

**PALINOKOMPLEKS POŁUDNIOWOPOLSKI JAKO  
DŁUGOTRWAŁY ZAPIS RÓŻNOSKALOWYCH ZMIAN KLIMATYCZNYCH  
WE WCZESNO-ŚRODKOWOPLEJSTOCENSKIM PRZEJŚCIU (MIS 22–13)**

**South-Polish palinocomplex as longstanding record of different scale climatic changes  
at the early Pleistocene transition (MIS 22–13)**

HANNA WINTER\*

**Zarys treści.** W artykule przedstawiono wydzielony, na podstawie danych palinologicznych wspartych badaniami paleomagnetycznymi i geologicznymi, palinokompleks południowopolski będący ekwiwalentem w ujęciu palinologicznym kompleksu południowopolskiego. Kompleks zawiera trzy sekwencje pyłkowe: augustowską, domuratowską i ferdynandowską z policyklicznym zapisem zmian roślinności. Zapis ten pozwala na rekonstrukcję wysokoamplitutowych zmian klimatycznych rangi glacjał/ozieźbienie/glacjał i niskoamplitudowych interstadiał/stadiał oscylacji i fluktuacji klimatycznych zachodzących zarówno w interglacjałach, jak i okresach zimnych. Na podstawie danych paleomagnetycznych oraz zmian roślinności i klimatu uznano, że sukcesję augustowską należy korelować z MIS 21–19, domuratowską z MIS 17, a ferdynandowską z MIS 15–13.

**Słowa kluczowe:** palinologia, MIS 22–13, zmiany roślinności i klimatu

**Abstract.** The South-Polish pollen complex, being an equivalent of the South-Polish complex in relation to its pollen content, was distinguished based on pollen data coupled with palaeomagnetic and geological investigations. The complex contains the Augustovian, Domuratovian and Ferdynandovian pollen sequences with a multicycle record of vegetation changes. The record of vegetation changes allows for the reconstruction of high-amplitude climate changes of a glacial/cooling/glacial rank and low-amplitude changes such as interstadial/stadial oscillations and climate fluctuations taking place both during interglacials and cool intervals. Based on palaeomagnetic data, vegetation and climate changes, the Augustovian succession should be correlated with MIS 21–19, the Domuratovian succession – with MIS 17, and the Ferdynandovian succession – with MIS 15–13.

**Key words:** palynology, MIS 22–13, vegetation and climatic changes

## Wstęp

W ujęciu litostratygraficznym pojęcie kompleksu obejmuje zespół różnego typu i znacznej miąższości warstw skalnych o wspólnych cechach ujętych w regionalną jednostkę litostratygraficzną. W schemacie stratygraficznym plejstocenu Polski zostały wyróżnione cztery kompleksy: preglacjałny, południowopolski, środkowopolski i północnopolski (Ber i in. 2007), zawierające jednostki klimatostratygraficzne różnorodnej rangi: glacjał/interglacjał, ocieplenie/ochłodzenie, stadiał/interstadiał i interfaza/faza, wyrażone między innymi zapisem palinologicznym o różnorodnym charakterze: długich sekwencji pyłkowych, sekwencji interglacjałnych w ujęciu klasycznym (Janczyk-Kopi-

kowa 1987), poziomów osadów glacjałnych i fluwioglacjałnych oraz jednostek geomorfologicznych w ujęciu morfostratygraficznym.

W przypadku zapisu palinologicznego ciepłych jednostek plejstocenu można również wyróżnić wspólne cechy flory pyłkowej i podobieństwa w przebiegu sukcesji pyłkowych pozwalające na ich zgrupowanie w określone wiekowo zespoły – palinokompleksy będące odpowiednikiem kompleksów w ujęciu geologicznym. Już wcześniej autorka sugerowała wyodrębnienie czterech palinokompleksów: preglacjałnego, południowopolskiego, środkowopolskiego i północnopolskiego (Winter 2010), odpowiadających kompleksom wyróżnionym w podziale stratygraficznym plejstocenu Polski (Ber i in. 2007). Każdy z palinokompleksów ma swoisty zapis

\* ul. Puławska 109b m. 139; Warszawa; e-mail: hwin1@o2.pl

palinologiczny i klimatyczny, ale ich usytuowanie w podziale stratygraficznym plejstocenu Polski jest określone sytuacją geologiczną osadów zawierających ich zapis, wynikami badań magnetostratygraficznych oraz datowaniami wieku bezwzględnego.

Dzisiaj zapis palinologiczny najstarszego palinokompleksu preglacialnego jest fragmentaryczny i słabo rozpoznany ze względu na rzeczony charakter osadów, w jakich go dokumentowano (Winter 2015). Precyzyjniej można scharakteryzować kompleks południowopolski, pomimo braku danych z całego obszaru Polski. Szczegółowe badania palinologiczne poparte analizą makroszczątków roślinnych, okrzemek i malakofauny umożliwiły rekonstrukcję zmian roślinności, środowisk oraz odtworzenie wielko-

amplitudowych zmian klimatu i uchwycenie oscylacji klimatycznych w ciepłych jednostkach kompleksu południowopolskiego (MIS 21–13). Porównanie uzyskanych danych palinologicznych oraz uwzględnienie wyników badań paleomagnetycznych pozwoliło na wyróżnienie trzech długotrwałych sekwencji zmian roślinności i klimatu. Istniejące między tymi sekwencjami podobieństwa dają możliwość połączenia ich w jeden palinokompleks południowopolski.

Celem artykułu jest przedstawienie, na podstawie zapisu palinologicznego uzyskanego z profili zlokalizowanych we wschodniej Polsce (rys. 1), zmian roślinności, jak również odtworzenie zmian klimatycznych kompleksu południowopolskiego, w czasie późnego dolnego i środkowego plejstocenu.



Rys. 1. Mapa lokalizacyjna wybranych stanowisk kompleksu południowopolskiego

Location map of selected sites of the South-Polish palinocomplex

## Materiały i metoda

Podstawą charakterystyki palinokompleksu południowopolskiego jest dokumentacja palinologiczna zebrana z wielu wierceń opracowanych metodą analizy pyłkowej. Uzyskanie danych było, w dużej mierze, możliwe dzięki realizacji arkuszy Szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1:50 000 oraz grantów przyznanych przez KBN pozwalających na wykonanie wierceń badawczych i wysokorozdzielczych badań metodą analizy pyłkowej. Charakterystyka zmian roślinności i klima-

tu w interglacjalach: augustowskim – profile Szczebra i Sucha Wieś (Janczyk-Kopikowa 1996, 2009) oraz Kalejty, Żarnowo, Czarnucha (Winter 2001, 2008, 2009) i domuratowskim – profile Domuraty (Winter, Lisicki 2005; Winter i in. 2008), Leszczany, Gawrych Ruda, pomimo zapisu w osadach rzeczno-jeziornych, jest powtarzalna w różnych profilach. Uzyskanie sekwencji pyłkowych o bardzo zbliżonym, a nawet takim samym przebiegiem zmian florystycznych różnej rangi pozwoliło na odniesienie ich do globalnego cyklu zmian klimatycznych. Dało również możliwość

korelacji ze zmianami klimatu zapisanymi w rdzeniach głębokomorskich.

Zapis palinologiczny i korelacje chronostratygraficzne interglacjału ferdynandowskiego znane były znacznie wcześniej (Janczyk-Kopikowa 1975, 1991; Janczyk-Kopikowa i in. 1980), ale wysoko-rozdzielcze badania osadów z nawierconych powtórnie osadów ze stanowisk Łuków i Ferdynandów wniosły nowe dane (Pidek 2003, 2015; Pidek, Małek 2010; Stachowicz-Rybka i in. 2017).

Z powodu znaczącej miąższości osadów kompleksu południowopolskiego (Ber 1996, 2000; Rzechowski 1996; Lisicki, Winter 2004; Winter i in. 2008; Ber i in. 2009; Stachowicz-Rybka i in. 2017), a także istniejących nieciągłości w sekwencjach pyłkowych istotne było szczegółowe opracowanie profili z pełnym zapisem palinologicznym. Tak więc uzyskanie odpowiednich profili wiertniczych pozwoliło na precyzyjną rekonstrukcję zmian roślinności na przestrzeni około 500 ka (od około 1000 ka do 500 ka), a na ich bazie zmian i oscylacji klimatu (tab. 1).

## Charakterystyka palinokompleksu południowopolskiego

Palinokompleks południowopolski obejmuje trzy długie sukcesje pyłkowe z długotrwałym zapisem zmian i oscylacji klimatycznych: augustowską, domuratowską i ferdynandowską.

### Sukcesja augustowska

Sukcesja augustowska (Janczyk-Kopikowa 1996, 2009; Winter 2001, 2008, 2009; Khursevich i in. 2005) (rys. 2) zawiera zapis palinologiczny dwóch okresów ciepłych A-I i A-II w randze interglacjałów (Winter 2007). Starszy cechuje niestabilność klimatu udokumentowana dwukrotnym pojawieniem się chłodnych oscylacji klimatycznych wyrażonych spadkiem udziału dębu, wiązu, leszczyny i lipy oraz wzrostem wartości NAP i brzozy, a następnie sosny i świerka oraz częściowo modrzewia (Winter 2008).

