

## Zasady klasyfikacji stratygraficznej czwartorzędu Polski i jej główne kategorie

Leszek Marks<sup>1</sup>



**Principles of the Quaternary stratigraphy in Poland and its main categories.** *Prz. Geol.*, 71: 485–502; doi: 10.7306/2023.37

*Abstract.* A reliable stratigraphic subdivision of the Quaternary is extremely important, dependent firstly on primary significance of its deposits in geological investigations and every-day life of human societies. In the Cenozoic, the Quaternary is a period of the same stratigraphic rank as the Palaeogene and the Neogene, but it is much shorter. Traditional stratigraphic schemes of the Quaternary were based mostly on other criteria than of the older periods, because studies of the Quaternary were focused mainly on more easily accessible terrestrial deposits and a decisive role in their formation was played by climate-induced processes. These factors forced a specific approach to define the stratigraphic units and to create the stratigraphic subdivisions of the Quaternary. In the

Quaternary investigations in Poland, several categories of stratigraphic classification are used, particularly lithostratigraphy (with pedostratigraphy and cryostratigraphy), morphostratigraphy, biostratigraphy (including palynostratigraphy, malacostratigraphy, teriostratigraphy and anthropostratigraphy), magnetostratigraphy, chronostratigraphy (synchronized with geochronology) and climatostratigraphy (combined with oxygen isotope stratigraphy). The main climatostratigraphic units can be treated as corresponding to the chronostratigraphic ones and it enables correlation in a regional and global scale. A critical overview of the applied stratigraphic categories and the updated stratigraphic subdivision are presented for Poland.

**Keywords:** lithostratigraphy, morphostratigraphy, biostratigraphy, magnetostratigraphy, chronostratigraphy, climatostratigraphy, isotope stratigraphy, geochronology

Stosowanie wiarygodnego podziału stratygraficznego czwartorzędu wynika przede wszystkim z ogromnego znaczenia jego osadów w badaniach geologicznych i działalności gospodarczej. W Europie, gdzie czwartorzęd został zdefiniowany po raz pierwszy, jego osady i procesy geologiczne odegrały decydującą rolę w ukształtowaniu przypowierzchniowej budowy geologicznej i rzeźby terenu. Ogromne zróżnicowanie przestrzenno-czasowe oraz stopień rozpoznania osadów czwartorzędu, w tym ich odwzorowanie kartograficzne, uzasadniają utrzymywanie historycznego i powszechnie akceptowanego podziału czwartorzędu na plejstocen i holocen. Burzliwa dyskusja w ostatnich kilkunastu latach doprowadziła do prawie pełnego sformalizowania globalnego podziału stratygraficznego tego okresu (m.in., Marks, 2005a, 2006, 2007; Gibbard i in., 2010; Cita i in., 2012; Walker i in., 2018; Head i in., 2021; Suganuma i in., 2021), co wspomaga stosowanie podstawowych standardów podziału czwartorzędu Polski (por. Marks i in., 2014).

Czwartorzęd w podziale stratygraficznym kenozoiku jest okresem równorzędnym z paleogenem i neogenem, trwał natomiast nieporównywalnie krócej, co spowodowało konieczność wprowadzenia specyficznych kryteriów wyróżniania jednostek stratygraficznych różnych kategorii klasyfikacyjnych.

Wybór odpowiedniej kategorii klasyfikacji stratygraficznej zależy przede wszystkim od właściwości osadu, a jednostki stratygraficzne powinny być definiowane zgodnie z powszechnie akceptowanymi zasadami (por. Marks i in., 2014). W badaniach czwartorzędu w Polsce stosuje się różne kategorie klasyfikacji stratygraficznej, w szczególności: litostratyfografię (wraz z pedostratyfografią i kriostratyfografią), morfostratyfografię, biostratyfografię (w tym palinostratygra-

fię, malakostratyfografię, teriostratyfografię i antropostratyfografię), magnetostratyfografię, chronostratyfografię (zsynchronizowana z geochronologią) i klimatostratyfografię (w połączeniu ze stratyfografią izotopową).

Czas trwania głównych jednostek podziału stratygraficznego czwartorzędu, czyli plejstocenu i holocenu, jest bardzo zróżnicowany. Plejstocen rozpoczął się 2,58 mln lat temu, natomiast holocen zaledwie 11 700 lat przed AD 2000, a więc trwa ponad 220 razy krócej niż plejstocen. W związku z tym, przy zachowaniu zasad klasyfikacji stosowanej dla starszych okresów geologicznych, ramy czasowe czwartorzędu i jego dwóch głównych jednostek stwarzają zasadnicze trudności w określeniu rangi ich jeszcze mniejszych jednostek podziału stratygraficznego. Tradycja podziału czwartorzędu jest jednak oparta na innych podstawach niż starszych okresów, ponieważ badania czwartorzędu koncentrowały się przede wszystkim na łatwiej dostępnych osadach lądowych, a decydującą rolę w ich kształtowaniu odgrywały zmiany klimatu. Z tego powodu dotychczasowe schematy podziału stratygraficznego czwartorzędu były zdominowane przez jednostki klimatostratygraficzne.

Celem artykułu jest przedstawienie podstawowych informacji o najważniejszych kategoriach klasyfikacji stratygraficznej oraz krytyczny i kompleksowy przegląd metod stosowanych w badaniach czwartorzędu Polski. Stosowanie w sposób wyważony zasad ustanawiania jednostek stratygraficznych różnych kategorii umożliwia opracowywanie stratygrafii osadów czwartorzędu w skali lokalnej i regionalnej oraz ich wiarygodnej korelacji z podziałami stratygraficznymi krajów ościennych, a także w nawiązaniu do podziału europejskiego i globalnego.

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00–975 Warszawa; [leszek.marks@pgi.gov.pl](mailto:leszek.marks@pgi.gov.pl); ORCID ID: 0000-0002-4507-1828

## LITOSTRATYGRAFIA

Jest najczęściej stosowana w stratygrafii czwartorzędu Polski, ale wyróżniane jednostki litostratygraficzne mają charakter nieformalny, ponieważ powszechnie nie są przestrzegane podstawowe zasady ich definiowania (por. Marks i in., 2014). Jednostki litostratygraficzne powinny być określane na podstawie zasadniczych i możliwych do zaobserwowania cech litologicznych oraz ich zmienności i następstwa. Nieliczne próby sformalizowania jednostek litostratygraficznych w Polsce nie zostały doprowadzone konsekwentnie do końca (np. Makowska, 1986, 2009; Krzyszkowski, 1991; Krzyszkowski, Nita, 1995).

Osady czwartorzędowe w Polsce reprezentują przede wszystkim środowiska lądowe o ograniczonym rozprzestrzenieniu, jednak osady o podobnej litologii mogły powstawać w różnych środowiskach (por. Marks, 2001). Na podstawie litologii można określić przede wszystkim rodzaj środowiska sedymentacyjnego i klimat, natomiast stratygrafię jedynie w ograniczonym zakresie i lokalnie. Podstawą wyodrębniania jednostek litostratygraficznych są cechy i zespoły cech osadów (por. Mycielska-Dowgiałło, Rutkowski, 1995; Marks, 2001), a wyróżnianym jednostkom litostratygraficznym mogą być nadawane nazwy własne. Litostratygrafia jest często stosowana w badaniach rdzeni wiertniczych (por. Kenig, Marks, 2001), ale wyróżniane jednostki mają zazwyczaj bardzo ograniczony zasięg geograficzny. Jednostki litostratygraficzne jedynie sporadycznie mają znaczenie w skali regionalnej (Marks, 1995a, b; Marks, Pavlovskaya, 2003).

Analiza litofacjalna odgrywa wiodącą rolę w litostratygrafii. Powiązanie cech litologicznych osadów z mechanizmem ich depozycji, kierunkami paleotransportu oraz sekwencjami i kompleksami depozycyjnymi umożliwia rekonstrukcję kopalnych środowisk depozycyjnych, a w obszarach o znanej stratygrafii – sformułowanie wniosków stratygraficznych. Na podstawie litologii są wyróżniane litofacje, które mają charakterystyczne cechy wykształcenia, jak skład mineralny i petrograficzny, teksturę, struktury sedymentacyjne i barwę. Osady podobne litologicznie, o odpowiednio dużym przestrzennym nagromadzeniu, budują litosom, który może być definiowany jako jednostka litostratygraficzna, chociaż jego granice są na ogół diachroniczne (por. Gradziński i in., 1986). Sukcesja osadowa, która powstaje w określonym obszarze i jest wzorcowa dla danego typu środowiska, jest nazywana litotypem. Przestrzeń charakteryzująca się określonymi warunkami środowiskowymi to subs środowisko, które może być wyodrębnione na podstawie zespołów litofacji. Zespoły litofacji, modelowe dla danego subs środowiska (środowiska sedymentacji) mogą być uznane za litotypy: przykładowo w środowisku sedymentacyjnym rzeki można wyróżnić subs środowiska koryta, wałów przykorytowych i równi zalewowej. Rozpoznanie relacji przestrzennych pomiędzy osadami poszczególnych subs środowisk i środowisk, w tym analiza kierunków transportu i źródeł pochodzenia materiału, umożliwia rekonstrukcję całego systemu depozycyjnego, co ułatwia określenie jego stratygrafii.

Analiza petrograficzna uzupełnia analizę litofacjalną i może być pomocna w korelacji stratygraficznej. Dotychczasowe rozpoznanie składu petrograficznego osadów czwartorzędu Polski pozwala przede wszystkim na określenie rodzaju i kierunku transportu, co w powiązaniu z du-

żą liczbą dotychczas zebranych danych – niekiedy umożliwia zaszeregowanie stratygraficzne. W niektórych regionach Polski wyniki analizy składu mineralnego i petrograficznego mogą służyć do wyznaczenia granicy pomiędzy osadami neogenu i plejstocenu, jak również stwierdzenia domieszki materiału paleogenu i neogenu w osadach czwartorzędowych (Racinowski, 1995; Rutkowski, 1995). Uziarnienie osadów piaszczystych, morfologia ziaren kwarcu i spektrum minerałów ciężkich ułatwiają odróżnienie osadów rzecznych od fluwioglacjalnych i eolicznych, a także stwierdzenie zmian pedogenetycznych w profilach lessowych i identyfikację pokryw zwietrzelinowych (por. Mycielska-Dowgiałło, Rutkowski, 1995). Dobre obtoczenie ziaren kwarcu jest charakterystyczne dla osadów eolicznych, ale nie ma większego znaczenia dla identyfikacji osadów rzecznych czwartorzędu, przede wszystkim ze względu na domieszkę dobrze obtoczonych osadów podłoża, szczególnie miocenu.

Osady lodowcowe zawierają fragmenty (eratyki) skał krystalicznych i osadowych ze Skandynawii i Morza Bałtyckiego. Jeśli obszary źródłowe są nieduże, to eratyki frakcji 20–60 mm są traktowane jako przewodnie i wskaźnikowe, co umożliwia określenie regionalnych kierunków transgresji lądolodu. Mimo lateralnego zróżnicowania składu eratyków (ryc. 1), dobre rozpoznanie regionalne stanowi podstawę stratygrafii glin lodowcowych, a w ograniczonym stopniu – także innych osadów lodowcowych (Różycki, Lamparski, 1967; Lamparski, 1971; Czubła, 2001, 2015; Czubła i in., 2006; Górska-Zabielska, 2008).

Skład petrograficzny osadów tej samej jednostki litostratygraficznej może się radykalnie zmieniać w skali regionalnej, bo zależy od źródła pochodzenia materiału. Szczególnie wyraźnie zaznacza się to w osadach rzek, których dorzecze ma zróżnicowaną budowę geologiczną. W obszarze objętym zlodowaceniami plejstoceniowymi w Polsce analiza petrograficzna osadów może służyć do określenia źródła pochodzenia materiału w glinach lodowcowych i osadach fluwioglacjalnych. Analiza uziarnienia i składu minerałów ciężkich jest istotna dla litostratygrafii osadów rzecznych i fluwioglacjalnych. W plejstoceniowych osadach piaszczystych środkowej i północnej Polski dominacja minerałów odpornych (np. granat, cyrkon, rutył) w składzie minerałów ciężkich sugeruje genezę rzeczną. Natomiast występowanie dużej zawartości minerałów nieodpornych (np. amfibole, pirokseny) i znacząca domieszka frakcji żwirowej wskazuje na środowisko fluwioglacjalne.

W identyfikacji osadów rzecznych ważną rolę odgrywa ich położenie względem potencjalnej bazy erozyjnej, czyli począwszy od interglacjału mazowieckiego względem poziomu Morza Bałtyckiego, a wcześniej poziomu Morza Północnego (por. Marks, Pochocka, 1999; Marks, Pavlovskaya, 2003; Marks, 2004). W wielu opracowaniach nie jest to brane pod uwagę, a większość osadów piaszczystych w otworach wiertniczych interpretowano jako osady rzeczne, mimo ich ogromnych miąższości, występowania nawet kilkadziesiąt metrów poniżej poziomu morza oraz dużych różnic wysokości położenia osadów uznawanych za równowiekowe w sąsiednich obszarach (Mojski, 1965; Nowak, 1965, 1974; Michalska, 1967; Straszewska, 1968; Baraniecka, 1974; Baraniecka i in., 1978; Sarnacka, 1978, 1992; Lindner i in., 1982; Lamparski, 1983; Bałuk, 1991; Jeziorski, 1991a, b; Niewiarowski, Wysota, 1996).



Weryfikacja genezy plejstoceńskich osadów piaszczystych w Polsce doprowadziła do istotnej zmiany ich stratygrafii i paleogeografii (Marks, Pochocka, 1999; Marks, Pavlovskaya, 2003; Marks, 2004, 2005b). Począwszy od interglacjału mazowieckiego stwierdzono powtarzalność sieci rzecznej Polski niżowej w kolejnych interglacjałach, a także występowanie głębokich, kopalnych obniżen wypełnionych osadami fluwioglacjalnymi, które powstały jako rynny subglacjalne w czasie zlodowaceń plejstoceńskich (ryc. 2).

