pnie sosny z zachowaną częściowo korą. Często kilka obiektów było splątanych korzeniami, niektóre noszą ślady nadłamania przed powaleniem i zagrzebaniem osadami. Powalone pnie drzew mają długość dochodzącą do 4 metrów i stosunkowo niewielką średnicę - do 20 cm. Odkryte zostały także nagromadzenia drobnych gałęzi oraz szyszek.



**Ryc. 3.** Horyzont "kopalnego lasu" odsłonięty metodą archeologiczną w odkrywce testowej (Fot. J. Petera-Zganiacz 2011)

*Fig. 3. Horizon of the subfossil forest excavated using archeological method in the test pit (Photo by J. Petera-Zganiacz 2011)*

Zachowane karpy *in situ* dowodzą, że w badanym stanowisku odkryte zostały relikty „kopalnego lasu” zachowane przynajmniej w części w miejscu jego pierwotnego rozwoju. Drzewa zakorzenione były w osadach organicznych i w podścielających je piaskach. Rosły one w stosunkowo niewielkich odległościach od siebie - nawet około 2 m. Zachowana kora oraz wygięcie pni u nasady

korzeni dowodzi przewracania części drzew jeszcze za życia oraz braku redepozycji. Wystąpiły również obiekty, które należy interpretować jako wykroty. W nakrywających serię organiczną osadach fluwialnych występowały powalone pnie, które niewątpliwie podlegały transportowi, są one bowiem pozbawione kory, rozłupane i częściowo (nawet do połowy przekroju poprzecznego) zniszczone. Zarówno końce tych pni, jak i pozostałości po gałęziach, które z nich odrastały, noszą ślady charakterystycznego zaokrąglenia i wyszlifowania, które może być efektem trąkacji w korytach o piaszczystym lub piaszczysto-żwirowym dnie.

Jednymi z podstawowych celów badań było zrekonstruowanie składu gatunkowego i wieku drzew, okresu oraz tempa i wzajemnych relacji ich zamierania, a także określenie warunków, które doprowadziły do zaniku lasu. W badaniach zastosowano metody dendrologiczne, zwłaszcza dendrochronologiczne oraz paleoekologiczne. Zbadano szczegółowo sytuację geologiczną zalegania szczątków. Przeprowadzono interpretacje paleogeograficzne. Dotychczas określono wzór przyrostowy ponad 80 fragmentów drewna, z których kilkanaście posiada słoje podkorowy. Wykonano wstępne analizy pyłkowe oraz kopalnych wiślarek (*Cladocera*) dla rdzenia osadów organicznych. Wydatowano metodą radiowęglową cztery pnie drzew oraz 10 próbek osadów organicznych. Badania geologiczne objęły szczegółowe analizy strukturalne, teksturalne i geochemiczne osadów organicznych i mineralnych.

## Wyniki i dyskusja

W zestawie 91 próbek drewna wszystkie, na podstawie cech anatomicznych, oznaczono do poziomu rodzaju *Pinus*, a 46 z nich - do gatunku *Pinus sylvestris* L. W zgromadzonym materiale zaobserwowano także pojedyncze szczątki brzozy oraz nierozpoznanego drzewa liściastego. Przeprowadzone dotychczas analizy dendrochronologiczne wskazują, iż zdecydowana większość drzew była w momencie obumarcia stosunkowo młoda i liczyła od 30 do 70 lat, pojedyncze osobniki były ponad stuletnie. Datowanie względne najbardziej zbieżnych sekwencji przyrostów rocznych pozwoliło na zestawienie krzywej średniej liczącej ponad 100 lat i ustalenie, że powalenie sosen nie było jednorazowym aktem, lecz odbywało się sukcesywnie w ciągu kilku dziesięcioleci.