Optimum termiczne interglacjału A-I wyróżnia stabilność warunków klimatycznych wyrażona rozwojem lasów szerokolistnych z dębem, wiązem, lipą i leszczyną zapisanych w osadach profili Żarnowo (Winter 2008) (rys. 2), Kalejty (Winter 2001) i Janówka (rys. 3). Klimat był już na tyle łagodny, że pojawił się bluszcz (*Hedera*) i winorośl (*Vitis*). Rozprzestrzenienie się świerka i zanik taksonów ciepłolubnych dokumentuje silne ochłodzenie postępujące wraz z ekspansją

sosny i brzozy. Okres względnie stabilnych warunków klimatycznych był prawdopodobnie długotrwały, ale cykliczne zanikanie i pojawianie się pyłku dębu, w mniejszym stopniu wiązu i leszczyny oraz ligustru wskazuje na występowanie niskoamplitudowych, krótkotrwałych i ciepłych oscylacji klimatycznych. W okresie chłodnym dzielącym interglacjał AI i AII pojawia się zapis ciepłej fluktuacji klimatu wyrażonej rozprzestrzenieniem się dębu, wiązu, lipy i leszczyny oraz olszy, a następnie świerka.

Młodszy interglacjał sukcesji augustowskiej AII ma wprawdzie bardziej stabilny charakter niż interglacjał A-I, a przebieg sukcesji pyłkowej jest charakterystyczny dla typowego interglacjału, lecz również widoczna jest oscylacja klimatyczna związana ze zmniejszoną wilgotnością, a wyrażona spadkiem udziału olszy oraz ekspansją początkowo wiązu, a następnie sosny w czasie optimum klimatycznego. U schyłku interglacjału A-II wyraźnie zaznacza się spadek graba, dębu i olszy, jak również leszczyny i wzrost udziału pyłku brzozy, sosny i roślin zielnych wskazujący na zmiany w zbiorowiskach roślinnych. Nastąpiło przeobrażenie lasów oraz zdecydowane otwarcie krajobrazu związane z ochłodzeniem i zwiększoną kontynentalizacją klimatu. Po tej chłodnej oscylacji warunki klimatyczne uległy polepszeniu i nastąpił powrót drzew o wyższych wymaganiach klimatycznych, chociaż już z ich niewielkim udziałem.

W okresie silnego pointerglacialnego ochłodzenia w zapisie zmian klimatycznych sukcesji augustowskiej pojawia się ciepła oscylacja klimatyczna wyrażona wzrostem wartości pyłku sosny, świerka, a nawet wiązu i dębu.

### Sukcesja domuratowska

Zapis sukcesji domuratowskiej pojawia się w co najmniej trzech profilach: Domuraty (Lisicki, Winter 2004; Winter, Lisicki 2005; Winter i in. 2008), Leszczany i Gawrych Ruda, ale w żadnym nie ma pełnego zapisu sukcesji domuratowskiej. Dane osadów ze stanowisk: Domuraty i Domuraty 2 (Nieznany Bór) wskazują trójdzielność sukcesji domuratowskiej. Zapis palinologiczny najstarszego ciepłego okresu w profilu Domuraty Do-I, z niskim udziałem drzew o wyższych wymaganiach termicznych, może sugerować niezbyt ciepły charakter tej oscylacji klimatycznej (Winter, Lisicki 2005; Winter i in. 2008), ale niewykluczone jest występowanie luki sedymentacyjnej i brak osadów dokumentujących cieplejsze warunki klimatyczne.

Tabela 1

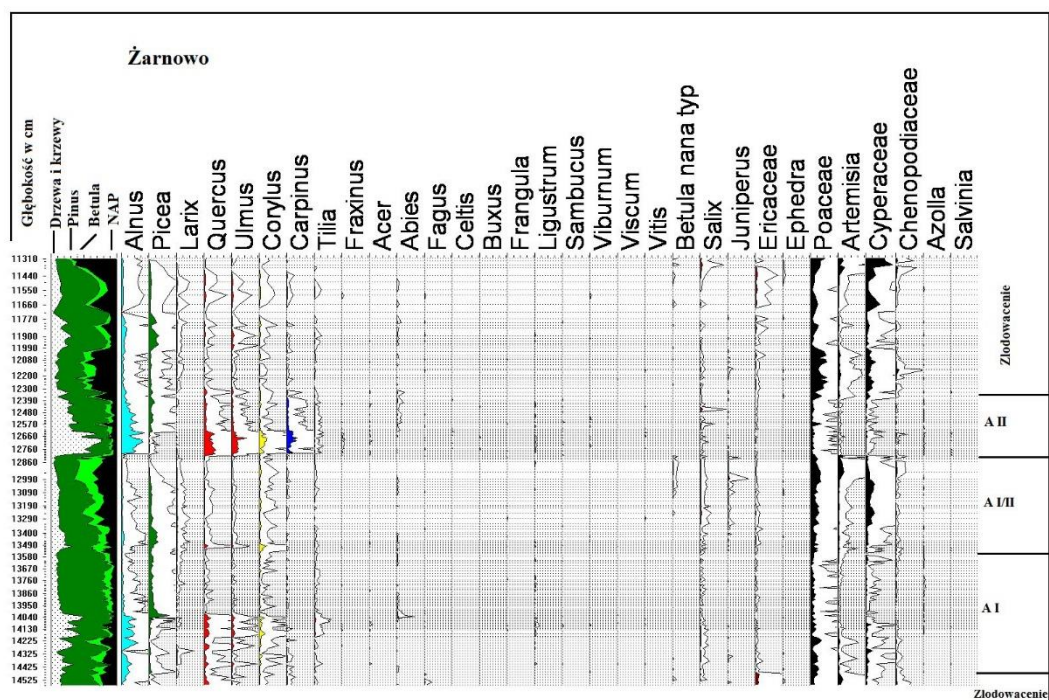
Tabela korelacyjna magnetostratygrafii, palinostratygrafii, zmian klimatu i roślinności kompleksu południowopolskiego  
 Correlation table of magnetostratigraphy, palinostratigraphy, climatic and vegetation changes of the South-Polish palinocomplex

Magnetostratygrafia <i>Magnetostratigraphy</i>	MIS	Palinostratygrafia <i>Palinostratigraphy</i>	Roślinność <i>Vegetation</i>	Klimat <i>Climate</i>	
Bruhnes	13	F2 Interglacjał ferdynandowski	Rozwój lasów brzoźowych z rosnącym udziałem sosny. Ekspansja dębu, wiązu i leszczyny, a następnie gwałtowne rozprzestrzenienie się olszy i graba drzew dominujących w lasach. Zmiany w lasach wyrażone są wycyfywaniem się graba, olszy, dębu, leszczyny i wkraczaniem świerka wraz z jodłą, a ostatecznie w bory sosnowe.	Klimat umiarkowany, z wyraźną sezonowością, ciepłymi zimami i niezbyt ostrymi zimami.	
	14	F1/2	Rozwój różnorodnych zbiorowisk roślinnych stepowych i tundrowych związanych z otwarciem krajobrazu i luźnych zbiorowisk brzoźowych i sosnowo-brzoźowych w rytm zmian klimatycznych. Znacząca zmiana roślinności na początku ochłodzenia wyrażona utworzeniem się lasów sosnowo-dębowych z udziałem świerka i brzozy i domieszką wiązu, olszy, lipy i leszczyny.	Warunki klimatyczne zmienne: od umiarkowanych, umiarkowanie zimnych z silną sezonowością do subarktycznych. Silne wpływy klimatu kontynentalnego.	
	15	F1	Rozwój lasów brzoźowych z wkraczającą sosną rozpoczyna sekwencję. W nieustabilizowane borealne ekspanduje dąb, wiąz, lipa i wiązowiec ( <i>Celtis</i> ). Leszczyna wchodzi w skład lasów mezofilnych, ale mogła tworzyć samodzielne zbiorowiska. Dochodzi do powstania lasów łęgowych z olszą, jesionem. Po okresie stabilizacji ciepłolubne lasy liściaste ulegają przeobrażeniu w lasy mieszane z niskim udziałem leszczyny wzbogacone początkowo o cisa ( <i>Taxus</i> ), a później świerk i jodłę. Na koniec rozwijają się lasy sosnowe z brzozą.	Klimat umiarkowany ciepły, stopniowo przechodzący w umiarkowany o znaczącej sezonowości i zwiększonej wilgotności.	
	16	Okres zimny	Początek okresu zimnego to zanik zbiorowisk leśnych i ekspansja różnorodnych zbiorowisk otwartych związanych ze stepem i tundra.	Klimat subarktyczny.	
	17.1	Do III	W fazie początkowej panowanie luźnych zbiorowisk leśnych z sosną i brzozą, które przeobrażają się w lasy ze znaczącym udziałem dębu. Po wycyfanu się dębu następu-	Początkowo klimat umiarkowany chłodny, później przechodzący w klimat umiarkowany ciepły z ciepłymi i su-	
	17				
	Kompleks południowopolski				