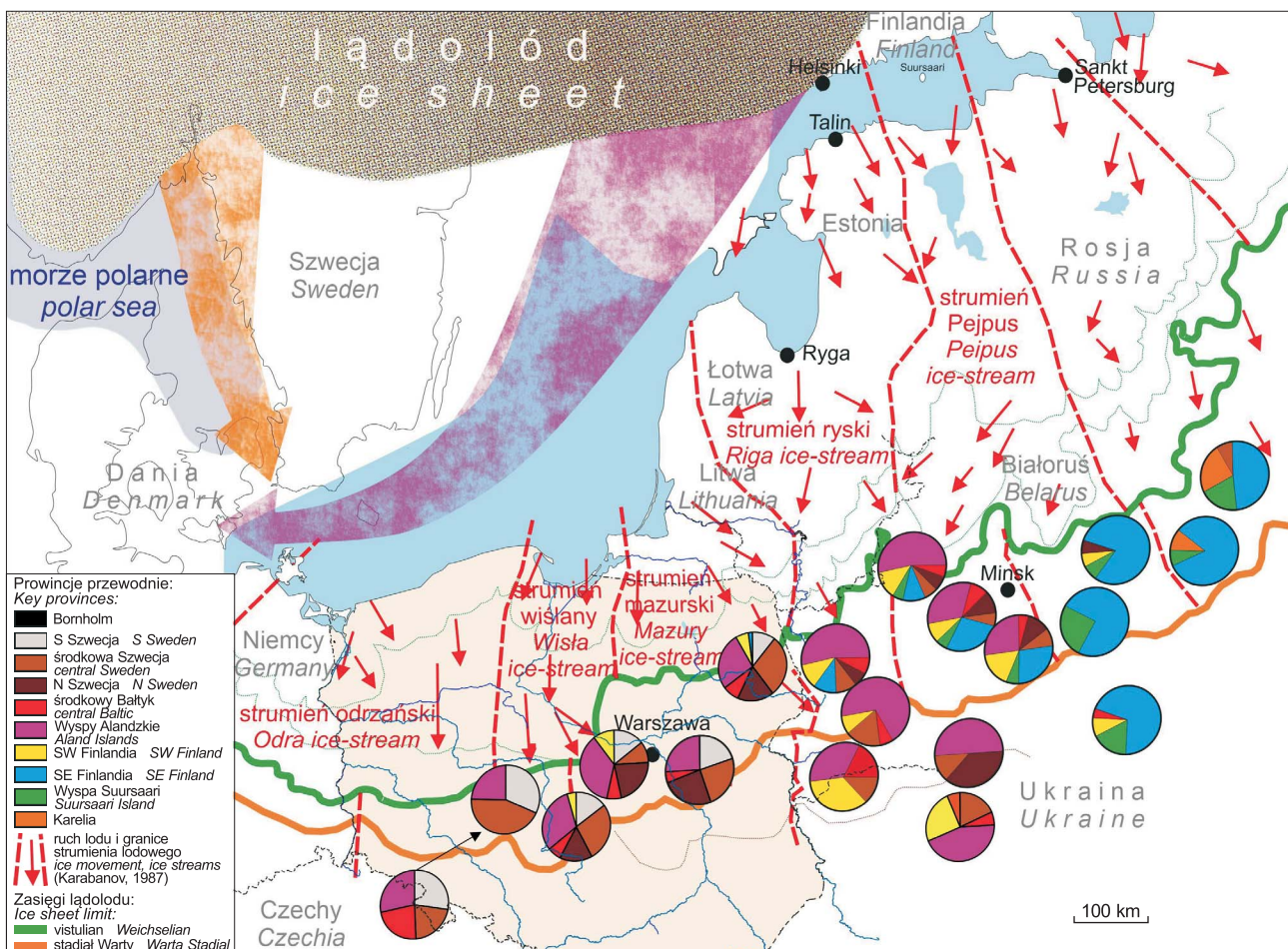
Uproszczona analiza składu petrograficznego frakcji zwirowej 5–10 mm glin lodowcowych (skały krystaliczne, kwarc, wapienie, dolomity, dolomity skandynawskie, piaskowce, łupki) jest wykonywana przede wszystkim w celu kwalifikacji stratygraficznej glin lodowcowych z rdzeni wiertniczych na podstawie współczynników petrograficznych: O/K; K/W; A/B (O – skały osadowe, K – skały krystaliczne i kwarc, W – skały węglanowe, A – skały nieodporne i B – odporne na niszczenie), ale także ułatwia identyfikację kier lodowcowych starszych glin lodowcowych w glinach młodszych (Zabielski, 1996). Ta metoda jest w ograniczonym zakresie przydatna do korelacji regionalnej glin lodowcowych z uwagi na oboczne zróżnicowanie ich składu petrograficznego (Czerwonka, Krzyszkowski, 1994; Kenig, 1998; Gałązka i in., 1999; Zabielski, 2000, 2004), natomiast jej bezrefleksyjne stosowanie do-

prowadziło do nierealistycznego rozbudowania stratygrafii glin lodowcowych na obszarze Polski (por. Lisicki, 2003).

W osadach rzecznych w Polsce stwierdzono znaczny udział materiału eolicznego, którego depozycja zachodziła przede wszystkim w czasie zlodowaceń i zwiększała się wraz z postępującym ochłodzeniem (por. Goździk, 1995).

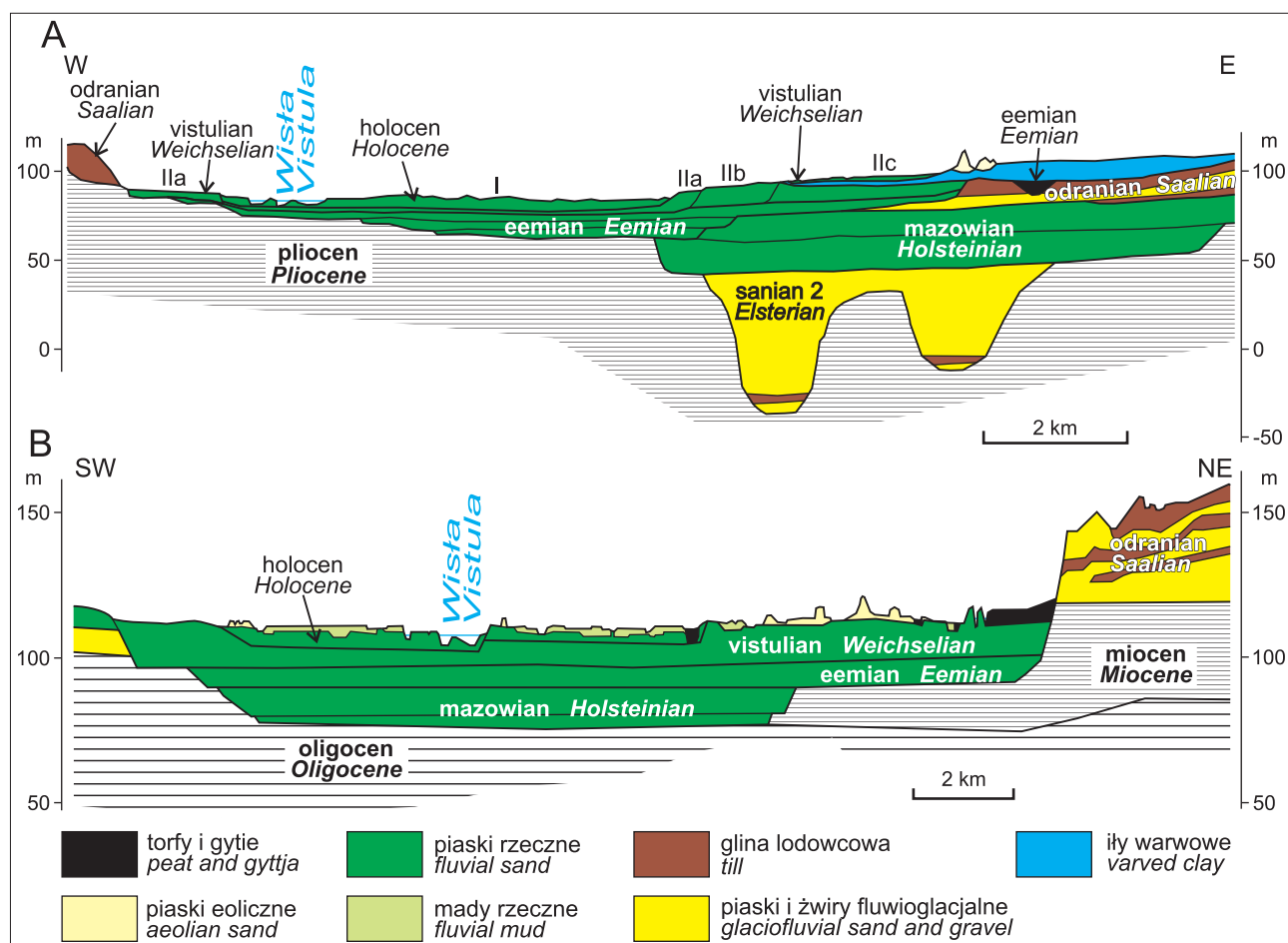
Oprócz klasycznej litostratygrafii (*sensu stricto*) w litostratygrafii czwartorzędu Polski są stosowane również pedostratygrafia i kriostratygrafia (por. Marks i in., 2014). Pedostratygrafia ma na celu uporządkowanie stratygraficzne gleb kopalnych i ich zespołów wyróżnianych na podstawie diagnostycznych cech biofizykochemicznych i morfologicznych. Celem kriostratygrafii jest uporządkowanie stratygraficzne epigenetycznych struktur peryglacjalnych i ich zespołów.

Gleba kopalna ma znaczenie w stratygrafii jedynie wtedy, gdy stwierdzono w niej składowe poziomy diagnostyczne, co pozwala na określenie typu gleby oraz warunków klimatycznych i środowiskowych jej powstania (Marks i in., 2014). Gleby interglacjalne mają jednoznacznie pozycję stratygraficzną i są uznawane za stratotypy glebowe o wysokim stopniu zaawansowania pedogenezy, wyrażonej wykształceniem diagnostycznych poziomów glebowych. Gleba młodsza mogła uformować się również w obrębie gleby starszej (która nabiera wówczas charakteru relikтового) i wtedy powstaje tzw. pedokompleks,



**Ryc. 1.** Regionalna zmienność składu eratyków przewodnich w glinach lodowcowych (diagramy kołowe); na podstawie Gałązki (2004, niepubl.), uzupełnione i zmodyfikowane

**Fig. 1.** Regional spectra of northern key erratics in tills (circle diagrams); after Gałązka (unpublished), supplemented and modified



**Ryc. 2.** Stratygrafia interglacialnych osadów rzecznych w dolinie środkowej Wisły według Marksa (2004, 2005b), zmodyfikowane: **A** – Kotlina Warszawska; **B** – rejon Koźnic; **I** i **IIa–c** – tarasy rzeczne

**Fig. 2.** Stratigraphy of interglacial fluvial deposits in the Middle Vistula Valley after Marks (2004, 2005b), modified; **A** – Warsaw Basin; **B** – Koźnice area; **I** and **IIa–c** – fluvial terraces

którego obecność wskazuje na co najmniej 2 fazy glebotwórcze.

W wyniku działania procesów mrozowych i obecności wieloletniej zmarzliny powstają struktury o ściśle określonych cechach diagnostycznych (np. wypełnienia po klinach oraz szczelinach mrozowych, struktury soliflukcyjne i krioturbacyjne). Ich występowanie w profilu osadów wskazuje na klimat peryglacjalny (Lindner, Bogucki, 2002).

Stratygrafia lessów w Polsce jest oparta na litostratygrafii, uzupełnionej pedomorfostratygią, a gleby kopalne i struktury peryglacjalne są regionalnymi markerami stratygraficznymi (ryc. 3; Marks i in., 2014). Okresy zimne (glacjalne) charakteryzuje wysokie tempo depozycji pyłu eolicznego grubofrakcyjnego i struktury klimatu peryglacjalnego. W okresach nieco cieplejszych tempo przyrastania lessu było małe, dominowała depozycja pyłu eolicznego drobnofrakcyjnego i zachodziły inicjalne procesy glebotwórcze. W okresach interglacjalnych i interstadialnych nie zachodziła depozycja lessu w Polsce, natomiast dominowała intensywna pedogeneza.

W ostatnim czasie w badaniach lessu w Polsce stosuje się analizę spektrofotometryczną, która polega na wzmocnieniu różnicowania barwy (kolorostratygrafia) sekwencji sedymentacyjnych w lessie i glebach kopalnych. Umożliwia to precyzyjne określenie wzorców kolorystycznych poszczególnych warstw lessów i diagnostycznych pozio-

mów glebowych, co może okazać się przydatne w szczegółowej stratygrafii kompleksów lessowo-glebowych (Mroczek, Łanczont, 2023).