Analizy pyłkowe wykazały, że akumulacja serii organicznej w tym sędentacja torfów miała miejsce u schyłku allerödu oraz w młodszym dryasie (Forysiak et al. 1999; Turkowska et al. 2004). Wyniki datowań radiowęglowych utworów budujących serię organiczną dały zbieżne rezultaty w zakresie od 10 870 ± 170 BP (Lod 699; 13 150-12 430 BP prob. 95,4 %, 12 935 - 12 600 BP prob. 68,2%) do 9780 ± 110 BP (MKL 1077; 11 605-10 765 BP prob. 95,4 %, 11 335 - 10 875 BP prob. 68,2%). Starsze daty uzyskano ze spągowych partii serii organicznej i ze stanowisk położonych na niższej rzędnej, młodsze - z partii stropowych (Peters-Zganiacz, Dzieduszyńska 2007). Wykonane dotychczas datowania metodą <sup>14</sup>C czterech pni dały dość zbliżone wyniki (tab. 1). Uzyskane wyniki odpowiadają datowaniom spągowych warstw serii organicznej, co oznacza, że las, którego relikty odkryto był współczesny lub niemal współczesny rozwijającemu się tam u schyłku allerödu oraz w młodszym dryasie torfowisku.

**Tab. 1.** Zestawienie pierwszych wyników datowań pni

Table 1. First datings of subfossil stumps

Wiek conv. <sup>14</sup> C	Wiek cal. <sup>14</sup> C prob. 68,2%	Wiek cal. <sup>14</sup> C prob. 95,4%	Numer laboratoryjny
10 310 ± 90 BP	12 381 - 11 983 BP	12 518 - 11 765 BP	Lod 1402
10 660 ± 50 BP	12 635 - 12 559 BP	12 709 - 12 449 BP	MKL 1070
10 710 ± 50 BP	12 661 - 12 577 BP	12 724 - 12 552 BP	MKL 1071
10 730 ± 60 BP	12 678 - 12 580 BP	12 762 - 12 551 BP	MKL 1072

Kalibrację datowań radiowęglowych wykonano z zastosowaniem programu OxCal 4.1 i krzywej kalibracyjnej IntCal 09 (Bronk Ramsey 2009)

Rekonstrukcja warunków paleogeograficznych funkcjonowania i degradacji lasu, bazująca na dotychczasowych wynikach datowań oraz analizach paleoekologicznych, dowodzi, że u schyłku allerödu (faza sosnowa, wilgotna i chłodna) w dolinie Warty w rejonie Koźmina pojawiło się płytkie rozlewisko, które okresowo przekształcało się w torfowisko. Różnice położenia rzędnej spągu oraz uzyskane daty radiowęglowe wskazują, że materia organiczna (w tym sedentacja torfu) nie zaczęła gromadzić się równocześnie na całym obszarze, jednak na początku młodszego dryasu osady organiczne stanowiły już ciągłą pokrywę. Brak wyraźnych przewarstwień mineralnych w osadzie świadczy o pozostawaniu obszaru poza zasięgiem działalności fluwialnej.

W czasie tworzenia się spągowej partii serii organicznej, związanej częściowo z funkcjonowaniem torfowiska, w dolinie Warty rozwijał się niewysoki, dość gęsty las sosnowy z domieszką brzozy. Las ten mógł istnieć jeszcze przed akumulacją tej serii, prawdopodobnie najpóźniej w końcu allerödu. Jego ewentualne trwanie w młodszym dryasie odbiega od rekonstruowanego na ogół rozrzedzania zbiorowisk leśnych w tym okresie (Wasylikowa 1964, 1999-2001; Ralska-Jasiewiczowa et al. 1998) i może wynikać z warunków lokalnych.

Pojawienie się w młodszym okresie gytii i mułków organicznych, przeważnie w miejscach obniżen stropu serii organicznej, jest świadectwem zmiany warunków hydrologicznych, które doprowadziły do podtopienia funkcjonującego zbiorowiska i powstania zbiorników wody stojącej. Znajduje to potwierdzenie w wynikach analiz palinologicznych, stwierdzających obecność roślinności wód stagnujących oraz roślinności szuwarowej, a także ekspertyzie kopalnych wioślarek (*Cladocera*) (D. Pawłowski - niepublikowane). Wyniki analizy palinologicznej wskazują również na zaostrzenie się warunków klimatycznych, co wiążane jest z ochłodzeniem młodszego dryasu (Turkowska et al 2004). Destrukcja lasu (tj. jego powalenie) nastąpiła przed depozycją powodziowych rytmicznie warstwowanych osadów organiczno-mineralnych, na co wskazuje równomierne przykrycie szczątków drzew kolejnymi warstwami. Do powalenia części drzew mógł się przyczynić silny wiatr, na co wskazuje równoległy układ pni w południowo-zachodniej partii wykopu. W świetle badań dendrochronologicznych należy podkreślić, że destrukcja lasu nastąpiła w okresie nie dłuższym niż kilkanaście - kilkadziesiąt lat.