			<p>je przebudowa zbiorowisk leśnych, w których dominuje sosna. Powtórna inwazja dębu świadczy o ponownym uformowaniu się lasów dębowych z rosnącym udziałem klonu, orzecha (<i>Juglans</i>), śliwy (<i>Prunus</i>) i graba. Z uformowaniem się łęgów należy wiązać obecność olchy i jesionu. Wkroczenie sosny i rozprzestrzenienie się zbiorowisk zielnych z udziałem wiechlinowatych i turzycowatych poprzedza uformowanie się lasu borealnego z sosną, modrzewiem i świerkiem wraz z brzozą.</p>	<p>chymi latami i łagodnymi zimą, ale ze znacznymi wpływami kontynentalnymi. Zmiana warunków klimatycznych wyrażona jest spadkiem temperatur i wzrostem wilgotności.</p>
17.2	Do II/III		<p>Różnorodne zbiorowiska stepo-tundrowe ze zmiennym udziałem brzozy i jałowca.</p>	<p>Warunki klimatyczne surowe, ostre zimy i chłodne lata, z osycłajami klimatu umiarkowanie chłodnego. Pod koniec wzrost kontynentalizacji.</p>
17.3	Do II		<p>Rozwój lasów sosnowych w fazie początkowej. Stopniowe rozprzestrzenianie się dębu, wiązu, lipy i leszczyny, a także jesionu i klonu. Olsza zaczyna wypierać wiąz, a grab ze świerkiem dąb wskazując na przeobrażenie lasów mieszańnych. Występuje ligustr, kalina i bez. W zbiorniku wodnym rośnie kotewka i azolla.</p>	<p>Klimat umiarkowany z ciepłymi, stabilnymi latami i chłodnymi zimą. Pod koniec przechodzi w klimat umiarkowanie chłodny, wilgotny o znaczącej sezonowości.</p>
17.4	Do I/II		<p>Panowanie zbiorowisk otwartych z przewagą wiechlinowatych wraz z turzycowatymi i bylicami. Rozwój lasów sosnowo-brzozowo-świerkowych ze zmiennym udziałem modrzewia. Leszczyna stanowi główny składnik podszycia, a na obrzeżach lasów pojawia się ligustr. Zbiornik wodny porasta azolla, obecna jest też kotewka wodna. Regres zbiorowisk leśnych i rozwój roślinności stepo-tundrowej początkowo z wierzbą i jałowcem, z rosnącym udziałem turzycowatych, bylic, wiechlinowatych, brzozy karłowatej i przęśli (<i>Ephedra</i>).</p>	<p>Osycłajne zmiany warunków klimatycznych od subarktycznych poprzez charakterystyczne dla klimatu umiarkowanie chłodnego do subarktycznych. W czasie panowania klimatu borealnego lata cechowały wysokie temperatury i znaczna stabilność. Występuje silny kontynentalizm.</p>
17.5	Do I		<p>Rozwój lasów iglastych z przewagą sosny, ale znaczącym udziałem dębu, wiązu i leszczyny w optimum klimatycznym. Znaczący udział zbiorowisk lasu bagiennego z olszą. W końcowym etapie rozwój lasów ze świerkiem.</p>	<p>Panowanie klimatu umiarkowanego z niezbyt wysokimi temperaturami latami i zimnymi zimą. Pod koniec silny wzrost wilgotności warunków klimatycznych.</p>
18	Okres zimny		<p>Uformowanie się różnorodnych zbiorowisk siedlisk otwartych: stepo-tundry, które ulegają regresji na korzyść lasu borealnego ze świerkiem, modrzewiem i jodłą oraz domieszka wiązu i dębu. Wielokrotne zmiany roślinności wyrażone rozwojem zbiorowisk stepowych i tundrowych</p>	<p>Po znaczącym ochłodzeniu wyznaczonym przez surowe zimy i chłodne lata powraca klimat umiarkowany chłodny. Powtarzają się chłodne i ciepłe osycłaje klimatyczne.</p>

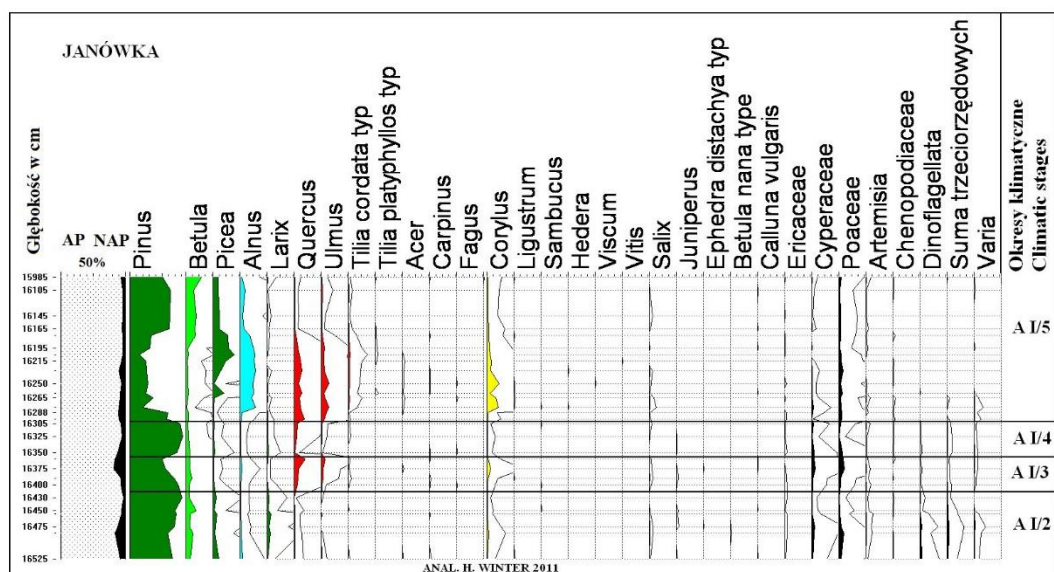
	19	19.1	AII	Interglacjał augustowski	i powrotem lasów z dominacją sosny i brzozy z udziałem świerka i modrzewia. Początek oznacza szybka ekspansja sosny, dębu, wiązu i leszczyny wraz z lipą i klonem ( <i>Acer</i> ). Zaczynają się formować lasy jęłowe z wiązem, a później jesionem ( <i>Fraxinus</i> ). Szybko w lasach pojawia się grab ( <i>Carpinus</i> ) i olcha ( <i>Alnus</i> ). Na skraj lasów rośnie ligustr ( <i>Ligustrum</i> ), kalina ( <i>Viburnum</i> ), bez ( <i>Sambucus</i> ) i winorośl ( <i>Vitis</i> ), a w zbiornikach wodnych kotewka wodna ( <i>Trapa natans</i> ). Paprocie wodne azolla ( <i>Azolla filiculoides</i> ) i salwinia ( <i>Sabina natans</i> ) pokrywają zbiorniki wodne. Gwałtownie wkracza wiąz wypierając grab i olchę. Ten krótkotrwały epizod kończy powrót graba i olchy. U schyłku optimum klimatycznego w lasy wkracza świerk z domieszką jodły ( <i>Abies</i> ) i następuje krótkotrwały rozwój zbiorowisk otwartych. Pod koniec panują lasy iglaste z sosną, świerkiem ze stopniowo malejącym udziałem drzew ciepłolubnych i olchy.	Panowanie klimatu umiarkowanego, w optimum umiarkowanie ciepłego z gorącymi i stabilnymi latami, z niezbyt dużą sezonowością. Znaczące ochłodzenie klimatu następuje pod koniec optimum, warunki klimatyczne są bardziej surowe, znacząco obniżają się temperatury lata i zimy. Lekkie ocieplenie klimatu następuje w fazie końcowej, chociaż panuje już klimat umiarkowany chłodny.
		19.2				
19.3						
Matuyama	20	20	AI/II		Początkowo przeważają luźne lasy z brzozą, sosną, świerkiem i modrzewiem i znaczącym udziałem różnorodnych zbiorowisk otwartych z przewagą turzycowatych i wiechlinowatych. Brzoza wypiera ze zbiorowisk leśnych sosnę i świerk, rozwijają się zbiorowiska tundrowe z jałowcem i brzozą karłowatą. Po krótkotrwałym ociepleniu wyrażonym rozwojem lasów mieszanych z dębem, wiązem i lipą rozprzestrzeniły się zbiorowiska roślin zielnych. W młodszej części okresu ma miejsce ekspansja bylic ( <i>Artemisia</i> ) i Chenopodiaceae. U schyłku nastąpił krótkotrwały rozwój lasów sosnowych i powrót zbiorowisk otwartych.	Klimat cechują liczne fluktuacje, od klimatu umiarkowanego do klimatu umiarkowanie chłodnego z silną sezonowością i zimnymi zimami, a nawet subarktycznego o znacznej kontynentalizacji. Podczas ciepłej oscylacji znacząco rośnie temperatury zarówno zim jak i lat.
		21	AI	21.1 21.2 21.3 21.4 21.5	Warunki klimatyczne bardzo niestabilne, od klimatu umiarkowanego do klimatu umiarkowanie chłodnego z silną sezonowością i zimnymi zimami. W optimum zimy są cieplejsze, a lata ciepłe. Znaczący spadek temperatur zimy i lata i zwiększenie wilgotności nastąpiło po optimum klimatycznym. Stabilizacja klimatu cechuje schyłek okresu.	