## MORFOSTRATYGRAFIA

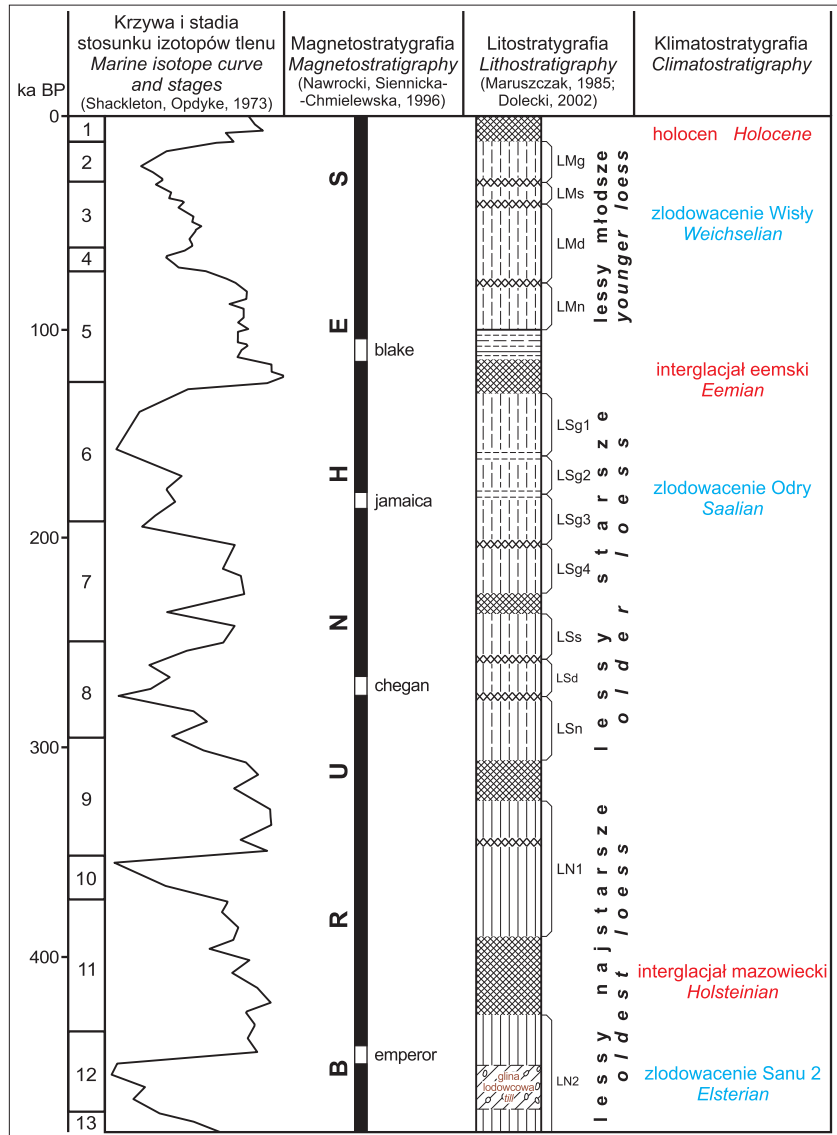
Morfostratygrafia jest komplementarna w stosunku do litostratygrafii. Osady czwartorzędowe, które tworzą w Polsce formy rzeźby powierzchni terenu, powstawały prawie wyłącznie w lądowych, bardzo zróżnicowanych środowiskach sedymentacyjnych. Jednoznaczne zaszeregowanie stratygraficzne osadów, mimo ich dużej zmienności obocznej, jest możliwe w wielu przypadkach jedynie na podstawie ich powiązania z formami rzeźby terenu. Morfostratygrafia ułatwia uporządkowanie stratygraficzne form i typów rzeźby terenu na podstawie ich cech morfometrycznych, morfogenetycznych i morfochronologicznych (por. Marks i in., 2014). Dostateczna ilość danych z otworów wiertniczych umożliwia również identyfikację i klasyfikację stratygraficzną kopalnych form rzeźby (Lindner, 1987).

Wyróżniane jednostki morfostratygraficzne odzwierciedlają określone etapy rozwoju rzeźby, co umożliwia wyznaczenie zasięgu form i typów rzeźby powierzchniowej lub kopalnej. W stratygrafii czwartorzędowej Polski morfostratygrafia jest stosowana przede wszystkim do



**Ryc. 3.** Stratygrafia kompleksów lessowo-glebowych w Polsce. Symbole pokładów lessu: LN – less najstarszy (1 – młodszy, 2 – starszy); LS – less starszy i LM – młodszy (poziomy: n – najniższy, d – dolny, s – środkowy i g – górny); lessy są oddzielone paleoglebami

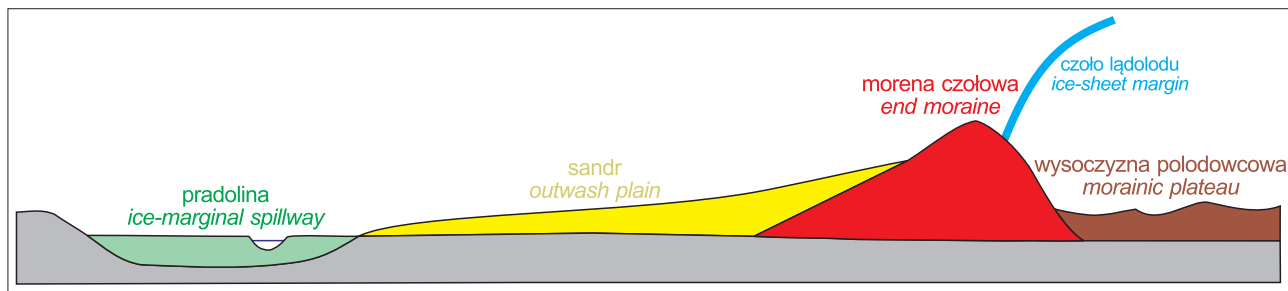
**Fig. 3.** Loess-palaeosol stratigraphy in Poland. Loess symbols: LN – oldest loess (1 – younger, 2 – older); LS – older and LM – younger loess (horizons: n – lowest, d – lower, s – middle and g – upper); loesses are separated by palaeosols



zespołów form rzeźby lodowcowej i rzecznej. W przypadku rzeźby lodowcowej jest to nawiązanie do koncepcji tzw. serii glacialnej (Penck, Brückner, 1909–1911), która w pełnym rozwinięciu w obszarze zlodowacenia skandynawskiego składa się z zespołu kilku form rzeźby: wysoczyzny polodowcowej lub misy końcowej, moreny czołowej, równiny sandrowej i pradolina (ryc. 4).

W rzeźbie rzecznej jednostki morfostratygraficzne mogą odpowiadać kolejnym tarasom rzeczny lub ich fragmentom związanym z różnym rozwinięciem koryta rzecznej, np. roztokowym, meandrowym czy małym lub wielkim meandrom (ryc. 5).

Znaczenie morfostratygrafii zależy od wieku i jest znacznie większe w przypadku rzeźby młodszej. Stosowanie morfostratygrafii w odniesieniu do rzeźby lodowcowej jest utrudnione w sytuacji bardziej skomplikowanego rozwoju strefy marginalnej, związanego z różnoczasowymi transgresjami lądolodu i nadbudowywania starszych form rzeźby przez młodsze.



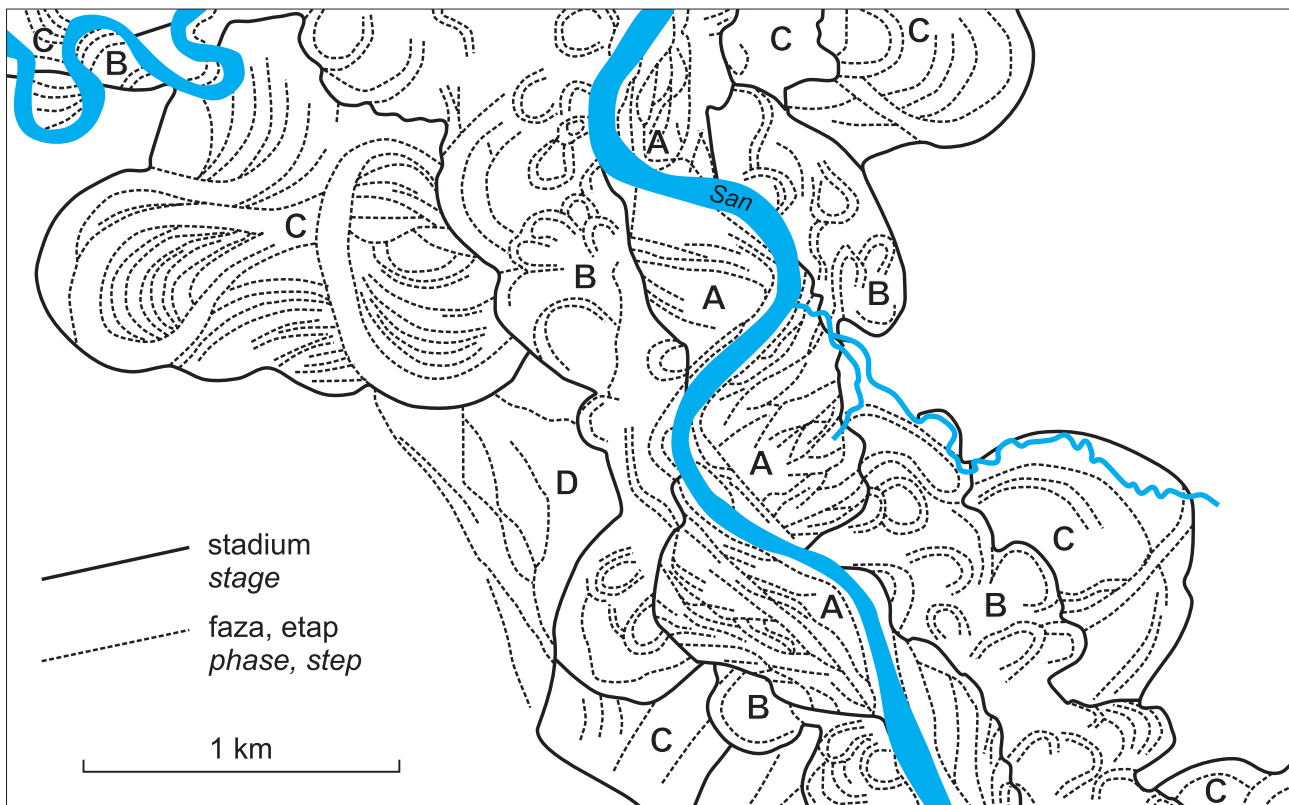
**Ryc. 4.** Zespół form rzeźby lodowcowej charakterystyczny dla strefy marginalnej lądolodu; w znaczeniu morfostratygraficznym może reprezentować stadium, fazę lub etap

**Fig. 4.** Landform system characteristic for the ice-sheet marginal zone; it can represent stage, phase or standstill in a morphostratigraphic sense

### BIOSTRATYGRAFIA

Podział czwartorzędu Polski opiera się między innymi na analizie zasięgów stratygraficznych kopalnych taksonów przewodnich (skamieniałości przewodnich). Zasadniczo odzwierciedla to historię rodową (filogenezę) organizmów żywych, w której podstawową rolę ma powstawanie i wymieranie gatunków. Jednorazowość wydarzeń filogenetycznych stanowi o unikalnym charakterze





**Ryc. 5.** Jednostki morfostratygraficzne w dolinie rzecznej (Lindner, 1987) na przykładzie doliny Sanu w rejonie Leżajska według A. Szumańskiego (Starkel, 1977), zmodyfikowane i uproszczone; stadia i fazy chłodne charakteryzuje rozwinięcie roztokowe, a stadia i fazy ciepłe – rozwinięcie meandrowe koryt rzecznych; etap jest zaznaczony przez odsypy na powierzchni tarasu. Tarasy niskie: **A** – ślady koryt rzeki roztokowej; **B** – ślady małych meandrów; **C** – ślady wielkich meandrów; **D** – taras średni ze śladami koryt rzeki roztokowej

**Fig. 5.** Morphostratigraphic units in a river valley (Lindner, 1987): San valley near Leżajsk after A. Szumański (Starkel, 1977) as an example, modified and simplified; cold stages and phases are represented by a braided pattern, and steps by bars on a terrace surface. Lower terraces: **A** – traces of braided channels; **B** – traces of small meanders; **C** – traces of large meanders; **D** – middle terrace with traces of braided channels

biostratygrafii i jej potencjale korelacyjnym, ale ze względu na krótkotrwałość czwartorzędu oraz ograniczoną ewolucję flory i fauny w tym czasie, o wiele większe znaczenie odgrywało przemieszczanie stref roślinnych i migracja zwierząt (także ludzi) w reakcji na zmiany klimatu (por. Marks i in., 2014). Drastyczne zmiany klimatu pomiędzy interglacjami a zlodowaceniami spowodowały cykliczną przebudowę zespołów roślinnych i zwierzęcych typowych dla klimatu zimnego lub ciepłego oraz suchego lub wilgotnego i znajduje to odzwierciedlenie w zapisie geologicznym.

W biostratygrafii czwartorzędu są przydatne przede wszystkim taksony wskaźnikowe, charakterystyczne dla określonych warunków środowiskowych i klimatycznych. Mogą być one równowiekowe z zawierającymi je osadami występującymi w miejscu życia organizmów (czyli autochtoniczne), różnowiekowe – przetransportowane poza miejsce życia (czyli paraautochtoniczne) i mieszane – zawierające jednowiekowe elementy autochtoniczne i paraautochtoniczne. Podstawową jednostką biostratygraficzną jest poziom, który obejmuje osady definiowane w miejscu zaniku lub pojawiania się taksonów w profilu stratygraficznym i zawierające taksony charakterystyczne. Znaczenie fundamentalne dla stratygrafii czwartorzędu ma moment zaniku we wczesnym plejstocenie gatunków flory i fauny ciepłolubnej, typowej dla neogenu (Lindner, 1992).

W biostratygrafii czwartorzędu Polski są wykorzystywane metody paleobotaniczne (palinostratygrafia), paleozoologiczne (malakostratygrafia i teriostratygrafia) oraz archeologiczne (antropostratygrafia). Ich zakres czasowy i precyzja są różne, co zależy także od typu osadów (por. Marks i in., 2014).

## PALINOSTRATYGRAFIA

Odgrywa najważniejszą rolę w biostratygrafii czwartorzędu Polski. Polega na analizie składu pyłku (zwykle z dokładnością do rodzaju) i określaniu na tej podstawie sukcesji pyłkowej w profilach osadów. Transport pyłku, niekiedy na dużą odległość, sprawia, że kreowane jednostki palinostratygraficzne mają przede wszystkim znaczenie regionalne, a skład flory pyłkowej zmienia się zależnie od rozmieszczenia stref klimatyczno-roślinnych (por. Ralska-Jasiewiczowa, 2006). W uzupełnieniu analizy pyłkowej stosuje się analizę makroszczałków roślinnych, umożliwiającą określenie składu roślinności lokalnej z dokładnością do gatunku.