Przyczyną zmiany warunków hydrologicznych w dolinie Warty w młodszym dryasie mogła być reaktywacja wieloletniej zmarzliny, na co może wskazywać obecność struktur typu *flat-bottomed* (Petera 2002). Pogrzeźnięcie osadu o mniejszej gęstości (torf, mulki organiczne) w osad o większej gęstości (piasek), musiało wymagać przesycenia wodą serii piaszczystej, a takie warunki panują w warstwie czynnej zmarzliny (Vandenberghe 1988; Kasse 1999; Swanson et al. 1999). Należy liczyć się z istnieniem nieciągłego lub wyspowego permafrostu (Kozarski 1993; Goździk 1995) lub wyłącznie sezonowym głębokim przemarzaniem gruntu (Klatkova 1996). Powstawanie struktur kropłowych, w tym typu *flat-bottomed* łączone też bywa z okresem wytapiania się wieloletniej zmarzliny (Superson et al. 2010).

Nie można wykluczyć rozwoju badanej formacji leśnej na przemarzniętym podłożu. Degradacja wieloletniej zmarzliny doprowadziła zaś do zmniejszenia stateczności podłoża, zachwiania równowagi drzew i ich przewracania, także przy udziale wiatru. Mogą tego dowodzić: obecność w podłożu struktur związanych z powalaniem (tzw. wykroty), powalenie drzew żywych (zachowanie kory), wygięcie części pni u nasady, powtarzalność kierunków powalen pni w spągowych warstwach. Pomiędzy pniami grubszych drzew lub ich większymi nagromadzeniami, w warstwowanych i laminowanych osadach organicznych zaznaczają się struktury sedymentacyjne o charakterze pogrążów, „kieszeni” i płytkich bruzd. Ich amplituda sięga od kilkunastu do kilkadziesiątu centymetrów. W ich obrębie następuje zerwanie ciągłości warstw lub są to struktury typu podatnego, gdzie do przerwania warstwy nie doszło. Wstępnie są one interpretowane jako ślady osiadania osadów pokrywających przewrócone pnie i/lub ślady inicjalnej, słabej erozji w obrębie rozlewiska. W młodszym okresie część pni podlegała redepozycji i obróbcie w środowisku fluwialnym, w zasięgu

którego ponownie znalazł się badany obszar. Depozycja nakrywających serię organiczną osadów mułkowo-piaszczystych facji pozakorytowej oraz rozwój systemu koryt związane były z ekspansją środowiska fluwialnego. Doszło do utworzenia się wielokorytowego systemu Warty (Turkowska et al. 2000, 2004; Petera, Forysiak 2002, 2004).

## Perspektywy badawcze

Jedynie znane dotychczas stanowisko, w którym odkryto subfosylne pnie drzew *in situ* ze schyłku wistulianu, znajduje się w okolicach Cottbus we wschodnich Niemczech. Pnie były tam jednak słabo zachowane, choć udało się uzyskać niemal 300-letnią chronologię przyrostów rocznych sosny. Wśród szczątków dominuje właśnie sosna z niewielkim udziałem drzew liściastych brzozy oraz topoli, wierzby i olszy (Friedrich et al. 1999, 2001; Spurk et al. 1999).