Rys. 2. Syntetyczny diagram pyłkowy ze stanowiska Żarnowo

Synthetic pollen diagram from Żarnowo site



Rys. 3. Syntetyczny diagram pyłkowy ze stanowiska Janówka

Synthetic pollen diagram from Janówka site

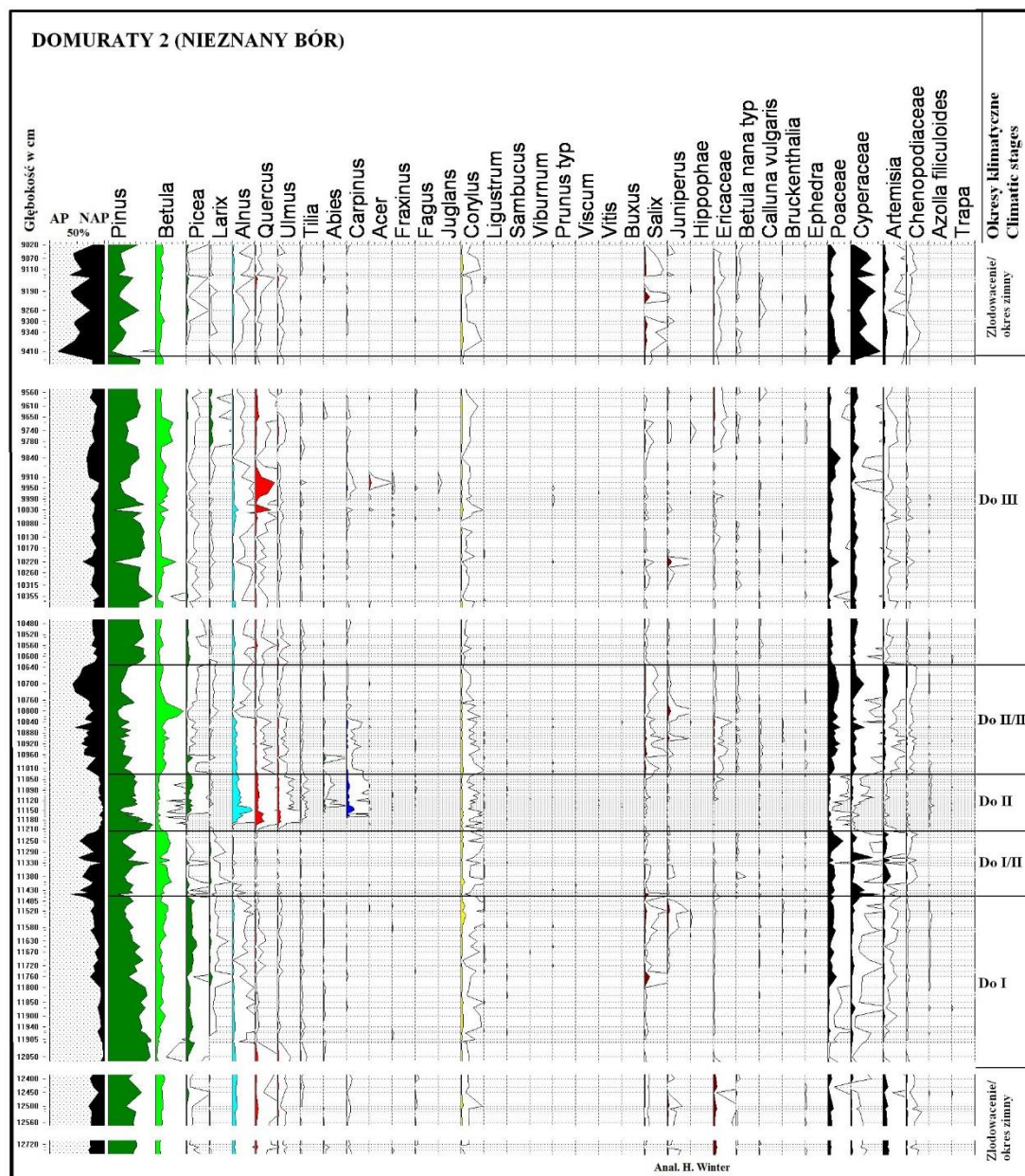
Następny okres jest cieplejszy, jednak dopiero opracowanie palinologiczne osadów z nowego wiercenia Domuraty 2 (Nieznany Bór) (rys. 4) wyraźnie świadczy o interglacjalnym charakterze tego ocieplenia i występowaniu luki sedymentacyjnej w profilu z Domurat. W sukcesji z Domurat 2 okres Do–II ma zdecydowanie cieplejszy charakter, a interglacjalny przebieg zmian roślinności wyraża się rozwojem zbioro-

wisk leśnych z dębem i wiązem, a następnie olszą, grabem, świerkiem i jodłą. Zapis następnego ciepłego okresu Do–III o charakterze interglacjalnym występuje już tylko w profilu z Domurat 2 (Nieznany Bór) (rys. 4). Długotrwały okres stabilnych warunków klimatycznych z zapisem niskoamplitudowych oscylacji klimatycznych jest dokumentowany wzrostem wartości sosny w przypadku ocieplenia klimatu lub

NAP i brzozy wskazujących na chłodną oscylację klimatyczną. Optimum klimatyczne tego okresu wiąże się z ekspansją dębu wraz z klonem i domieszką jesionu oraz graba w zbiorowiskach leśnych. O znaczącym ociepleniu świadczy pojawienie się pyłku orzecha (*Juglans*).

Postępujące ochłodzenie spowodowało wycofanie się drzew o wyższych wymaganiach

klimatycznych, jednak nadal główną rolę odgrywały luźne zbiorowiska leśne. W rezultacie silny impuls klimatyczny, czyli ochłodzenie o skali globalnej, przyczyniło się do ostatecznego odlesienia i otwarcia krajobrazu, a tym samym inwazji zbiorowisk roślinnych związanych z początkiem zlodowacenia.



Rys. 4 Syntetyczny diagram pyłkowy ze stanowiska Domuraty 2

Synthetic pollen diagram from Domuraty 2 site

### Sukcesja ferdynandowska

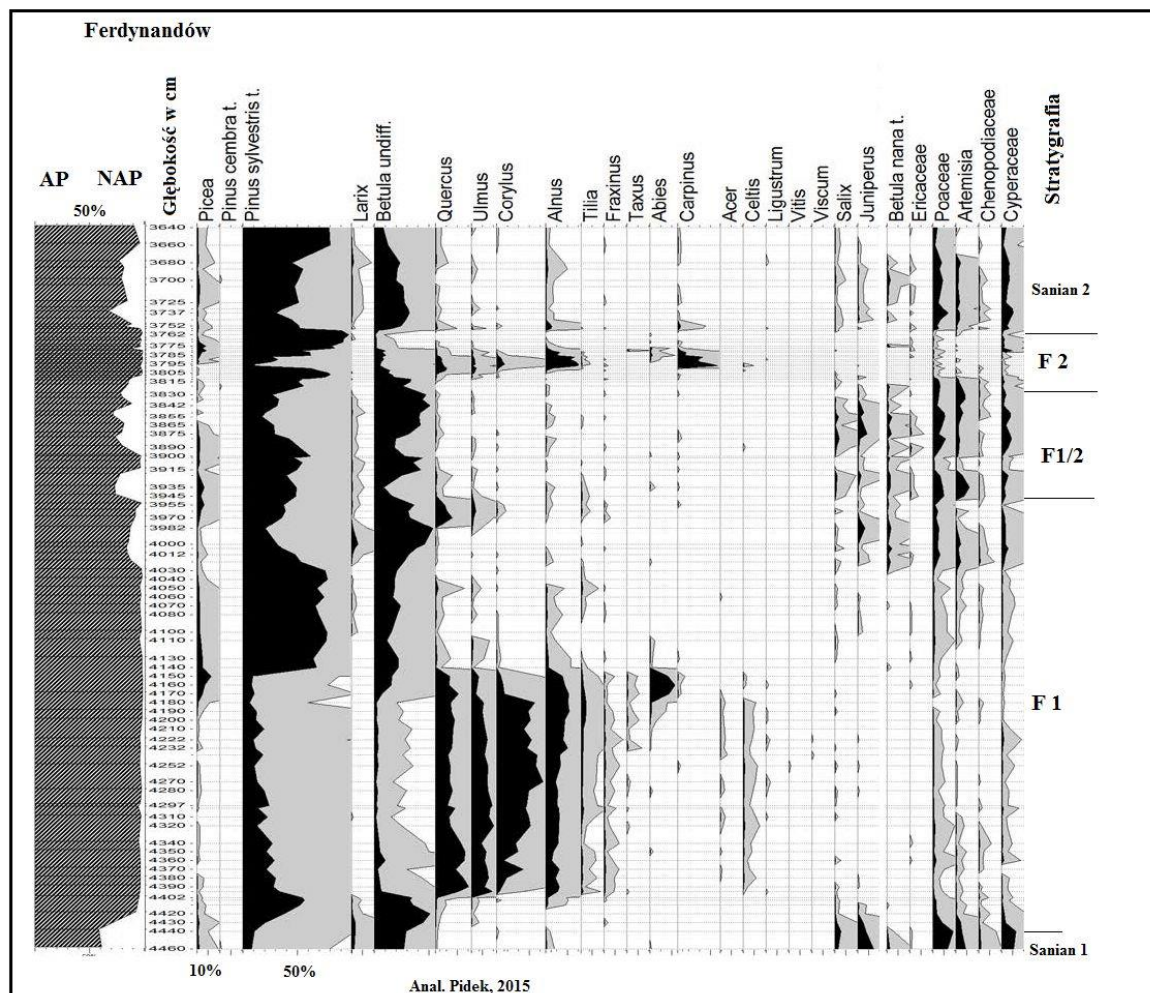
Sukcesja ferdynandowska podobnie jak augustowska ma charakter bimodalny (rys. 5), a zapis palinologiczny dwóch interglacjalów