Przemiany zachodzące w zbiorowiskach roślinnych są przede wszystkim skutkiem zmian klimatu (m.in. Jessen, Milthers, 1928; Tobolski, 1976; Różycki, 1980; Janczyk-Kopikowa, 1991), dlatego rekonstrukcja sukcesji

pyłkowych jest istotna w stratygrafii czwartorzędu. W najcieplejszych okresach interglacjalów występowała roślinność wskazująca na klimat co najmniej tak ciepły, jak w optimum holocenu w tym samym regionie (Jessen, Milthers, 1928). Natomiast interstadiały w czasie zlodowaceń trwały zbyt krótko lub były zbyt chłodne, aby mogła rozwinąć się w tym samym regionie taka sama flora, jak podczas interglacjalów (West, 1977). W środkowej Europie początek interglacjalu wyznacza zastąpienie roślinności zielonej charakterystycznej dla klimatu zimnego przez zbiorowiska leśne, a w przypadku końca interglacjalu zachodzi to w odwrotnym kierunku (Jessen, Milthers, 1928; Turner, West, 1968).

W interglacjalnej sukcesji pyłkowej wyróżnia się 4 (Iversen, 1964) lub 5 (Socha i in., 2016) okresów (stadiów) o charakterystycznym typie roślinności. Po stadium kriokratycznym (zbiorowiska otwarte) nastąpiły kolejno: protokratyczne (zbiorowiska łąkowo-leśne), mezokratyczne (lasy liściaste), oligokratyczne i telokratyczne (lasy iglaste), co było związane ze zmianami temperatury i wilgotności, czemu towarzyszył rozwój różnych gleb (ryc. 6).

Występowanie w plejstocenie takich samych taksonów roślin jak obecnie umożliwia rekonstrukcję ówczesnych warunków środowiskowych i klimatu. Na przykład *Hedera*, *Viscum* i *Ilex* są dobrymi wskaźnikami ocieplenia (Iversen, 1944), natomiast *Juniperus communis* i *Betula nana* wskazują odpowiednio na warunki borealne (Kolstrup, 1980) i klimat subarktyczny (Ran, 1990). Współczesna geografia roślin stanowi przesłankę do odtworzenia średniej temperatury rocznej, temperatury lata (lipca) i zimy (stycznia) oraz średnich opadów rocznych, a także umożliwia pokazanie izoterm na określonym obszarze (Iversen, 1944; Grichuk, 1969; Isarin, Bohncke, 1999). Określenie

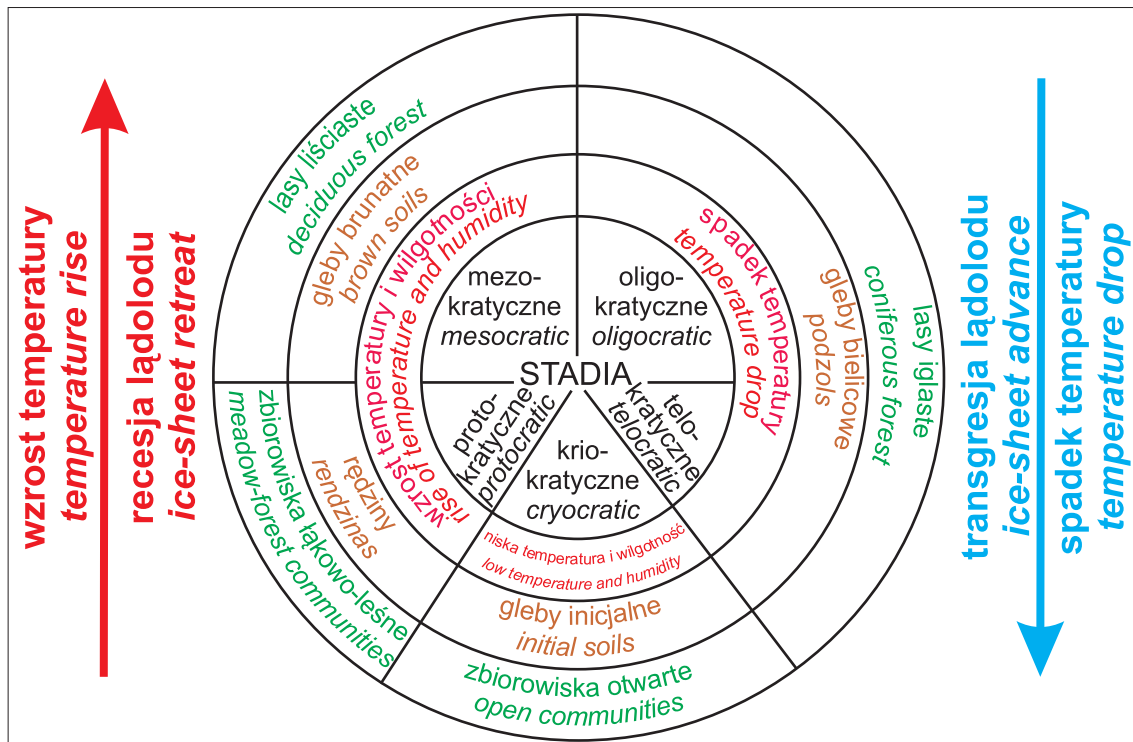
parametrów klimatu na podstawie kilku–kilkunastu gatunków wskaźnikowych w tej samej sukcesji pyłkowej pozwala na zawężenie zakresu temperatury i wielkości opadów (Isarin, Bohncke, 1999; Klotz i in., 1999; Pross, Klotz, 2002; Kühl i in., 2007).

Poszczególne interglacjalny w czwartorzędzie Polski, mimo generalnego podobieństwa, charakteryzują się występowaniem różnych gatunków roślin charakterystycznych (Środoń, 1960) i odrębną sukcesją pyłkową (por. Lindner i in., 2013). Dwa starsze interglacjalny (podlaski i ferdynandowski) mają 2–3 optima klimatyczne, rozdzielone wyraźnymi ochłodzeniami (tab. 1). W młodszych interglacjalach (mazowieckim, eemskim i holocenie) nastąpiło tylko jedno wyraźne optimum klimatyczne (Lindner i in., 2013).

Próba ustanowienia jednostki glacialnej (zlodowacenia) na podstawie spektrum pyłkowego klimatu zimnego w sukcesji interglacjalu ferdynandowskiego (Pidek, 2000, 2003) nie uzyskała akceptacji, ponieważ każda jednostka glacialna musi być udokumentowana występowaniem osadów lodowcowych (Winter, 2006; por. Janczyk-Kopikowa, 1987). Nietrafność wyznaczania jednostek glacialnych na podstawie flory zimmolubnej wykazano również przez korelację sukcesji pyłkowej interglacjalu ferdynandowskiego z krzywą stosunku izotopów tlenu w osadach głębo-komorskich (Bińka, Marks, 2018).

#### METODY PALEOZOLOGICZNE

W osadach czwartorzędu Polski występują szczątki różnych zwierząt, ale tylko niektóre z nich są przydatne do celów stratygraficznych (por. Marks i in., 2014). Wśród bezkręgowców znaczenie stratygraficzne mają jedynie mięczaki (malakostratygrafia), a wśród kręgowców – ssaki



**Ryc. 6.** Cykl klimatyczno-ekologiczny (glacialno-interglacjalny) przedstawiający ewolucję gleb i zespołów roślinnych w Europie Środkowej; na podstawie Iversena (1964) i Socha i in. (2016), zmodyfikowane  
**Fig. 6.** Climate-ecological (glacial-interglacial) cycle with evolution of soils and vegetation communities in central Europe after Iversen (1964) and Socha et al. (2016), modified

**Tab. 1.** Interglacialne sukcesje pyłkowe w Polsce: augustowska, ferdynandowska, mazowiecka i eemska; poziomy zespołów pyłkowych: L PAZ – lokalne, R PAZ – regionalne; według Marksa i in. (2016a), nieco zmodyfikowane**Table 1.** Interglacial pollen successions: Augustovian, Ferdynandovian, Mazovian and Eemian; pollen assemblage zones: L PAZ – local, R PAZ – regional; after Marks et al. (2016a), modified

Augustowska sukcesja pyłkowa Stanowisko Szczebra <i>Augustovian pollen succession</i> Site Szczebra (Janczyk-Kopikowa, 1996)			Ferdynandowska sukcesja pyłkowa Stanowisko Ferdynandów <i>Ferdynandovian pollen succession</i> Site Ferdynandów (Janczyk-Kopikowa, 1996)			Mazowiecka sukcesja pyłkowa Nizina Południowopodlaska <i>Mazovian pollen succession</i> South Podlasie Lowland (Krupiński, 2000)			Eemska sukcesja pyłkowa Stanowisko Imbramowice <i>Eemian pollen succession</i> Site Imbramowice (Mamakowa, 1989)			
L PAZ			R PAZ			R PAZ			R PAZ			
Sz 13	<i>Pinus-Juniperus-NAP</i>		11	<i>NAP-Pinus-Betula</i>		M 9	<i>Pinus</i>	b. <i>Pinus-(Betula)</i> a. <i>Pinus-(Picea)</i>	E 7	<i>Pinus</i>		
Sz 12	<i>Pinus-Betula-Alnus</i>		10	<i>Pinus-Betula-NAP</i>		M 8	<i>Carpinus-Quercus-Abies</i>		E 6	<i>Picea-Abies-Alnus</i>		
Sz 11	<i>Pinus-NAP</i>		9 8			M 7			<i>Abies-Carpinus-Quercus-(Corylus)</i>	E 5	<i>Carpinus-Corylus-Alnus</i>	
Sz 10	<i>Pinus-Alnus-Picea (Azolla-Salvinia)</i>	ościeplenie II warming II	7	<i>Alnus-Carpinus</i>	optimum	M 6	<i>Pinus-Picea-Alnus</i>	optimum	E 4	<i>Corylus-Quercus-Tilia</i>		
Sz 9	<i>Quercus-Ulmus-Carpinus</i>		6	<i>Betula-Pinus-NAP</i>		M 5	<i>Taxus-Picea-Alnus</i>		E 3	<i>Quercus-Fraxinus-Ulmus</i>		
Sz 8	<i>Pinus-Betula-Artemisia</i>		5	<i>Pinus-Betula</i>		M 4	<i>Picea-Alnus-(Taxus)</i>					
Sz 7	<i>Pinus-Picea-Azolla</i>	ościeplenie I warming I	4	<i>Abies-Picea</i>	optimum	M 3	<i>Picea-Alnus-(Pinus)</i>					
Sz 6	<i>Betula-Pinus-Azolla</i>		3	<i>Quercus-Ulmus-Corylus</i>		M 2	<i>Betula-Pinus-(Picea-Alnus)</i>		E 2	<i>Pinus-Betula-Ulmus</i>		
Sz 5	<i>Pinus-Picea</i>		2	<i>Pinus-Betula-Quercus</i>								
Sz 4	<i>Betula-Larix</i>		1	<i>Betula-NAP-Pinus</i>		M 1	<i>Betula-NAP</i>		E 1	<i>Pinus-Betula</i>	b <i>Betula</i> a <i>Pinus</i>	
Sz 3	<i>Pinus</i>											

(teriostratygrafia). W osadach morskich istotną rolę odgrywają zwykle otwornice, ale na terenie Polski nie mają one istotnego znaczenia stratygraficznego.

### Malakostratygrafia

Znaczenie stratygraficzne pojedynczych taksonów mięczaków (ślimaków i małży) jest stosunkowo niewielkie, a ich szczątki są wykorzystywane w badaniach paleogeograficznych i paleośrodowiskowych w skali lokalnej i regionalnej (por. ryc. 7; Alexandrowicz, Alexandrowicz, 2011). Występowanie mięczaków jest uwarunkowane charakterem siedlisk (wodne, otwarte lądowe, zalesione, podmokłe), natomiast korelacja stratygraficzna w osadach tego samego wieku może następczą znaczących trudności. Zmiany składu i struktury zespołów mięczaków najczęściej były związane z migracją spowodowaną przez zmiany klimatu. Skorupki mięczaków są zazwyczaj mało mobilne w środowisku sedymentacyjnym i bardzo łatwo ulegają zniszczeniu, co utrudnia oznaczenie gatunku, a nawet rodzaju.

Na obszarze Polski można wyróżnić jedynie 3 grupy taksonów o znaczeniu stratygraficznym. W pierwszej z nich są taksony całkowicie wymarłe, np. *Theodoxus serratiliformis* Geyer, *Viviparus diluvianus* (Knuth), *Corbicula fluminaris* (Müller), *Pisidium sculatum* (Wood) i *Vallonia*

*tenuilabris* Braun oraz ich ekoformy, np. *Pupilla muscorum loessica* Łożek i *Pupilla muscorum densegyrata* Łożek. W grupie drugiej są gatunki przybyłe na obszar Polski, głównie w wyniku działalności człowieka, np. *Potamopyrgus antipodarum* (Gray) i *Physa acuta* Draparnaud. Do grupy trzeciej należą taksony występujące tylko w określonej pozycji stratygraficznej, ale żyjące współcześnie w innych krajach Europy, np. *Drobia banatica* (Rossm.) i *Belgrandia marginata* (Mich.; Alexandrowicz, Alexandrowicz, 2011).