Badane stanowisko Koźmin jest unikalne w skali kraju, jak i w skali Europy, ze względu na obecność subfosylnych relikwów drzew w pozycji *in situ*. Wartość stanowiska podnosi obecność dobrze zachowanych szczątków drewna oraz osadów organicznych, których depozycja była częściowo synchroniczna z funkcjonowaniem lasu, co pozwala na przeprowadzenie nie tylko badań dendrochronologicznych, ale też na poznanie kontekstu środowiskowego poprzez podjęcie szczegółowych i wielowskaźnikowych badań paleoekologicznych. Stanowisko potencjalnie może pozwolić na rekonstrukcję specyfiki środowiska naturalnego w okresie przejściowym plejstocenu na obszarach staroglacjalnych Polski środkowej na podstawie wydarzeń, które miały miejsce w ekosystemie doliny rzecznej. Ważną rolę odegrają tutaj analizy paleoekologiczne o wysokiej rozdzielczości, a także analizy pozostałości drzew: dendrologiczne, dendrometryczne, dendroekologiczne i dendrochronologiczne. Zachowane w bardzo dobrym stanie szczątki drzew dają możliwość oznaczeń izotopowych pomocnych dla uszczegółowienia krzywych kalibracyjnych.

Dotychczasowe wyniki badań dowodzą, że w dnie doliny Warty najpóźniej w końcu allerödu rozwijał się niewysoki, dość gęsty las sosnowy z niewielką domieszką brzozy. Mógł on istnieć jeszcze w młodszym dryasie. Okres jego funkcjonowania jest synchroniczny z czasem rozwoju torfowiska. Zmiany środowiskowe polegające na podniesieniu poziomu wód gruntowych i powstaniu (okresowych?) płytkich zbiorników wodnych, związany być może z zanikiem wieloletniej zmarzliny, doprowadziły do podtopienia drzew i zaniku lasu maksymalnie w ciągu kilkudziesięciu lat. Istotną rolę w bezpośrednim powaleniu drzew odegrał jak się wydaje wiatr. Procesy te miały miejsce u schyłku wistulianu. Część pni podlegała redepozycji w warunkach środowiska fluwialnego na przełomie wistulianu i holocenu.

## Podziękowania

Projekt finansowany jest ze środków Narodowego Centrum Nauki — grant nr N N306 788240. Wydatną pomoc uzyskano również ze strony Kopalni Węgla Brunatnego „Adamów” oraz Urzędu Gminy w Brudzewie.

## Literatura

- Bronk Ramsey C. 2009. *Bayesian analysis of radiocarbon dates*, Radiocarbon 51(1): 337-360.
- Dzieduszyńska D., Petera-Zganiacz J., Krapiec M. 2011. *The age of the subfossil trunk horizon in deposits of the Warta River valley (Central Poland) based on 14C dating*. Geochronometria 38: 334-340. DOI 10.2478/s13386-011-0019-4.
- Forysiak J. 2005. *Rozwój doliny Warty między Burzeninem i Dobrowem po zlodowaceniu warty*. Acta Geogr. Lodz. 90: 1-116.
- Forysiak J., Miotk-Szpiganowicz G., Petera J. 1999. *Geologic setting and palynologic examination of the Vistulian sediments at Koźmin near Turek, Central Poland*. Kwartalnik Geologiczny 43 (1): 85-98.
- Friedrich M., Kromer B., Spurk M., Hofmann J., Kaiser K. F. 1999. *Paleo-environment and radiocarbon calibration as derived from Lateglacial/Early Holocene tree-ring chronologies*. Quaternary

International 61: 27-39.