wskazuje na zróżnicowane warunki klimatyczne (Janczyk-Kopikowa 1975, 1991; Winter 1992; Pidek 2000, 2003; Mamakowa 2003; Pidek, Małek 2010). Optimum klimatyczne starszego interglacjalu F 1 prezentuje zdecydowanie cie-



plejszy klimat niż optimum młodszego interglacjału F 2. Świadczy o tym rozwój lasów liściastych z dębem, wiązem, lipą, jesionem, klonem i leszczyną budującą podszycie. Obecność pyłku cisa, bluszczu, ligustru i bukszpanu należy wiązać zarówno z łagodnymi zimami, jak i ciepłymi latami oraz wyraźnym wpływem klimatu morskiego. W przebiegu sukcesji roślinności w F 1

w profilach z Ferdynandowa (Janczyk-Kopikowa 1975), Popioły (Winter 1992), Łuków (Pidek, Małek 2010) i Ferdynandów (Pidek 2015) widoczne jest załamanie krzywych dębu i leszczyny i wzrost wartości brzozy wraz z sośną, będące efektem chłodnej oscylacji klimatycznej.



Rys. 5. Uproszczony diagram pyłkowy ze stanowiska Ferdynandów (Pidek 2015)

Simplified pollen diagram from Ferdynandów site (Pidek 2015)

Liczne oscylacje klimatyczne dokumentowane ekspansją roślinności zielnej, związanej z otwartymi przestrzeniami i roślinności leśnej występują w chłodnym okresie rozdzielającym oba interglacjały. Podobnie jak w interglacjale augustowskim również w interglacjale ferdyndowskim obserwujemy znaczący wzrost udziału dębu i wiązu w okresie chłodnym F 1/F 2, świadczący o zdecydowanym polepszeniu warunków klimatycznych (Pidek, Małek 2010; Pidek 2015).

Młodszy interglacjał F 2 cechuje stabilność klimatyczna i rozwój sukcesji pyłkowej charakterystycznej dla klasycznych interglacjałów. Cechą wyróżniającą ten interglacjał są chłodniejsze zimy i znacząca sezonowość warunków klimatycznych wyrażone brakiem roślin związanych z cieplejszym klimatem, między innymi bluszczu, bukszpanu (*Buxus*) i ostrokrzewu (*Ilex*). Schyłek obu interglacjałów F 1 i F 2 ma zbliżony charakter i dokumentuje panowanie lasów sosnowych z brzozą i świerkiem.

## Dyskusja i wnioski

### Charakterystyka palinologiczna i klimatyczna palinokompleksu południowopolskiego

Porównanie trzech omawianych sekwencji pyłkowych wskazuje na istnienie podobieństw w składzie flory pyłkowej zbiorowisk roślinnych i pozwala na określenie wspólnych cech omawianych sukcesji:

1. Wszystkie omawiane sukcesje pyłkowe mają charakter policykliczny wyrażający się naprzemiennym występowaniem okresów z roślinnością leśną i siedlisk otwartych o różnej randze klimatycznej.

2. Wyróżnia je silna dynamika zmian roślinności wskazująca zarówno na wysokoamplitudowe zmiany klimatu, jak i niskoamplitudowe oscylacje klimatyczne zachodzące zarówno w czasie interglacjałów, jak i w okresach zimnych;

3. Cechą charakterystyczną wszystkich sukcesji jest:

- brak lub sporadyczne pojawianie się graba w zbiorowiskach leśnych starszego, ciepłego okresu,
- współwystępowanie pyłku dębu (*Quercus*) i wiązu (*Ulmus*) oraz wysokie wartości osiągane przez pyłek wiązu i bardzo niski udział jesionu,
- szybkie rozprzestrzenianie się olszy (*Alnus*) i wysoki jej udział w okresach ciepłych,
- niewielki udział cisa (*Taxus*) w zbiorowiskach leśnych,
- niska rola jodły w zbiorowiskach leśnych z grabem.

4. Okresy chłodne cechuje obecność zbliżonych zbiorowisk roślinnych wiązanych z warunkami glacialnymi.

5. Wszystkie trzy sekwencje charakteryzują się oscylacją klimatyczną wyrażoną ociepleniem klimatu. W sekwencji augustowskiej i ferdynandowskiej jest ona zdecydowanie cieplejsza niż w domuratowskiej.

6. Niski jest udział roślin związanych z klimatem oceanicznym takich jak cis, bluszcz, bukszpan oraz roślin egzotycznych, a ich obecność wyraźnie wiąże się z jednym interglacjałem/okresem ciepłym.

7. Rozwój wielogatunkowych zbiorowisk leśnych z wysokim udziałem dębu, wiązu i leszczyny, a w młodszych okresach ciepłych graba świadczy o relatywnie wysokich temperaturach lata.

8. Wysokie temperatury lata potwierdzone występowaniem makroszczątków roślin ciepłolubnych (Stachowicz-Rybka 2009, 2011, 2015) i temperatury zim poniżej 0°C, w optimach klimatycznych szczególnie w okresach ciepłych z grabem, wskazują na wyraźny wpływ klimatu kontynentalnego.

Porównując zmiany roślinności i klimatu, można uznać, że sukcesję augustowską i domuratowską cechuje większe powinowactwo florystyczne i podobieństwo klimatyczne w porównaniu do sukcesji ferdynandowskiej, wyrażone wyższym udziałem świerka i modrzewia oraz wierzby, panowaniem luźnych lasów sosnowo-brzozowych ze świerkiem i modrzewiem i niewielką domieszką ciepłolubnych drzew, leszczyny i ligustru u schyłku pierwszego ciepłego okresu, ciągłym występowaniem w tym czasie mikrosporangiów azolli.

Największą dynamikę zmian klimatu obserwujemy w sukcesji domuratowskiej. Potwierdza ją obecność trzech bardzo wyraźnych okresów ciepłych, z których przynajmniej dwa są rangi interglacialnej w rozumieniu zasad analizy pyłkowej (Janczyk-Kopikowa 1987) oraz mniejszych oscylacji klimatycznych występujących zarówno w obrębie okresów ciepłych jak i chłodnych. Ocena parametrów klimatycznych, na podstawie składu i charakteru roślinności, pozwala na stwierdzenie, że sukcesję domuratowską cechuje sezonowość warunków klimatycznych z silnymi, oscylacyjnymi wpływami klimatu kontynentalnego, który szczególnie wyraźnie uwidacznia się w schyłkowej części pierwszego, starszego interglacjału Do-I poprzez obecność pyłku różnych gatunków przęśli (*Ephedra*) i wielosiła (*Polemonium*).

### Palinostratygrafia i korelacje klimatostratygraficzne z rdzeniami głębokomorskimi (MIS)

Wyniki badań metodą paleomagnetyczną osadów z wiercenia Kalejty z zapisem sekwencji augustowskiej (Winter 2001) sugerowały istnienie granicy Bruhnes/Matuyama (Nawrocki 1995; Ber 2000). Wyniki powtórnych badań potwierdziły prawdopodobieństwo istnienia granicy Bruhnes/Matuyama w osadach z Kalejt (Gaździcka i in. 2010). Badania z profilu Czarnucha nie dały jednoznacznych wyników potwierdzających obecność paleomagnetycznego zapisu tej granicy (Nawrocki 2009), chociaż osady poniżej 112,8 m mogły być namagnesowane odwrotnie. Uwzględniając wyniki badań paleomagnetycz-

nych, należy korelować starszy interglacjał A–I z MIS 21, a młodszy AII z MIS 19.

Sukcesje domuratowska i ferdynandowska paleomagnetycznie zapisane są w chronozonie Bruhnes (Krzyszkowski i in. 1996; Lindner, Marks 2008; Lindner i in. 2013). W odniesieniu do stratygrafii izotopowej z rdzeni głębokomorskich sukcesja ferdynandowska korelowana jest jednoznacznie z MIS 15–13 (Zagwijn 1996). W takim kontekście sukcesję z Domurat należy odnieść do MIS 17. Sukcesję augustowską udokumentowano w osadach położonych na glinie zwałowej, która została uznana za ekwiwalent najstarszego zlodowacenia, zlodowacenia narwi (Ber 1996; Ber i in. 1998).

Uwzględniając wyniki badań paleomagnetycznych oraz analizy pyłkowej, jak również sytuacji geologicznej można uznać, że augustowska sukcesja pyłkowa stanowi odpowiedź na silny, globalny impuls klimatyczny związany z gwałtownym oziębieniem klimatu i wkroczeniem lądolodu na obszar Polski. Tak silne oziębienie klimatu spowodowało wyginięcie takich taksonów, jak *Eucommia* i *Tsuga* z terenu Europy i wyeliminowanie z szaty roślinnej Polski *Castanea* i *Ostrya* oraz na setki tysięcy lat buka jako ważnego składnika lasów. Roślinność cechująca sukcesję augustowską ma już typowy charakter „czwartorzędowy”.