### Teriostratygrafia

Zespół szczątków ssaków kopalnych bardzo rzadko ma skład zbliżony do biocenozy (Marks i in., 2014) i zwykle stanowi jedynie jej fragment, zależnie od sposobu nagromadzenia. W Polsce przeważają stanowiska jaskiniowe, a poza nimi na ogół są znajdowane jedynie pojedyncze kości ssaków, w większości na złożu wtórnym. Nagromadzenia szczątków kostnych mogą mieć charakter tanatocenozy, ale częściej są resztkami pokarmowymi drapieżników (np. zrzutki ptaków drapieżnych, pozostałości po zwierzynie upolowanej przez drapieżniki) lub pozostałościami działalności człowieka. Z tego powodu różny skład ma przykładowo tanatocenoza w dnie studni krasowej (do której wpadały duże i małe zwierzęta), zespół



Stratygrafia <i>Stratigraphy</i>			Środowisko <i>Environment</i>		
			lądowe <i>terrestrial</i>	słodkowodne <i>freshwater</i>	morskie <i>marine</i>
holocen <i>Holocene</i>	fazy <i>zones</i>	subatlantycka <i>Subatlantic</i>	<i>Helicella obvia</i> <i>Ceciliooides acicula</i>	<i>Potamopyrgus antipodarum</i> <i>Dreissena polymorpha</i> <i>Bythinella austriaca</i>	
		subborealna <i>Subboreal</i>	<i>Helix pomiana</i> <i>Condrula tridens</i> <i>Truncatellina cylindrica</i>	<i>Lymnaea stagnalis</i> <i>Pisidium amnicum</i> <i>Planorbis cornuus</i> <i>Viviparus viviparus</i>	
		atlantycka <i>Atlantic</i>	<i>Ruthenica filograna</i>	<i>Gyraulus albus</i> <i>Bithynia tentaculata</i>	<i>Cerastoderma edule</i> <i>Macoma balthica</i>
		borealna <i>Boreal</i> preborealna <i>Preboreal</i>	<i>Discus perspectivus</i> <i>Discus rotundatus</i> <i>Discus ruderatus</i>	<i>Gyraulus laevis</i>	
plejstocen <i>Pleistocene</i>	górnym <i>Upper</i>	późny glacjał <i>Late Glacial</i>	<i>Vertigo genesii</i> <i>Succinella oblonga</i>	<i>Pisidium stewarti</i> <i>Pisidium obtusale lapponicum</i>	
		vistulian <i>Weichselian</i>	<i>Pupilla loessica</i> <i>Columella columella</i> <i>Vallonia tenuilabris</i> <i>Semilimax kotulai</i>	<i>Gyraulus laevis</i> <i>Gyraulus acronicus</i> <i>Pisidium obtusale lapponicum</i>	<i>Poretlandia arctica</i>
	środkowym <i>Middle</i>	eemian <i>Eemian</i>	<i>Drobacia banatica</i>	<i>Belgrandia marginata</i>	<i>Bittium reticulatum</i> <i>Nassa reticulata</i> <i>Hydrobia ulve</i>
		odranian <i>Saalian</i>	<i>Pupilla loessica</i> <i>Succinella oblonga</i> <i>Vallonia tenuilabris</i>	<i>Gyraulus laevis</i>	
		krznanian <i>Krznanian</i>	<i>Pupilla loessica</i>		
		zbójnian <i>Zbójnian</i>		<i>Viviparus diluvianus</i> <i>Pisidium sculatum</i>	
		liwiecian <i>Liviecian</i>	<i>Pupilla loessica</i>		
mazowian <i>Holsteinian</i>	<i>Macrogastera densestriata</i> <i>Drobacia banatica</i>	<i>Viviparus diluvianus</i> <i>Pisidium sculatum</i>			
dolnym <i>Lower</i>		<i>Soosia diodonta</i> <i>Aeogopinella lozekiana</i> <i>Drobacia banatica</i> <i>Zonitoides sepultus</i>	<i>Lithoglyphus jahni</i> <i>Corbicula fluminaris</i>		

Ryc. 7. Malakostratygrafia czwartorzędu w Polsce według Alexandrowicz, Alexandrowicz (2011), zmodyfikowane

Fig. 7. Malacostratigraphy of the Quaternary in Poland after Alexandrowicz, Alexandrowicz (2011), modified

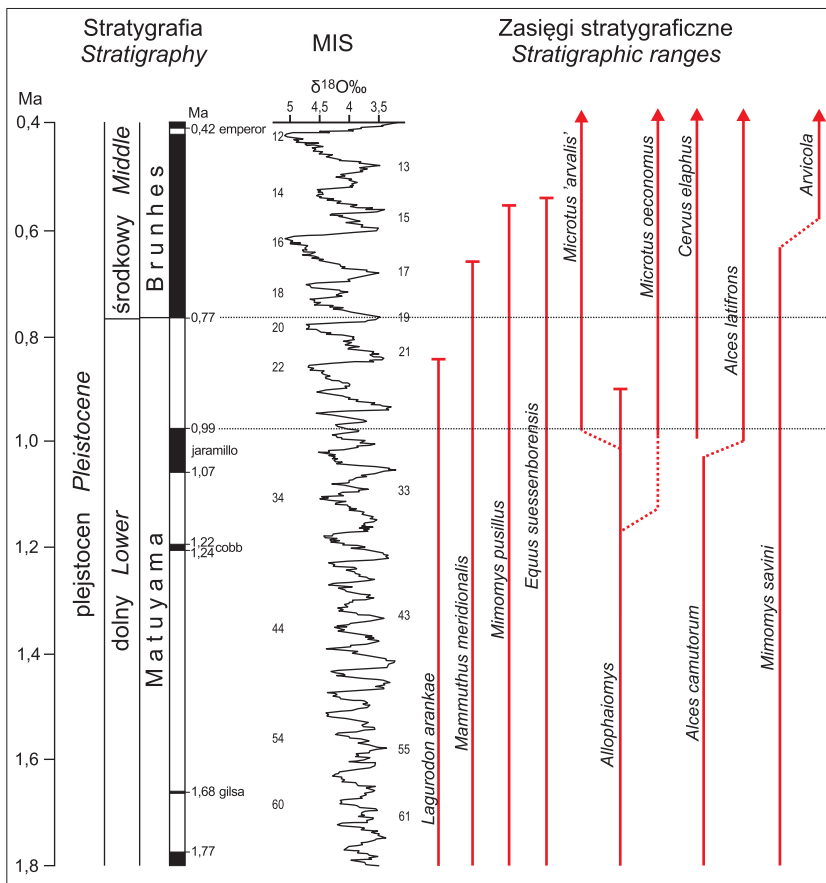
szczątków zwierząt będących pozostałością pokarmową sów i zespół w miejscu przebywania kolonii nietoperzy. W stratygrafii czwartorzędu Polski znaczenie mają tylko szczątki występujące w osadach równowiekowych.

Nazwy jednostek teriostratygraficznych pochodziły początkowo od stanowisk charakterystycznych, które następnie powiązano z odpowiadającymi im jednostkami czasowymi (Kretzoi, 1941), a następnie zostały zmodyfikowane regionalnie (np. Chaline, 1972; Horáček, 1981). Obecnie stosuje się terminy poziom lub biozona, uzupełnione o nazwy taksonów charakterystycznych (np. Fejfar i in., 1998). Moment pojawienia się lub zaniku danego gatunku lub rodzaju może dotyczyć jego występowania na Ziemi lub tylko w danej jednostce biogeograficznej i jest zwykle powiązany ze zmianą warunków środowiskowych (por. Hedberg, 1976). Horáček (1981) wprowadził w czwartorzędzie Europy terminy odnoszące się do momentu pojawienia się (FAD – *first appearance datum*) i zaniku (LAD – *last appearance datum*) gatunków wskaźnikowych. Szczególnie istotny dla stratygrafii czwartorzędu jest moment zaniku ciepłolubnych gatunków neogeńskich w plejstocenie

nie dolnym i pojawienie się nowych gatunków w pobliżu granicy tzw. plejstocenu przedglacjalnego i glacialnego (por. ryc. 8).

Teriostratygrafia plejstocenu dolnego i środkowego Europy jest oparta na zespołach wielkich ssaków, ale zespoły małych kręgowców, szczególnie szczątki gryzoni (w tym nornikowatych) odgrywają rolę zasadniczą. Są one najważniejszymi markerami stratygraficznymi dla plejstocenu dolnego i środkowego we wschodniej i północnej Europie, co wynika z ich zmian ewolucyjnych (zaznaczonych między innymi w morfologii zębów) oraz migracji spowodowanej raptownymi zmianami środowiskowymi.

Dla subchrony Jaramillo charakterystyczny jest nornik *Allophaiomys pliocaenicus* należący do prymitywnych gryzoni z podrodziny nornikowatych. Wśród norników wodnych występuje *Mimomys pusillus* i *Mimomys savini* (alias *M. intermedius*), a po raz pierwszy pojawia się *Prolagurus pannonicus*, zastępując *P. ternopolitanus*. Pomiedzy subchroną Jaramillo a granicą Brunhes/Matuyama, *Allophaiomys* daje początek dwóm bardziej rozwiniętym gałęziom, reprezentowanym przez *Microtus* (*Stenocranius*)



Ryc. 8. Zasięgi stratygraficzne niektórych ssaków w okresie 1,8–0,4 Ma; MIS – morskie stadia izotopowe

Fig. 8. Stratigraphic ranges of selected mammals at 1.8–0.4 Ma; MIS – marine isotope stages

gr. *oeconomicus*, a przed granicą Brunhes/Matuyama *Prolagurus pannonicus* został zastąpiony przez *Prolagurus posterius*. W tym czasie *Allophaiomys* występował już bardzo rzadko.

Istotną granicą biostratygraficzną w starszej części plejstocenu środkowego jest MIS 16, poniżej której występują szczątki norników wodnych *Mimomys pusillus* i *Mimomys savini*, a powyżej – tylko *Mimomys pusillus*. Norniki *M. pusillus* i *M. savini* miały zęby trzonowe z korzeniami, natomiast od MIS 13 pojawiły się gatunki z zębami bezkorzeniowymi lub formy przejściowe, które przypisano rodzajowi *Arvicola* (np. *A. terrestris cantiana* i *A. mosbachensis*).

*hintoni* i *Microtus (Terricola)* sp. Przetrwały późne formy *Allophaiomys*, podobnie jak *Prolagurus pannonicus* i inne norniki. Następnie pojawił się *Microtus (Palassiinus)* ex

Fauna plejstocenu środkowego i górnego, w odróżnieniu od istotnych zmian, jakie zaszły w jej składzie w plejstocenie dolnym, w niewielkim stopniu różni się od

system/okres system/period	oddział/epoka series/epoch	pododdział/podepoka subseries/subepoch	piętro/wiek stage/age	GSSP	wiek age	
czwartorzęd Quaternary	holocen Holocene	górnym Upper / późnym Late	megalaj Megalayan		4,2 ka	
		środkowym Middle	northgrip Northgrippian		8,2 ka	
		dolnym Lower / wczesnym Early	grenland Greenlandian		11,7 ka	
	plejstocen Pleistocene	górnym Upper / późnym Late				129 ka
		środkowym Middle	cziba Chibanian		774 ka	
		dolnym Lower / wczesnym Early	kalabr Calabrian		1,80 Ma	
			gelas Gelasian		2,58 Ma	

Ryc. 9. Chronostratygrafia i geochronologia czwartorzęd. Kody kolorów CMYK wszystkich jednostek stratygraficznych zgodnie z ustaleniami Komisji Mapy Geologicznej Świata (CGMW): GSSP – globalny profil i punkt stratotypowy (na podstawie Walker i in., 2018; Head i in., 2021)

Fig. 9. Chronostratigraphy and geochronology of the Quaternary. Codes of CMYK colours for all stratigraphic units after the Commission for the Geological Map of the World: GSSP – Global Stratotype Section and Point (based on Walker et al., 2018; Head et al., 2021)

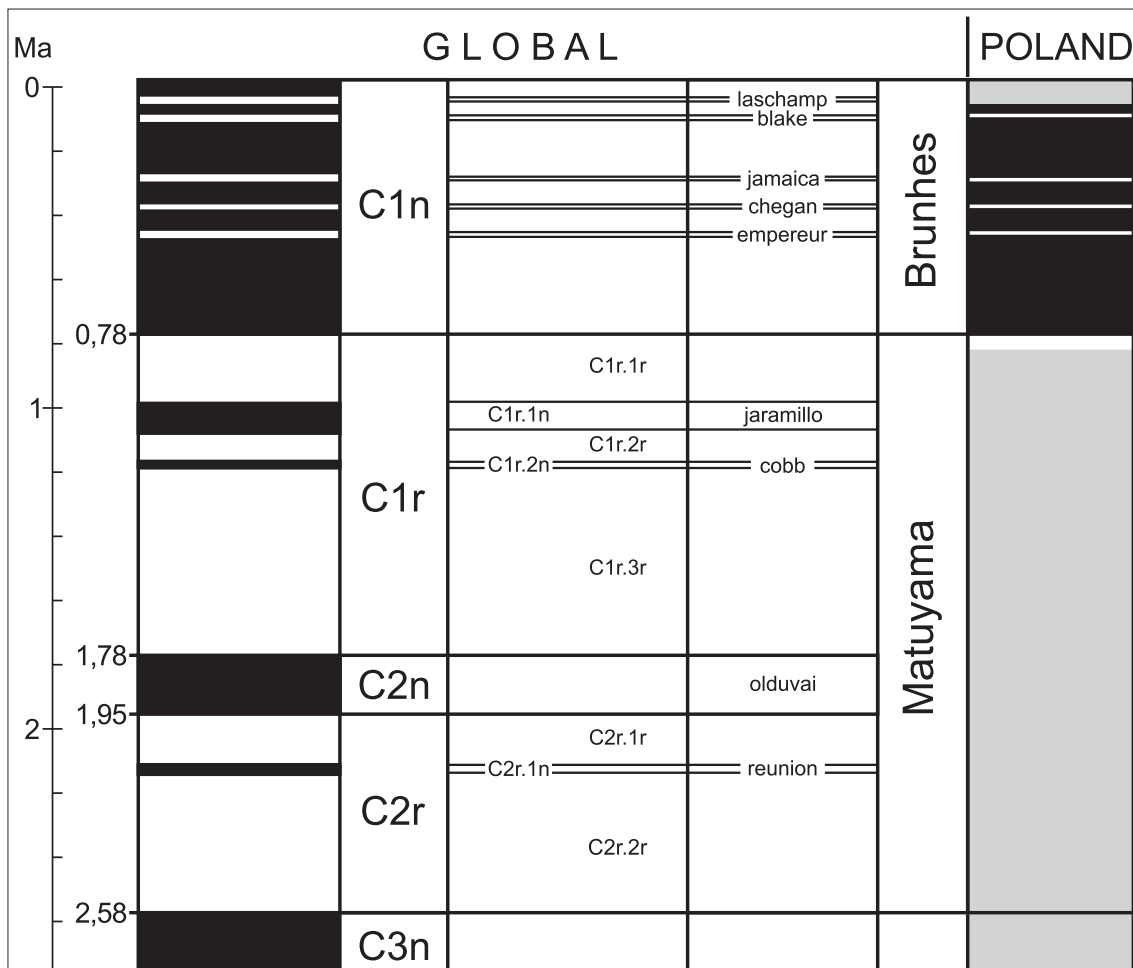
współczesnej. Przesuwanie stref klimatycznych powodowało, że w cieplejszych okresach plejstocenu zwierzęta zimnokrwiste, a także ssaki i ptaki wędrowne migrowały na północ, a w okresach zimnych – na południe.