- Friedrich M., Kromer B., Kaiser K. F., Spurk M., Hughen K. A., Johnsen S. J. 2001. *High resolution climate signals in the Bolling-Allerød Interstadial (Greenland Interstadial 1) as reflected in European tree-ring chronologies compared to marine varves and ice-core records*. Quaternary Science Reviews 20: 1223-1232.
- Goździk J. 1995. *A permafrost evolution and its impact on some depositional conditions between 20 and 10 ka in Poland*. Biul. Perygl. 34: 53-72.
- Kasse C. 1999. *Can involutions be used as palaeotemperature indicators?* Biul. Perygl., 38: 95-110.
- Klatkowska H., 1996. *Symptoms of the permafrost presence in Middle Poland during the last 150 000 years*. Biul. Perygl., 35: 45-86.
- Kondracki J. 2002. *Geografia regionalna Polski*. PWN, Warszawa.
- Kozarski S. 1993. *Late Vistulian deglaciation and the expansion of the periglacial zone in NW Poland*. Geol. Mijnbouw, 72: 143-157.
- Krauzlis K. 1975. *Wpływ młodoczwartorzędowych ruchów tektonicznych na morfologię i budowę wewnętrzną tarasów Warty środkowej*. (W:) Współczesne i neotektoniczne ruchy skorupy ziemskiej w Polsce, t. I, Materiały I Krajowego Sympozjum, Warszawa. 239-253.
- Petera J. 2002. *Vistuliańskie osady dolinne w basenie uniejowskim i ich wymowa paleogeograficzna*. Acta Geogr. Lodz. 83.
- Petera J., Forsyśkiak J. 2002. *Późnovistuliański i holoceniński system wielokorytowy w dolinie Warty*. W: Materiały: Konferencja „Transformacja systemów fluwialnych i stokowych w późnym vistulianie i holocenie” Łódź-Uniejów 25. 27 września 2002: 47-57.
- Petera J., Forsyśkiak J. 2004. *Holocenińska ewolucja systemu wielokorytowego Warty w okolicach Koźmina*. Acta Geogr. Lodz. 88: 27-40.
- Petera-Zganiacz J., Dzieduszyńska D. 2007. *Wymowa paleogeograficzna horyzontu kopalnych pni w osadach późnego vistulianu*. Acta Geographica Lodziensia 93: 57-66.
- Ralska-Jasiewiczowa M., Goslar T., Madeyska T., Starkel L., 1998. *Lake Gościąg, Central Poland. A monographic study*. Szafer Institute of Botany Polish Academy of Science: 1-340.
- Superson J., Gębica P., Brzezińska-Wójcik T. 2010. *The Origin of Deformation Structures in Periglacial Fluvial Sediments of the Wistok Valley, Southeast Poland*. Permafrost and Periglac. Process. 21: 301-314. DOI: 10.1002/ppp.691
- Spurk M., Kromer B., Peschke P. 1999. *Dendrochronologische, palynologische und Radiocarbon-Untersuchungen eines Waldes aus der Jungeren Tundrenzeit*. Quartar 49/50: 34-38.
- Turkowska K., Petera J., Forsyśkiak J., Miotk-Szpiganowicz G. 2000. *Morfogeneza powierzchni Kotliny Kolskiej w okolicach Koźmina*. Acta. Geogr. Lodz. 78: 89-134.
- Turkowska K., Forsyśkiak J., Petera J., Miotk-Szpiganowicz G. 2004. *A Warta River system during the Younger Dryas in the Koto Basin (Middle Poland)*. Questiones Geographicae 23: 23-107
- Swanson D., Ping Ch-L., Michaelson G. J. 1999. *Diapirism in soils due to thaw of ice rich material near the permafrost table*. Permafrost and Periglac. Processes 10: 349-367.
- Vandenberghe J. 1988. *Cryoturbations*. W: M. J. Clark. (ed.). *Advances in Periglacial Geomorphology*. Wiley, Chichester. 179-198.
- Wasylikowa K. 1964. *Roślinność i klimat późnego glacjału w środkowej Polsce na podstawie badań w Witowie koło Łęczycy*. Biul. Perygl. 13: 261-376.
- Wasylikowa K. 1999-2001. *Przemiany roślinności jako odbicie procesów wydymotwórczych i osadniczych w młodszym dryasie i holocenie na stanowisku archeologicznym w Witowie koło Łęczycy*. Pr. Mat. Muzeum Arch. i Etnogr. w Łodzi, Ser. Arch. 41: 43-79.

**Piotr Kittel<sup>1\*</sup>, Joanna Petera-Zganiacz<sup>1</sup>, Danuta Dzieduszyńska<sup>1</sup>, Juliusz Twardy<sup>1</sup>, Marek Krapiec<sup>2</sup>, Szymon Bijak<sup>3</sup>, Karol Bronisz<sup>3</sup>, Michał Zasada<sup>3</sup>, Dominik Piąza<sup>4</sup>**

\*pkittel@geo.uni.lodz.pl;

<sup>1</sup>Katedra Badań Czwartorzędu, Wydział Nauk Geograficznych, Uniwersytet Łódzki

<sup>2</sup>Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza

<sup>3</sup>Samodzielny Zakład Dendrometrii i Nauki o Produkcyjności Lasu, Wydział Leśny, SGGW

<sup>4</sup>Muzeum Archeologiczne i Etnograficzne w Łodzi