Powszechnie uznaje się, że około 900 ka wystąpiły pierwsze gwałtowne zmiany w komponentach systemu klimatycznego sugerujące silny wpływ pokrywy lodowej i jej zmian na klimat w plejstocenie (Clark i in. 2006), które obejmowały MIS 24 i 22. Długotrwały zapis klimatyczny w augustowskiej sekwencji pyłkowej stanowi florystyczny i klimatyczny odpowiednik MIS 21–19 (tab. 1). Starszy interglacjał AI można korelować z MIS 21, a chłodne oscylacje klimatyczne występujące w jego obrębie przypisać do substadiałów 21.4 i 21.2. Odpowiednio – ocieplenia odpowiadają substadiąm 21.5 i 21.3, a zapis optimum klimatycznego AI zawarty jest w MIS 21.1 (Bassinot i in. 1994). Zapis palinologiczny MIS 20 odpowiadający ochłodzeniu A–I/II wskazuje na zdecydowanie zimny charakter roślinności, a dynamiczna zmiana klimatu powoduje pojawienie się otwartego krajobrazu.

Interglacjał A–II należy korelować z MIS 19, a niskoskalowe zmiany klimatu znajdują swój wyraz w obecności ciepłych substadiałów zapisanych w krzywej tlenowej (Bassinot i in. 1994). Optimum klimatyczne reprezentuje substadiał 19.1, a ciepłą, pooptymalną oscylację klimatycz-

ną należy prawdopodobnie utożsamiać z MIS 19.3.

Badania paleomagnetyczne osadów z zapisem sukcesji domuratowskiej jednoznacznie wskazują na jej usytuowanie w chronozonie Bruhnes. Trójdzielny charakter tej sukcesji wyrażający dynamiczne, wielkoskalowe zmiany klimatyczne doskonale odzwierciedla spadek wartości krzywej  $\sigma^{18}\text{O}$  wskazujący na ocieplenie klimatu w czasie MIS 17.5, 17.3 i 17.1, a będących odpowiednikiem ciepłych okresów DoI/III. Wzrost tej wartości wiązany jest z ochłodzeniem klimatu w czasie substadiałów MIS 17.4 i 17.2 i rozprzestrzenieniem się roślinności związanej z otwartymi siedliskami.

Jednym ze znaczących epizodów w historii Ziemi jest wczesno-środkowoplejstocenijskie przejście (WŚPP) zwane inaczej „środkowoplejstocenijską rewolucją” (Head, Gibbard 2005), podczas której dominujący we wczesnym plejstocenie 40 ka cykl klimatyczny glacjał/interglacjał związany ze skośnością ziemskiego cyklu orbitalnego został stopniowo zastąpiony przez wysokoamplitudowy cykl ekscentryczny liczący ~100 ka. Silne zmiany klimatu występujące między MIS 36 (około 1,2 Ma) a MIS 13 (około 540–460 ka) obejmujące WŚPP wyraziły się w rozmaity sposób. W czasie MIS 24–22, a ściślej, około 900 ka miało miejsce wielkoskalowe ochłodzenie klimatu (Clark i in. 2006), które mogło być na tyle silne, że spowodowało rozwój zlodowaceń na półkuli północnej wyrażonych pojawieniem się lądolodu. Być może wówczas lądolód po raz pierwszy wkroczył na obszar Polski i pozostawił najstarszą glinę zwałową podścielającą osady interglacjału augustowskiego. W czasie MIS 21 do wczesnego MIS 19 (około 850–770 ka) (Head, Gibbard 2005) w północnej Eurazji nastąpiło rozprzestrzenienie się wielkich ssaków, wraz z mamutem stepowym (*Mammuthus trogontherii*) (Foronova 2005). Ekspansja zwierząt była odpowiedzią na uformowanie się odpowiednich zbiorowisk roślinnych zdolnych je wyżywić. W sukcesji augustowskiej podany okres odpowiada pooptymalnej części A–I, z luźnymi lasami ulegającymi przeobrażeniu w laso-stepo-tundrę.

Według Maslin i Ridgwell (2005) WŚPP miało dwustopniowy charakter. Pierwszy stopień rozpoczął się około 940–890 ka i charakteryzował się znaczącym, globalnym wzrostem pokrywy lodowej, przy stałej dominacji cyklu 41 ka. Drugi datowany na około 725–650 ka był wyrażony silną 100 ka cyklicznością i wysoką amplitudą zmian klimatycznych. Stan pośredni

między cyklami trwał od 0,92 Ma do 0,64 Ma (Wang i in. 2001) (MIS 24–16). WŚPP obejmuje swoim zasięgiem palinokompleks południowopolski, a przejście z cyklu 40 ka do 100 ka było prawdopodobnie przyczyną nieliniarnych zmian glacjał/interglacjał i policykliczności omawianych sukcesji związanych z długotrwałymi wielkoskalowymi i niskoamplitudowymi zmianami klimatycznymi. Według Mudelsee i Stattegger (1997) przejście między cyklem 40 ka i 100 ka miało miejsce 725–650 ka, obejmując MIS 18–16. W czasie tej zmiany deponowane były osady zawierające sukcesję domuratowską (MIS 17) z zapisem wysokoamplitudowych zmian klimatu, którą prawdopodobnie już można wiązać z cyklem 100 ka, ale cykl 40 ka być może wyrażony jest przejściem interglacjał/ochłodzenie (DoI/DoI/II, DoII/DoII/III, DoIII/DoIII/IV).

Przejście między cyklami było stopniowe, ale silny chłodny impuls klimatyczny wskazujący na rozwój i ekspansję lądolodów miał miejsce, oprócz MIS 24–22, także w czasie MIS 16 i przyczynił się do depozycji osadów lodowcowych rozdzielających sukcesję domuratowską i ferdynandowską. W przypadku MIS 18 ochłodzenie uznano za słaby impuls klimatyczny (Head, Gibbard 2005), który nie doprowadził do wkroczenia lądolodu na teren Europy Środkowej. Prawdopodobnie brak zlodowacenia na terenie Polski w tym czasie, przy jednoczesnym długotrwałym utrzymywaniu się czapy lodowcowej na północy kontynentu ujednolicił na tysiące lat warunki klimatyczne i stał się przyczyną podobieństwa sukcesji augustowskiej i domuratowskiej. Jednocześnie na bardziej kontynentalny charakter tej drugiej mógł mieć wpływ rozwój czapy lodowej na północy i obniżenie poziomu morza, które w niewielkim stopniu podniosło swój poziom podczas osadzania się osadów z zapisem sukcesji domuratowskiej. Powodem niepełnego zapisu sukcesji domuratowskiej w Domuratach i fragmentarycznego w innych profilach mógł być brak zbiorników jeziornych związanych z deglacją lądolodu, w których prawdopodobnie dochodziło do sedymentacji osadów jeziornych. Problemem pozostaje interpretacja osadów zimnych z początku sukcesji, które zostały określone jako osady fluwioglacjalne, a ich sedymentacja nastąpiła u schyłku najstarszego zlodowacenia. Mogą to być również osady, których depozycja nastąpiła tylko w strefie peryglacjalnej, w czasie globalnego ochłodzenia, ale bez wkroczenia lądolodu. Dylematem pozostaje rozdzielność sukcesji augustowskiej i domuratowskiej. W przypadku

braku rozdzielności obu sukcesji osadami lodowcowymi, a w kontekście słabo wyrażonego zimnego impulsu klimatycznego w MIS 18 zapisanego w rdzeniach głębokomorskich, istnieje możliwość, że oba interglacjały wraz z rozdzielającym je ochłodzeniem mogą stanowić jeden kompleks, z zapisem wielokrotnych zmian klimatu interglacjał/glacjał w ujęciu palinologicznym obejmujący MIS 21–17. W ujęciu klimatostatygraficznym cały kompleks można określić jako megainterglacjał.

Według autorki odrębność palinologiczna sukcesji augustowskiej, domuratowskiej i ferdynandowskiej jest bezsprzeczna, a palinokompleks południowopolski z długotrwałym i ciągłym zapisem zmian i oscylacji klimatycznych w osadach lądowych stanowi wspaniałe archiwum do odtwarzania zmian i fluktuacji klimatu w czasie dolnego i środkowego plejstocenu w Europie.

## Podziękowania

Autorka dziękuje bardzo za wnikliwe i pozytywne recenzje Małgorzacie Malkiewicz i Anonimowemu Recenzentowi. Dziękuję serdecznie również Bartoszowi Łuczakowi za tłumaczenie streszczenia.