#### ANTROPOSTRATYGRAFIA

Opiera się na występowaniu śladów działalności (w tym artefaktów), a w mniejszym stopniu fragmentów kości człowieka. Jednostki antroprostarygraficzne są wyróżniane jako poziomy zasięgu kultury i mają na ogół stosunkowo krótki zasięg czasowy wskutek znacznie szybszego tempa rozwoju kulturowego w porównaniu z ewolucją biologiczną (por. Marks i in., 2014). Utrudnieniem jest współwystępowanie kultur w tym samym czasie, co nasila się w holocenie. W Polsce materiały archeologiczne występują rzadko i są ograniczone do najmłodszej części plejstocenu środkowego, plejstocenu górnego i holocenu. Doniesienia o występowaniu artefaktów z młodszej części plejstocenu dolnego (Foltyn i in., 2010) nie zostały uznane za wiarygodne (Wiśniewski i in., 2014).

#### CHRONOSTRATYGRAFIA, GEOCHRONOLOGIA I MAGNETOSTRATYGRAFIA

Podział chronostratygraficzny czwartorzędu ma zasięg globalny i wywodzi się z korelacji wiekowej skał na podstawie kryteriów paleontologicznych, litologicznych, magnetycznych, radiometrycznych, morfologicznych i klimatycznych (por. Marks i in., 2014). Ustanawianie jednostek chronostratygraficznych i powiązanych z nimi jednostek geochronologicznych jest sformalizowane i związane z wyznaczaniem odpowiedniego, globalnego profilu i punktu stratotypowego (*Global Stratotype Section and Point* – GSSP). Granice jednostek są definiowane w profilach typowych, zawierających ciągłą lub prawie ciągłą sekwencję osadów (Walsh i in., 2004), ale w przypadku czwartorzędu reprezentujących nie tylko środowisko morskie (Walker i in., 2018; Head i in., 2021). Chronostratygrafia czwartorzędu Polski nawiązuje do podziału globalnego (ryc. 9) na podstawie nielicznych badań paleomagnetycznych (ryc. 10), datowania metodą U/Th nacieków jaskiniowych oraz datowania metodami  $^{14}\text{C}$ , OSL i izotopów kosmogenicznych



**Ryc. 10.** Magnetostratygrafia czwartorzędu – globalna na podstawie Heller, Evans (1995): C – magnetozona kenozoiczna i kredowa (młodsza od najniższego aptu), n – polaryzacja normalna, r – polaryzacja odwrotna; Polski na podstawie Głazka i in. (1977), Nawrockiego i Wójcika (1995), Nawrockiego i Siennickiej-Chmielewskiej (1996): szary – brak informacji

**Fig. 10.** Quaternary magnetostratigraphy – global based on Heller, Evans (1995): C – Cenozoic and Cretaceous (younger than the lowest Aptian) magnetozones, n – normal polarization, r – reverse polarization; Polish based on Głazek et al. (1977), Nawrocki, Wójcik (1995) and Nawrocki, Siennicka-Chmielewska (1996): grey – no information



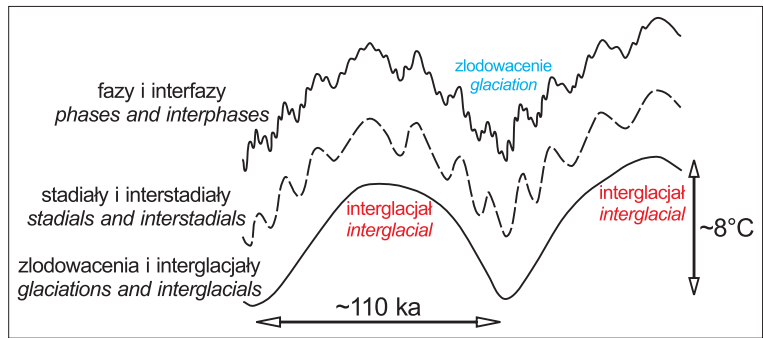
osadów plejstocenu górnego i holocenu. W stratygrafii czwartorzędu Polski datowanie osadów jest możliwe także z wykorzystaniem między innymi dendrochronologii oraz warwochronologii, co dotyczy odpowiednio drewna kopalnego i osadów rytmicznie warstwowych. Wyniki mają bardzo ograniczony zasięg czasowy (kilka-kilkanaście tysięcy lat) lub pozwalają na uzyskanie jedynie chronologii „pływającej”.

### KLIMATOSTRATYGRAFIA I STRATYGRAFIA IZOTOPOWA

Klimatostratygrafia czwartorzędu jest stratygrafią zintegrowaną (holostratygrafią), która łączy różne kategorie klasyfikacji stratygraficznej, a także umożliwia osiągnięcie największej rozdzielczości wiekowej i najlepszej korelacji stratygraficznej w skali od lokalnej po globalną (por. Marks i in., 2014). Większość czynników wpływających na środowisko na Ziemi odbywa się cyklicznie (cyklostratygrafia) i dlatego stratygrafia czwartorzędu Polski jest oparta na zmianach klimatu, które, zachodząc cyklicznie, chociaż z różną intensywnością i w różnym czasie, miały dominujący wpływ na procesy sedymentacji i erozji. Mimo asynchroniczności regionalnej zmian klimatu i zróżnicowanego czasu epizodów klimatycznych, przeprowadzenie korelacji międzyregionalnej na podstawie kryterium klimatycznego jest możliwe z większą dokładnością niż z zastosowaniem innych kategorii klasyfikacji stratygraficznej. Ograniczeniem klimatostratygrafii jest skomplikowany i zróżnicowany przebieg zmian klimatu, a ponieważ litologia osadów nie jest jednoznacznym wskaźnikiem klimatu podczas depozycji, konieczne jest również uwzględnianie innych rejestrów geologicznych (np. zespołów skamieniałości i geochemii osadów).

Cyklotemy są traktowane jako jednostki izochroniczne, utworzone w wyniku różnych zjawisk powodujących cykliczność sedymentacji, co przede wszystkim odzwierciedlają cykle glacialno-interglacialne i lessowo-glebowe (Kukla, 1978; Lindner i in., 2002). Uzasadnienia teoretycznego realiów występowania cykli klimatycznych dostarczyła analiza parametrów ruchu orbitalnego Ziemi, a za główny czynnik cykliczności klimatu uważa się obecnie cykle orbitalne (Milankoviča), powodujące okresowe zróżnicowanie promieniowania słonecznego docierającego do Ziemi wskutek powtarzających się zmian jej orbity (m.in. co 100 000, 41 000 i 26 000 lat). Cykle Milankoviča nie wyjaśniają wprawdzie inicjacji i zakończenia plejstoceńskiej epoki lodowej, ale wskazują, dlaczego rozwój lodowców w plejstocenie zachodził regularnie. Jednostki klimatostratygraficzne czwartorzędu mają charakter regionalny lub lokalny, ponieważ rytm zmian klimatu w czwartorzędzie podlegał istotnej modyfikacji geograficznej. Ze zmianami klimatu były związane zmiany zasięgu lodowców, przesuwanie stref roślinnych, migracja zwierząt i hominidów.

Klasyfikację jednostek klimatostratygraficznych obszarów zlodowaconych w plejstocenie zaproponował Lüttig (1958), co dla potrzeb stratygrafii czwartorzędu w Polsce zaadaptował i zmodyfikował Różycki (1964a). Zaproponował on układ hierarchiczny jednostek różniących się czasem i skalą zmian klimatu. Najwyższe rangą okresy



Ryc. 11. Hierarchia jednostek klimatostratygraficznych według Różyckiego (1964a, b), zmodyfikowane; zaznaczono długość głównego cyklu klimatycznego i różnicę średniej temperatury globalnej pomiędzy zlodowaceniem a interglacjalnym

Fig. 11. Hierarchy of climatostratigraphic units according to Różycki (1964a, b), modified; duration of the main climatic cycle and the temperature difference between glaciations and interglacials are indicated

zimne (zlodowacenia) i ciepłe (interglacjalny) dzielą się na stadiały i interstadiały, ale w obrębie zlodowaceń wyróżniono także jednostki niższej rangi: fazy i interfazy oraz etapy i interglacjalne etapy. Traktując punkty kulminacyjne ochłodzeń i ociepleń za kluczowe dla podziału klimatostratygraficznego plejstocenu, Różycki (1964a, b) przyjął odpowiednią symbolikę literowo-cyfrową na oznaczenie wahań klimatycznych różnej rangi, co skutkowało przejrzystością podziału stratygraficznego plejstocenu Polski. Początkowo jednostki zimne były odnoszone do zmian zasięgu czoła lądolodu (morfostratygrafia): stadiał lub interstadiał odpowiadał zmianom zasięgu czoła lądolodu ponad 100 km, faza lub interfaza – 20–50 km i etap lub oscylacja – mniejszym lub dłuższej stabilizacji czoła lądolodu (por. ryc. 11). Natomiast jednostki ciepłe wyróżniano przede wszystkim na podstawie kryteriów biostratygraficznych i litostratygraficznych.

Za podstawowe jednostki klimatostratygraficzne w strefie występowania zlodowaceń plejstoceńskich uważa się obecnie zlodowacenia (glacjalny), kiedy w umiarkowanych szerokościach geograficznych występowały lądolody, oraz interglacjalny. W najcieplejszych okresach interglacjalny klimat był co najmniej tak ciepły jak w optimum holocenu w tym samym regionie, natomiast był znacznie chłodniejszy w interstadiałach podczas zlodowaceń (Jessen, Milthers, 1928; West, 1977). Sukcesja roślinności i ewolucja gleb w cyklu klimatyczno-ekologicznym wpisują się w rytm zmian środowiska wywołany naprzemiennym występowaniem zlodowaceń i interglacjalny w czwartorzędzie (por. Iversen, 1964). W profilach lessowych i wydmych jednolita skała macierzysta sprawia, że zróżnicowanie powstających gleb odzwierciedla przede wszystkim cechy klimatu, pokrywy roślinnej i rzeźby oraz długości trwania procesu glebotwórczego (Lindner, 1992).

Na obszarach poza bezpośrednim oddziaływaniem zlodowaceń (np. w strefie ekstraglacialnej – w Polsce w dolnym plejstocenie) są wyróżniane równoważne jednostki klimatostratygraficzne: ochłodzenia, gdy nie było lądolodu, ale rozpoznano jednoznaczne dowody występowania klimatu zimnego, i ocieplenia jako okresy klimatu cieplejszego pomiędzy kolejnymi ochłodzeniami. Jednostkami mniejszej rangi są zwykle odpowiednio faza i interfaza.

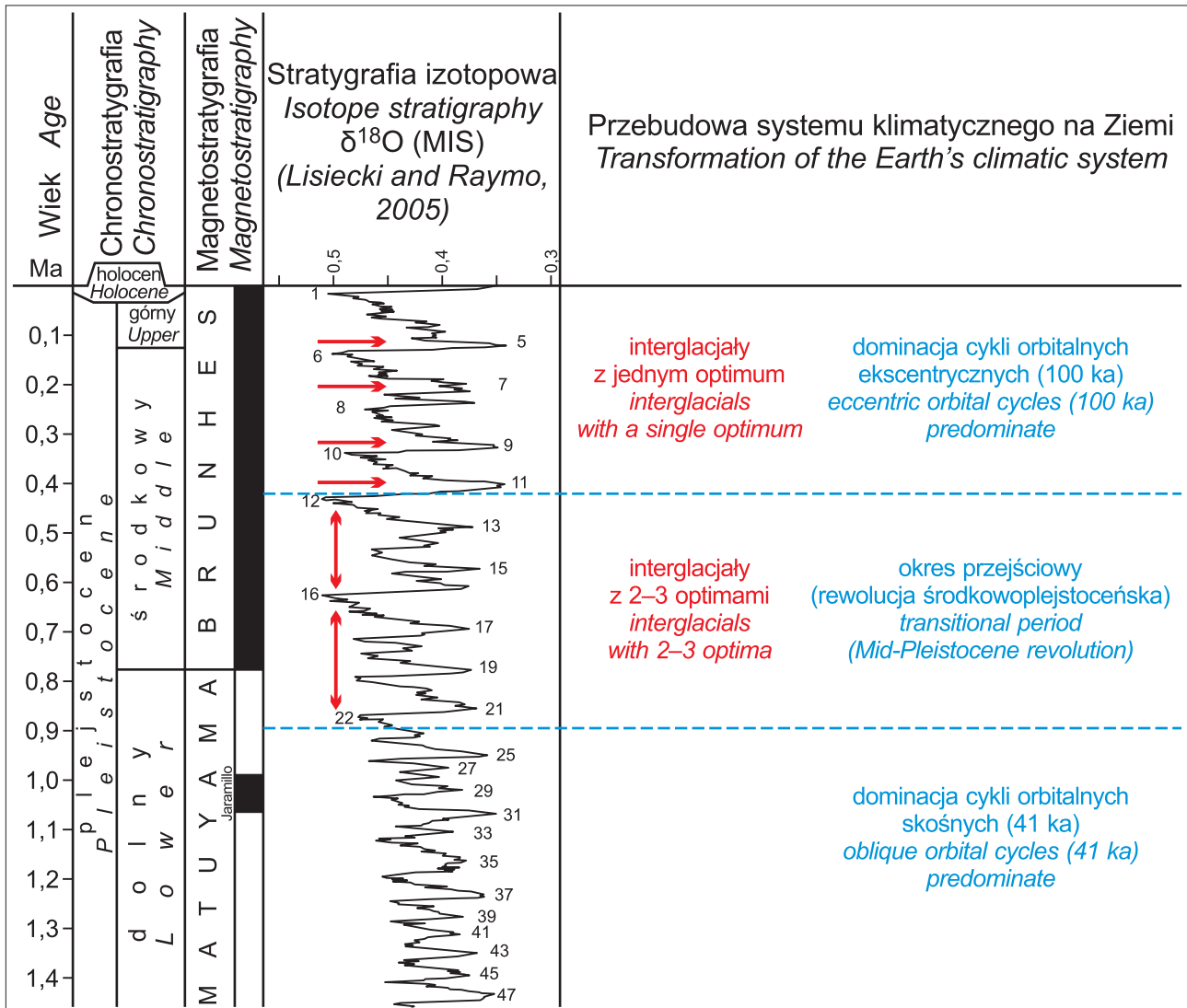
Zlodowacenia (ochłodzenia) i interglacjały (ocieplenia) tradycyjnie uznawano za piętra klimatostratygraficzne i w związku z tym na podstawie arbitralnie przyjmowanych i nieformalnych stratotypów regionalnych wprowadzono w podziałach stratygraficznych czwartorzędu Polski piętra zimne i ciepłe (Mojski, 1985, 1995, 2005), które reprezentowały oscylacje klimatyczne pierwszej rangi. Jednakże wkrótce stwierdzono, że przynajmniej niektóre z takich pięter są wewnątrznie złożone i przeprowadzono ich podział na podpiętra lub poziomy, co wynikało z biostratygrafii pięter ciepłych i litostratygrafii pięter zimnych.