## Literatura

- Bassinot F.C., Labeyrie L.D., Vincent E., Quidelleur X., Shackleton N.J., Lancelot Y. 1994. The astronomical theory of climate and age of the Brunhes-Matuyama magnetic reversal. *Earth and Planetary Science Letters* 126: 91-108.
- Ber A. 1996. Sytuacja geologiczna osadów jeziornych osadów piętra augustowskiego w Szczecinie koło Augustowa oraz osadów jeziornych interglacjału mazowieckiego w Krzyżewie. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 373: 35-48.
- Ber A. 2000. Plejstocen Polski północno-wschodniej w nawiązaniu do głębszego podłoża i obszarów sąsiednich. *Prace PIG* CLXX: 1-89.
- Ber A., Janczyk-Kopikowa Z., Krzyszkowski D. 1998. A new interglacial stage in Poland (Augustovian) and the problem of the age of the oldest Pleistocene till. *Quaternary Sciences Reviews* 17: 761-773.
- Ber A., Lindner L., Marks L. 2007. Propozycja podziału stratygraficznego czwartorzędu Polski. *Przegląd Geologiczny* 55(2): 115-118.
- Ber A., Lisicki S., Winter H. 2009. Stratygrafia dolnego plejstocenu północno-wschodniej polski na podstawie badań osadów jeziornych z profili Sucha wieś (Pojezierze Elckie) i Czarnucha (Równina Augustowska) w nawiązaniu do



- obszarów Rosji, Litwy i Białorusi. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 435: 23-36.
- Clark P.U., Archer D., Pollard D., Blum J.D., Rial J.A., Brovkin V., Mix A.C., Pisias N.G., Roy M. 2006. The middle Pleistocene transition: characteristics, mechanisms and implications for long-term changes in atmospheric pCO<sub>2</sub>. *Quaternary Science Reviews* 25: 3150-3184.
- Foronova I.V. 2005. Large mammal faunas from southwestern Siberia of the Plio-Pleistocene boundary and Lower/Middle Pleistocene transition. *Quaternary International* 131: 95-99.
- Gaździcka E., Krzywicki T., Lisicki S., Nitychoruk J., Rosowiecka O., Winter H. 2010. W: Zintegrowany program płytkich wierceń badawczych dla rozwiązania istotnych problemów budowy geologicznej Polski. Dokumentacja geologiczna otworu badawczego Kalejty PIG-1 – Problem 17 - Zbadanie zapisu czwartorzędowych zmian klimatycznych w wybranych profilach z obszaru Polski. Arch. CAG PIG, Warszawa.
- Head M.J., Gibbard P.H.L. 2005. Early-Middle Pleistocene transitions: an overview and recommendation for the defining boundary. W: M.J. Head, P.L. Gibbard (red.) *Early-Middle Pleistocene Transitions: The Land-Ocean Evidence*. Geological Society, London, Special Publications 247: 1-18.
- Janczyk-Kopikowa Z. 1975. Flora interglacjalna mazowieckiego w Ferdynandowie. *Biuletyn Instytutu Geologicznego* 290: 5-94.
- Janczyk-Kopikowa Z. 1987. Uwagi na temat palinostratygrafii czwartorzędu. *Kwartalnik Geologiczny* 3: 155-162.
- Janczyk-Kopikowa Z. 1991. The Ferdynandów Interglacial in Poland. *Geological Quarterly* 35: 71-80.
- Janczyk-Kopikowa Z. 1996. Ciepłe okresy w mezoplejstocenie północno-wschodniej Polski. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 373: 49-66.
- Janczyk-Kopikowa Z. 2009. Analiza pyłkowa międzymorenowych osadów z profilu Sucha Wieś (Pojezierze Elckie, północno-wschodnia Polska). *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 435: 37-46.
- Janczyk-Kopikowa Z., Mojski J.E., Rzechowski J. 1980. Stratygrafia i zasięgi osadów glacialnych dolnego i środkowego plejstocenu między Wisłą i Bugiem. Sympozjum „Stratygrafia i chronologia lessów oraz utworów glacialnych dolnego i środkowego plejstocenu w Polsce SE”. Lublin: 35-36.
- Khursevich G., Nita M., Ber A., Sanko A., Fedenya S. 2005. Palaeoenvironmental and climatic changes during the Early Pleistocene recorded in the lacustrine-boggy-fluvial sediments at Komorniki, NE Poland. *PIG Special Papers* 16: 35-44.
- Krzyszowski D., Bötger T., Junge F., Kuszell T., Nawrocki J. 1996. Ferdynandovian Interglacial palaeoclimate reconstructions from pollen successions, isotope composition and palaeomagnetic susceptibility. *Boreas* 25: 283-296.
- Lindner L., Marks L. 2008. Pleistocene stratigraphy of Poland and its correlation with stratotype sections in the Volhynian upland (Ukraine). *Geochronometria* 31: 31-37. Doi 10.2478/v10003-008-0014-9.
- Lindner L., Marks L., Nita M. 2013. Climatostratigraphy of interglacials in Poland: Middle and Upper Pleistocene lower boundaries from a Polish perspective. *Quaternary International* 292: 113-123.
- Lisicki S., Winter H. 2004. Rewizja pozycji stratygraficznej osadów dolnego i środkowego plejstocenu północno-wschodniej Polski. W: A. Kostrzewski (red.) *Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych*. T IV, Seria Geografia 68: 259-282.
- Mamakowa K. 2003. Plejstocen. W: S. Dybowa-Jachowicz, A. Sadowska (red.) *Palinologia*. Inst. Botaniki im. W. Szafera, PAN, Kraków: 235-273.
- Maslin M.A., Ridgwell A.J. 2005. Mid-Pleistocene Revolution and the ‘eccentricity myth’. [http://www.seao2.info/pubs/manuscript\\_maslin\\_and\\_ridgwell.pdf](http://www.seao2.info/pubs/manuscript_maslin_and_ridgwell.pdf): 1-39.
- Mudelsee M., Statterger K. 1997. Exploring the structure of the mid-Pleistocene revolution with advance methods of time-series analysis. *Geologische Rundschau* 86: 499-511.
- Nawrocki J. 1995. Wyniki badań paleomagnetycznych 5 prób z profilu Kalejty (Równina Augustowska). Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- Nawrocki J. 2009. Wyniki badań paleomagnetycznych osadów jeziornych z profilu Czarnucha (Równina Augustowska, północno-wschodnia Polska). *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 435: 109-118.
- Pidek I.A. 2000. Interpretacja palinostratygraficzna zimnej jednostki pomiędzy dwiema ciepłymi w ferdynandowskiej sukcesji Zdan (Polska E). *Przegląd Geologiczny* 11(48): 1035-1037.
- Pidek I.A. 2003. Mesopleistocene vegetation history in the northern foreland of the Lublin Upland based on palaeobotanical studies of the profiles from Zdan and Brus sites. Maria Curie-Skłodowska University Press. Lublin: 1-96.
- Pidek I.A. 2015. Palynostratigraphy and vegetation changes during the early Middle Pleistocene, based on new studies of deposits from Ferdynandów (central eastern Poland). *Acta Palaeobotanica* 55(1): 253-266. Doi 10.1515/acpa-2015-0002.

- Pidek I.A., Małek M. 2010. A bi-partite Ferdynandovian succession from Łuków, Eastern Poland: a new palynostratigraphic approach. *Geological Quarterly* 54(1): 69-85.
- Rosowiecka O., Winter H., Granoszewski W. 2010. Climate changes during the Quaternary in north Poland based on paleomagnetic and plant indicators analyses. *Travaux Geophysiques XXXIX. Abstracts of the 12 Castle Meeting. New trends in geomagnetism. Palaeo, rock and environmental magnetism. Castle of Nove Hrad, Czech Republic, August 29-September 10 2010*: 74.
- Rzechowski J. 1996. The Ferdynandivian Interglacial and its stratigraphical position in the Middle Pleistocene of Europe. W: Ch. Turner (red.) *The early Middle Pleistocene in Europe*. A.A.Balkema/Rotterdam/Brookfield: 279-293.
- Stachowicz-Rybka R. 2009. Stratygrafia szczątków roślin ze stanowiska Czarnucha (Równina Augustowska, północno-wschodnia Polska). *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 435: 97-104.
- Stachowicz-Rybka R. 2011. Flora and vegetation changes on the basis of plant macroremains analysis from an early Pleistocene lake of the Augustów Plain, NE Poland. *Acta Palaeobotanica* 51(1): 39-103.
- Stachowicz-Rybka R. 2015. Environmental and climate changes of the Domuraty 2 section (NE Poland) based on analysis of plant macroremains. *Acta Palaeobotanica* 55(2): 213-231.
- Stachowicz-Rybka R., Pidek I.A., Żarski M. 2017. New palaeoclimate reconstructions based on multidisciplinary investigation in the Ferdynandów 2011 stratotype site (eastern Poland). *Geological Quarterly* 61(2): 276-290. DOI: <http://dx.doi.org/10.7306/gq.10.7306/gq.1353>.
- Wang P., Tian J., Cheng X. 2001. Transition of Quaternary glacial cyclicity in deep-sea records at Nansha, the South China Sea. *Sciences in China, series D* 10(44): 926-933.
- Winter H. 1992. Ferdynandowska sukcesja pyłkowa z profilu Popioły – Kotlina Toruńska. *Kwartalnik Geologiczny* 36(3): 387-392.
- Winter H. 2001. Nowe stanowisko interglacjału augustowskiego w północno-wschodniej Polsce. W: A. Kostrzewski (red.) *Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych*. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań: 439-450.
- Winter H. 2008. Zapis palinologiczny zmian roślinności i klimatu interglacjału augustowskiego w profilu Żarnowo (Równina Augustowska, północno-wschodnia Polska). *Przegląd Geologiczny* 56(11): 1011-1118.
- Winter H. 2009. Sukcesja pyłkowa z profilu Czarnucha i jej znaczenie dla stratygrafii dolnego plejstocenu północno-wschodniej Polski. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 435: 109-118.
- Winter H. 2010. Palinokompleksy północno-wschodniej Polski. XVII Konferencja Stratygrafia Plejstocenu Polski, Jeziorowskie, 6-10. 2010: 112.
- Winter H. 2015. Dynamika zmian klimatycznych w pliocenie i plejstocenie dolnym oraz granica neogen/czwartorzęd w osadach południowego Mazowsza (Polska środkowa) na podstawie danych palinologicznych. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 202: 53-106.
- Winter H., Lisicki S. 2005. Sukcesja pyłkowa z Domuraty (Wzgórza Sokólskie) i jej znaczenie dla plejstocenu Polski północno-wschodniej. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 416: 115-131.
- Winter H., Khursevich G., Fedenya S. 2008. Pollen and diatom stratigraphy of the lacustrine-fluvial-swamp deposits from the profile Domuraty. *Geological Quarterly* 52(3): 269-280.
- Zagwijn W.H. 1996. The Cromerian Complex Stage of the Netherlands and correlation with other areas in Europe. W: Ch. Turner (red.) *The Early Middle Pleistocene in Europe*. A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield: 145-172.

## Summary

Four complexes have been distinguished in the stratigraphic outline of the Pleistocene in Poland: pre-glacial, South-Polish, Middle-Polish, and North-Polish (Ber et al. 2007). They contain climatostratigraphic units of varying rank: glacial/interglacial, warming/cooling, stadial/interstadial, and phase/interphase, expressed, among others, in a palynological record of a diverse character: long pollen successions and interglacial sequences in the classic perspective (Janczyk-Kopikowa 1987).

In the case of the palynological record of the warm units of the Pleistocene, common characteristics of the pollen flora and the similarities in the course of plant successions may be distinguished as well, which allows to group them in age-specific assemblies – palynocomplexes – which are the equivalent of complexes in the geologic perspective. The South-Polish palynocomplex includes three long plant successions with an extensive record of the climatic changes and oscillations: Augustovian, Domuratovian, and Ferdynandovian.

Two warm periods have been recognized in the Augustovian sequence, in the rank of interglacial AI and AII. In the period of AI, mixed forests with pine, oak, elm, linden, alder, as well

as hazel and spruce, developed. Because of the instability of the climate at that time, however, a regression of the mixed forests and a development of spruce-birch forests with larch, as well as open assemblages occurred. The forests that dominated at first in the younger interglacial A–II were forests with oak, elm and linden, with the admixture of hornbeam with alder, spruce with an admixture of fir. In the cold period of AI/AII assemblages developed in which herbaceous plants and tundra, and even pine-birch forests with an admixture of oak, elm and linden dominated. Such changes in the plant cover provide evidence of considerable climatic oscillations, and the occurrence of warm, short events.

A development of vegetation similar to the one in the Augustovian Interglacial appeared in the two older warm periods DoI and DoII during the Domuratovian Interglacial, but the contribution of thermophilic trees, such as oak, elm, and linden, was much lower. The plant cover developed in a markedly different fashion in the youngest warm period Do–III. An extended period of stable climate conditions with a record of low-amplitude climatic oscillations is documented by the increase in the contribution of pine in the case of a climatic warming, and NAP and birch indicating a cold climatic oscillation. The climatic optimum of this period is connected with the expansion of oak and maple, with an admixture of ash and hornbeam into forest assemblages. A significant warming is indicated by the appearance of the walnut pollen (*Juglans*).

The Ferdynandovian succession is of a bimodal character. The climatic optimum of the older F 1 interglacial presents a much warmer climate than the optimum of the younger F 2 interglacial. It is indicated by the development of deciduous forests with oak, elm, linden, ash, maple, and hazel building the underwood. The presence of the pollen of yew, ivy, privet, and boxwood, should be connected with mild winters and warm summers, as well as visible influence of maritime climate. The course of plant succession in many profiles displays a drop in the curve of the oak and hazel population and an increase in the level of birch with pine, which is the effect of a cold climatic oscillation.

Numerous climatic fluctuations documented by the expansion of herbaceous vegetation connected with open spaces and forest vegetation appear in the cold period separating both interglacials. Similarly to the Augustovian Interglacial, a significant increase in the contribution of

oak and elm appeared also in the cold period of F 1/F 2, which indicates a marked improvement of the climate conditions (Pidek, Małek 2010; Pidek 2015).

The younger interglacial of F 2 is characterised by climatic instability and the development of a pollen succession typical of classic interglacials. The distinctive property of this interglacial is the colder and notably seasonal nature of climate conditions expressed in the scarcity of elements associated with warmer climate conditions, among others: ivy, boxwood (*Buxus*) and holly (*Ilex*).

The comparison of the three discussed pollen sequences allows to determine the similarities between the discussed successions:

- all of the discussed pollen successions are of a polycycle character, which is expressed by alternating periods with sylvan vegetation and open assemblages of varying climatic rank;
- they are characterized by significant dynamics of the changes in vegetation, indicating both high-amplitude climate changes that suggest interglacial changes in vegetation separated with intense cooling, and low-amplitude climatic oscillations appearing during interglacials, as well as cold periods;
- the characteristic feature of all the successions is the lack or rare appearance of hornbeam in sylvan assemblages of the older, warmer period;
- the co-occurrence of the pollen of oak (*Quercus*) and elm (*Ulmus*) and high concentrations of the elm pollen with a very low contribution of ash;
- rapid spread of alder (*Alnus*) and its high contribution in warm periods;
- low contribution of yew (*Taxus*) in assemblages;
- minimal role of fir in forest assemblages with hornbeam;
- cold periods are characterized by the presence of related plant assemblages connected with glacial conditions; a climatic oscillation expressed in a climate warming is characteristic of all three sequences;
- a low contribution of plants connected with the oceanic climate, expressed in warm winters and the lack of spring ground frost, such as yew, ivy, boxwood and exotic plants, while their appearance is clearly connected with one interglacial/warm period;
- the development of multi-species forest assemblages with a high contribution of oak, elm, and hazel, and in younger periods also

hornbeam, which indicates relatively high summer temperatures;

- elevated summer temperatures are confirmed by the presence of macroremains of plants with high temperature requirement (Stachowicz-Rybka 2004, 2010, 2012), but winter temperatures in climatic optima, particularly in warm periods with hornbeam, reached below 0°C. Such a set of properties indicates a strong influence of continental climate;

- while comparing the changes in the plant cover and climate, one can conclude that the Augustovian and Domuratovian successions are characterized by a stronger floristic affinity and climatic similarity in comparison with the Ferdynandovian succession.

The results of the studies of the sediments from the Kalejty drilling with the records of the Augustovian sequence (Winter 2001) with the paleomagnetic method suggested the existence of the Bruhnes/Matuyama boundary (Ber 2000). Considering the results of the paleomagnetic studies, the older interglacial A I should be correlated with MIS 21, and the younger one with MIS 19. The Domuratovian and Ferdynandovian successions are paleomagnetically recorded in the Bruhnes chronozone (Krzyszowski et al. 1996). In relation to the isotopic stratigraphy from the deep sea cores, the Ferdynandovian succession is unambiguously correlated with MIS 15–13 (Zagwijn 1996). In this context, the succession from Domurat should be related to MIS 17.

It is commonly accepted that approximately at 900 ka first rapid changes began to occur in the components of the climate system that sug-

gest a strong influence of the ice sheet and its changes on the climate of the Pleistocene (Clark et al. 2005), which included MIS 24 and 22. The extended climatic record contained within the Augustovian pollen succession constitutes a floristic and climatic equivalent of MIS 21–19 (Tab. 1). The older interglacial A–I may be correlated with MIS 21, while the cold climatic oscillations occurring in this interglacial may be ascribed to the sub-stadials 21.4 and 21.2. Respectively, the warming periods correspond to the sub-stadials 21.5 and 21.3, and the record of the climatic optimum A–I is contained within MIS 21.1 (Bassinot et al. 1994). The palynological record of MIS 20 corresponding with the cooling A–I/II suggests a definitely cold character of the vegetation and the dynamic climate change is expressed in the appearance of a new open landscape. The A–II Interglacial should be correlated with MIS 19, and the low-scale climate changes are expressed in the presence of warm sub-stadials recorded in the oxygen curve (Bassinot et al. 1994). The climatic optimum represents sub-stadial 19.1, and the warm, post-optimal climatic oscillation should probably be identified as connected with MIS 19.3.

The threefold character of this succession expressing dynamic, large-scale climatic changes perfectly reflects the drop in the  $\sigma^{18}\text{O}$  curve, indicating a warming of the climate during MIS 17.5, 17.3 and 17.1 being the equivalent of the warm periods DoI/III. The increase in this value is connected with the cooling of the climate during the sub-stadials MIS 17.4 and 17.2 and the spread of vegetation connected with open habitats.