Obecnie uważa się, że piętra klimatostratygraficzne są jednostkami zdecydowanie wyższej rangi, bowiem plejstoceńska epoka lodowa składała się z cykli glacialno-interglacialnych, złożonych z cykli podrzędnych, np. stadialno-interstadialnych (por. Lindner i in., 2002). Główne cykle klimatyczne występujące w sekwencjach ciągłych typu interglacial – glacial – interglacial mogą więc stanowić podstawę do zdefiniowania piętra klimatostratygraficznego, złożonego z grupy kolejno następujących po sobie ociepleń i ochłodzeń, zazwyczaj określanego jako

kompleks (np. kromerski, południowopolski). W klimatostratygrafii czwartorzędu Polski kompleksami są również interglacjały zawierające więcej niż jedno optimum klimatyczne (por. Lindner i in., 2013).

W stratygrafii czwartorzędu istotną rolę odgrywają tzw. długie sekwencje pyłkowe, obejmujące kilka kolejnych jednostek klimatostratygraficznych (np. Hammen van der i in., 1971; Reille, de Beaulieu, 1995), których następstwo i sukcesja pyłkowa umożliwiają korelację z krzywymi  $\delta^{18}\text{O}$  w osadach głębokomorskich (Tzedakis i in., 2004; Martrat i in., 2007). W stratygrafii czwartorzędu Polski za długie sekwencje pyłkowe można uznać takie, które oprócz interglacialu obejmują także fragmenty zlodowaceń (ochłodzeń) bezpośrednio go poprzedzających i następujących po nim. W Polsce takich sekwencji jest niewiele, najważniejsze z nich są reprezentowane przez stanowiska interglacialne w Ossówce, Horoszkach i Ferdynandowie (por. Nitychuruk i in., 2005; Granoszewski i in., 2012; Bińka, Marks, 2018).

Zmiana długości i zróżnicowania przebiegu interglaciali jest prawdopodobnie wynikiem głębokiej transfor-



Ryc. 12. Zmiana systemu klimatycznego Ziemi w okresie 0,9–0,4 Ma, odzwierciedlona w czasie trwania interglaciali w plejstoceenie, według Lindnera i in. (2013), zmodyfikowane

Fig. 12. Transformation of the Earth's climatic system at 0.9–0.4 Ma, reflected in duration of the interglacials in the Pleistocene, after Lindner et al. (2013), modified

macji ziemskiego systemu klimatycznego w czasie tzw. rewolucji środkowoplejstoceniowej, skutkującej sprzężeniami zwrotnymi w cyklach glacialno-interglacialnych (Maslin, Ridgwell, 2005). Nie nastąpiła wówczas gwałtowna zmiana parametrów orbity Ziemi (Berger, Loutre, 1991), ale dominujący w dolnym plejstocenie cykl orbitalny skośny był zbyt krótki (41 ka) i nie pozwalał lądolodom półkuli północnej na osiągnięcie wielkości krytycznej, umożliwiającą ich dłuższe przetrwanie. Natomiast rola cyklu orbitalnego ekscentrycznego (100 ka) stawała się z początkiem rewolucji środkowoplejstoceniowej coraz większa. W stratygrafii czwartorzędu Polski znajduje to odzwierciedlenie w czasie oraz poli- i monocykliczności interglacjałów (ryc. 12; Lindner i in., 2013).

Rytm zmian klimatycznych można rozpoznać na podstawie zmienności litologicznej i paleontologicznej osadów lądowych, natomiast dużo trudniejsze jest określenie na podstawie sekwencji osadów czasu trwania poszczególnych epizodów klimatycznych, także z powodu nieregularnego występowania zjawisk ekstremalnych (np. powodzie, wybuchy wulkanów). Dla ostatnich 40 000 lat najbardziej satysfakcjonujące ramy czasowe podziału klimatostratygraficznego uzyskano z zastosowaniem datowania metodą radiowęglą. Ramy czasowe większości starszych jednostek klimatostratygraficznych określono przez odniesienie do stratygrafii izotopowej. Jest ona oparta na rejestrach zmienności stosunku izotopów tlenu  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  ( $\delta^{18}\text{O}$ ) w osadach głębokomorskich i rdzeniach lodowych, co umożliwiło wyróżnienie sekwencji tlenowych stadiów izotopowych (Emiliani, 1955), nazywanych morskimi piętrami izotopowymi (MIS – *marine isotope stages*), jeśli zostały wyznaczone w rdzeniach głębokomorskich. Stadia odpowiadające okresom ciepłym mają numerację nieparzystą, a zimnym – parzystą i są numerowane kolejno, od piętra 103 w najniższym plejstocenie do piętra 1, trwającego obecnie (ryc. 12, 13).

Badania profili o wysokiej rozdzielczości (przede wszystkim rdzeni lodowych, ale także sekwencji jeziornych i nacieków jaskiniowych) umożliwiły rozpoznanie w obrębie jednostek pierwszego rzędu znacznie większej liczby epizodów klimatycznych o małej intensywności lub cykliczności, określanych jako wydarzenie, oscylacja lub faza. W rezultacie zostały utworzone szczegółowe, zbiorcze wzorce i profile stratygraficzne, które są wykorzystywane również w stratygrafii czwartorzędu Polski (np. Roman i in., 2014; Starkel i in., 2015, 2017; Marks i in., 2016b; Bińka, Marks, 2018).

Ograniczony zakres czasowy stosowanych metod datowania sprawia, że w klimatostratygrafii czwartorzędu poważnym utrudnieniem jest ustalenie chronologii. Granice jednostek klimatostratygraficznych są zwykle synchroniczne jedynie w ograniczonym obszarze, a ich częsta diachroniczność regionalna wyklucza bezpośrednią korelację z jednostkami chronostratygraficznymi. Sekwencje osadów morskich, szczególnie głębokomorskich, charakteryzuje względnie stałe tempo sedymentacji w długich odcinkach czasu i dlatego, uwzględniając opóźnienie reakcji oceanów na zmiany klimatu (Parrenin i in., 2007), są one najbardziej odpowiednie dla wyznaczania granic jednostek klimatostratygraficznych. Morskie stadia izotopowe są obecnie powszechnie stosowane w korelacji stratygraficznej w czwartorzędzie (por. Cohen, Gibbard, 2019), a rejestrowana w nich zmiana wartości stosunku izotopów

tlenu jest odnoszona bezpośrednio do zmian objętości lodu lodowców na Ziemi i pośrednio do zmian temperatury globalnej.

Terminologia chrono- i klimatostratygraficzna jest często stosowana zamiennie, co skutkuje brakiem precyzji w korelacji międzyregionalnej. Jednostki klimatostratygraficzne czwartorzędu są powszechnie korelowane z jednostkami chronostratygraficznymi w taki sposób, że są wyznaczone naprzemiennie piętra zimne i ciepłe. Powoduje to jednak znaczne zamieszanie w rozróżnianiu podziałów klimatostratygraficznego i chronostratygraficznego, także z tego powodu, że ogromna większość jednostek klimatostratygraficznych nie ma zdefiniowanych stratotypów.

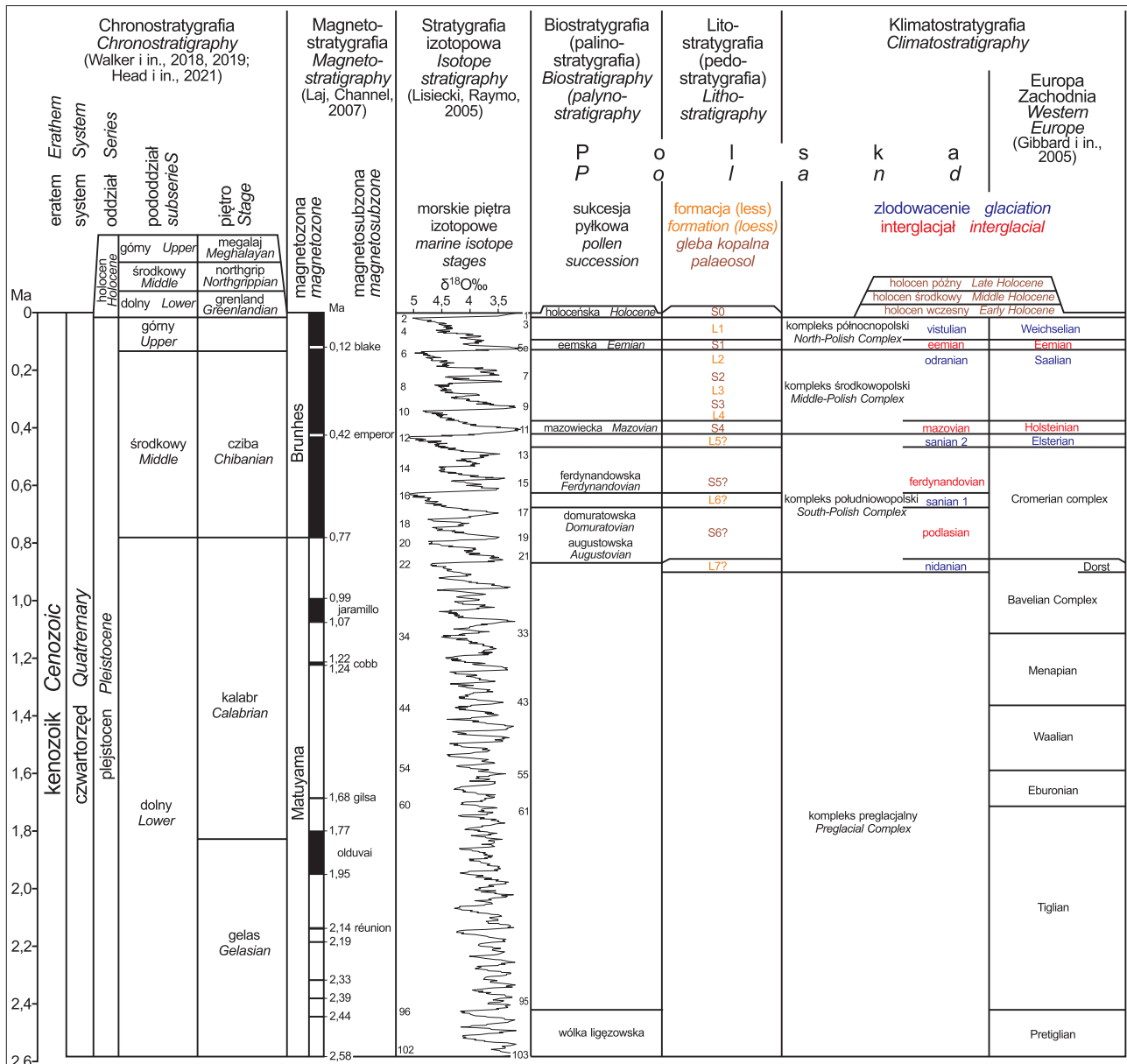
Nowoczesna korelacja klimatostratygraficzna powinna polegać na synchronizacji lokalnych rejestrów lądowych i płytkomorskich (zwykle dość fragmentarycznych, ale o dużej rozdzielczości) z potencjalnie nieprzerwanymi sekwencjami głębokomorskimi (lecz o znacznie mniejszej rozdzielczości) oraz rdzeniami lodowymi. Zastosowanie teorii cykli orbitalnych Milankoviča do obliczenia wieku poszczególnych MIS (por. Imbrie i in., 1984) oraz datowanie rdzeni lodowych (por. Orombelli i in., 2010) umożliwiło korelację jednostek klimato- i chronostratygraficznych mimo diachroniczności zmian klimatycznych oraz opóźnienia czasu reakcji środowiska na te zmiany. W związku z tym zdefiniowane jednostki klimatostratygraficzne można uznać za jednostki chronostratygraficzne.

## NUMERYCZNA SKALA WIEKOWA

W podziałach stratygraficznych czwartorzędu funkcjonuje kilka punktów zerowych wyrażanych w latach (por. Wolff, 2007; Marks i in., 2014), co może powodować znaczące niedokładności w korelacji stratygraficznej, szczególnie osadów holocenu i górnego plejstocenu. Pierwszą skalą wiekową była skala radiometryczna, wprowadzona w końcu lat 40. ubiegłego stulecia, oparta na datowaniu metodą radiowęglą. Punktem odniesienia dla tej skali jest rok 1950, a wartość liczbowa wieku jest uzupełniana symbolem ‘BP’ (*before present* – przed teraźniejszością), ewentualnie ostatnio również ‘ $^{14}\text{C}$  BP’, dla odróżnienia od dat skalibrowanych (kalendarzowych) oznaczanych jako ‘kal BP’ (*cal BP*). Dla najmłodszej części holocenu, obejmującej ostatnie 2000 lat, dopuszczalne jest stosowanie symbolu AD (*Anno Domini* – roku pańskiego) lub n.e. (naszej ery), zwłaszcza gdy możliwa jest korelacja z danymi historycznymi. Należy natomiast unikać symbolu BC (*before Christ* – przed Chrystusem), ponieważ jest on odpowiedni dla opracowań historycznych, a mało przydatny w stratygrafii czwartorzędu. W datowaniu osadów innymi metodami (np. luminescencyjnymi, izotopów kosmogenicznych), bywa również stosowany symbol ‘BP’, ale wtedy punkt zerowy skali wiekowej przeważnie nie jest określany, chociaż zazwyczaj jest to moment datowania.

W przypadku posługiwania się skalą wiekową opartą na analizie rdzeni lodowych (co jest bardzo często stosowane w korelacji międzyregionalnej, chociaż nie zawsze jest dostatecznie uzasadnione), punkt zerowy jest zróżnicowany. Dla starszych rdzeni jest to rok wykonania wiercenia, który niekiedy podlegał następnie kalibracji do roku 1950. W młodszych rdzeniach lodowych punkt zerowy





**Ryc. 13.** Biostratygrafia, litostratygrafia i klimatostratygrafia czwartorzędu Polski i ich korelacja z jednostkami klimatostratygraficznymi czwartorzędu Europy, morskimi stadiami izotopowymi oraz magnetostratygrafia i chronostratygrafia globalną na podstawie Marks (2023), Marks, Jary (2023) i Jary, Marks (w druku), zmodyfikowane

**Fig. 13.** Biostratigraphy, lithostratigraphy and climatostratigraphy of the Quaternary of Poland and their correlation with climatostratigraphic units of western Europe, marine isotope stages, global magnetostratigraphy and chronostratigraphy after Marks (2023), Marks, Jary (2023) and Jary, Marks (w druku), modified

został określony na rok 2000 i jest to zwykle oznaczane adnotacją 'b2k' (*before 2000*).

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Badania stratygraficzne osadów czwartorzędowych są w Polsce prowadzone z wykorzystaniem różnych kategorii klasyfikacji stratygraficznej, ale nie zawsze zgodnie z powszechnie akceptowanymi zasadami. Jednostki biostratygraficzne i klimatostratygraficzne są niekiedy arbitralnie uznawane za jednostki chronostratygraficzne.

Artykuł zawiera krytyczny przegląd najważniejszych kategorii klasyfikacji stratygraficznej, z podkreśleniem

konieczności stosowania ich w sposób przemyślany, zależnie od właściwości badanych osadów. Klimatostratygrafia w badaniach stratygraficznych czwartorzędu w Polsce powinna być stosowana jako element spinający wyniki uzyskane z wykorzystaniem różnych kategorii klasyfikacji stratygraficznej. Skorelowana ze stratygrafia izotopową umożliwia uzyskanie odpowiedniej dokładności i wiarygodności ustanowionych jednostek stratygraficznych, które mogą być wówczas powiązane z odpowiednimi jednostkami chronostratygraficznymi.

Przedstawiony, zaktualizowany podział stratygraficzny czwartorzędu Polski powstał w wyniku korelacji podziałów różnych kategorii klasyfikacji stratygraficznej

i ma charakter kompleksowy. Umożliwia to powiązanie jednostek stratygraficznych czwartorzędu Polski z jednostkami stratygraficznymi wyróżnianymi w innych państwach europejskich, a także jego posadowienie w globalnym podziale chronostratygraficznym.

Dziękuję Pani Profesor Małgorzacie Roman i Panu Profesorowi Tadeuszowi Perytowi oraz anonimowemu Recenzentowi za uwagi i komentarze, które umożliwiły poprawienie pierwotnej wersji artykułu.

## LITERATURA

- ALEXANDROWICZ S.W., ALEXANDROWICZ W.P. 2011 – Analiza malakologiczna, metody badań i interpretacji. Polska Akademia Umiejętności, Kraków.
- BAŁUK A. 1991 – Czwartorzęd dorzecza dolnej Narwi (północno-wschodnie Mazowsze). Pr. Państw. Inst. Geol., 130: 1–73.
- BARANIECKA M.D. 1974. Plejstocen nad dolną Wkrą. Biul. Inst. Geol., 268: 5–90.
- BARANIECKA M.D., MAKOWSKA A., MOJSKI J.E., NOWAK J., SARNACKA Z., SKOMPSKI S. 1978 – Stratygrafia osadów czwartorzędowych Niziny Mazowieckiej oraz jej południowego i zachodniego obrzeżenia. Biul. Inst. Geol., 306: 5–113.
- BERGER A., LOUÏRE M.F. 1991 – Insolation values for the climate of the last 10 million years. Quater. Sci. Rev., 10: 297–317.
- BIŃKA K., MARKS L. 2018 – Terrestrial versus marine archives: biostratigraphical correlation of the Middle Pleistocene lacustrine records from central Europe and their equivalents in the deep-sea cores from the Portuguese margin. Geol. Quart., 62 (1): 69–80.
- CHALINE J. 1972 – Les rongeurs du Pléistocène moyen et supérieur de France. Cahiers de Paléontologie Conseil Nationale Recherché Scientifique: 410.
- CITA M.B., GIBBARD P.L., HEAD M.J., ALLOWAY B., BEU A.G., COLTORTI M., HALL V.M., LIU J., KNUDSEN K.L., KOLFSCHOTEN VAN T., LITT T., MARKS L., MCMANUS J., PIOTROWSKI J.A., PILLANS B., RÄSÄNEN M., RASMUSSEN S.O., ROUSSEAU D.-D., SUC P., TESAKOV A.S., TURNER C., WALKER J., ZALASIEWICZ J., ZAZO C. 2012 – Formal ratification of the GSSP for the base of the Calabrian Stage (second stage of the Pleistocene Series, Quaternary System). Episodes, 35 (3): 388–397.
- COHEN K.M., GIBBARD P.L. 2019 – Global chronostratigraphical correlation table for the last 2.7 million years, version 2019 QI-500. Quater. Intern., 500: 20–31.
- CZERWONKA J.A., KRZYSZKOWSKI D. 1994 – Pleistocene stratigraphy and till petrography of the central Great Lowland, western Poland. Folia Quater., 65: 7–71.
- CZUBLA P. 2001 – Eratyki fennoskandzkie w utworach czwartorzędowych Polski środkowej i ich znaczenie stratygraficzne. Acta Geogr. Lodz., 80: 174.
- CZUBLA P. 2015 – Eratyki fennoskandzkie w osadach glacialnych Polski i ich znaczenie badawcze. Wyd. Uniw. Łódzkiego, Łódź.
- CZUBLA P., GAŁĄZKA D., GÓRSKA M. 2006 – Eratyki przewodnie w glinach morenowych Polski. Prz. Geol., 54 (4): 352–362.
- DOLECKI L. 2002 – Podstawowe profile lessów neoplejstocénskich Grzędzcy Horodelskiej i ich interpretacja litologiczno-stratygraficzna. Wyd. Uniw. Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin: 263.
- EMILIANI C. 1955 – Pleistocene temperatures. J. Geology, 63: 538–578.
- FEJFAR O., HEINRICH W.-D., LINDSAY E.H. 1998 – Updating the Neogene rodent biochronology in Europe. Mededelingen Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, 60: 533–554.
- FOLTYN E., FOLTYN E.M., JOCHEMCZYK J., NAWROCKI J., NITA M., WAGA J.M., WÓJCIK A. 2010 – The oldest human traces north of the Carpathians (Kończyce Wielkie 4, Poland). J. Archaeological Sci., 37: 1886–1897.
- GAŁĄZKA D., MARKS L., ZABIELSKI R. 1999 – Czy litostratygrafia glin lodowcowych może być przydatna dla stratygrafii czwartorzędu Polski? Prz. Geol., 47 (3): 261–265.
- GIBBARD P.L., BOREHAM S., COHEN K.M., MOSCARIELLO A. 2005 – Global chronostratigraphical correlation table for the last 2.7 million years. Boreas, 34 (1): wkładka.
- GIBBARD P.L., HEAD J.M., WALKER J.C., ALLOWAY B., BEU A.G., COLTORTI M., HALL, V.M., LIU J., KNUDSEN K.L., KOLFSCHOTEN VAN T., LITT T., MARKS L., MCMANUS J., PARTRIDGE T.C., PIOTROWSKI J.A., PILLANS B., ROUSSEAU D.-D., SUC P., TESAKOV A.S., TURNER C., ZAZO C. 2010 – Formal ratification of the Quaternary System/Period and the Pleistocene Series/Epoch with a base at 2.58 Ma. J. Quater. Sci., 25 (2): 96–102.
- GLĄZEK J., KOWALSKI K., LINDNER L., MŁYŃNARSKI M., STWORZEWICZ E., TUCHOŁKA P., WYSOCZAŃSKI-MINKOWICZ T. 1977 – Cave deposits at Kozi Grzbiet (Holy Cross Mts, Central Poland) with vertebrate and snail faunas of the Mindelian I/Mindelian II interglacial and their stratigraphic correlations. Proceedings 7<sup>th</sup> International Speleological Congress, Sheffield: 211–214.
- GOŹDZIK J. 1995 – Wybrane metody analizy kształtu ziarn piasków dla celów paleogeograficznych i stratygraficznych. [W:] Myczyńska-Dowgiało, E., Rutkowski, J. (red.), Badania osadów czwartorzędowych, wybrane metody i interpretacja wyników. Wydział Geologii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa: 115–132.
- GÓRSKA-ZABIELSKA M. 2008 – Fennoskandzkie obszary alimentacyjne osadów akumulacji glacialnej i glacialfluwalnej lobu Odry. Wyd. Naukowe UAM, Geografia, 78: 1–330.
- GRADZIŃSKI R., KOSTECKA A., RADOMSKI A., UNRUG R. 1986 – Zarys sedimentologii. Wyd. Geol., Warszawa: 628.
- GRANOSZEWSKI W., WINTER H., RYLOVA T.B., SAVČENKO I.E. 2012 – Przebieg i korelacja sukcesji pyłkowych późnego plejstocenu na terenie Polski i Białorusi. Prz. Geol., 60 (11): 605–614.
- GRICHUK V.P. 1969 – An experiment in reconstructing some characteristics of climate in the Northern Hemisphere during the Atlantic Period of Holocene. [W:] Neustadt M.I. (red.), Holocene. Nauka, Moskwa: 41–57.
- HAMMEN T. VAN DER, WIJMSTRA T.A., ZAGWIJN W.H. 1971 – The floral record of the Late Cenozoic of Europe. [W:] Turekian K.K. (red.), The Late Cenozoic Glacial Ages. Yale University Press, New Haven: 391–424.
- HEAD M.J., PILLANS B., ZALASIEWICZ J.A., ALLOWAY B., BEU A.G., COHEN K.M., GIBBARD P.L., KNUDSEN K.L., KOLFSCHOTEN T. VAN, LIRER F., LITT T., LIU J., MARKS L., MCMANUS J., PIOTROWSKI J.A., RÄSÄNEN M., RASMUSSEN S.O., SAITO Y., TESAKOV A., TURNER C., WALKER M., ZAZO-CARDENA C. 2021 – Formal ratification of subseries for the Pleistocene Series of the Quaternary System. Episodes, 44 (3): 241–247.
- HEDBERG H. (red.) 1976 – International Stratigraphic Guide: A guide to stratigraphic classification, terminology, and procedure. John Wiley & Sons, New York.
- HELLER F., EVANS M.E. 1995 – Loess magnetism. Reviews of Geophysics, 33 (2): 211–240.
- HORÁČEK I. 1981 – Comments of the lithostratigraphic context of the early Pleistocene mammal biozones of Central Europe. [W:] Project 73/1/24 Quaternary Glaciations in the Northern Hemisphere. Report IGCP, 6. Prague: 99–117.
- IMBRIE J., HAYS J.D., MARTINSON D.G., MCINTYRE A., MIX A.C., MORLEY J.J., PISIAS N.G., PRELL W.L., SHACKLETON N.J. 1984 – The orbital theory of Pleistocene climate: support from a revised chronology of the marine 18O record. [W:] Berger A., Imbrie J., Hays G., Kukla G., Saltzman B. (red.), Milankovitch and Climate. Reidel, Dordrecht: 269–306.
- ISARIN R.F.B., BOHNCKE S.J.P. 1999 – Mean July temperatures during the Younger Dryas in northwestern and central Europe as inferred from climate indicator species. Quater. Res., 51: 158–173.
- IVERSEN J. 1944 – *Viscum, Hedera* and *Ilex* as climate indicators. Geologiska Föreningens Förhandlingar, 66: 463–483.
- IVERSEN J. 1964 – Plant indicators of climate, soil and other factors during the Quaternary. Report VI<sup>th</sup> INQUA Congress, Łódź, 2: 421–428.
- JANCZYK-KOPIKOWA Z. 1987 – Uwagi na temat palinostratygrafii czwartorzędu. Kwart. Geol., 31 (1): 155–62.
- JANCZYK-KOPIKOWA Z. 1991 – Interglacja ferdynandowski w Polsce. Kwart. Geol., 35 (1): 71–79.
- JANCZYK-KOPIKOWA Z. 1996 – Ciepłe okresy w mezoplejstocenie północno-wschodniej Polski. Biul. Państw. Inst. Geol., 373: 49–66.
- JARY Z., MARKS L. w druku – Quaternary history. [W:] Migoń P., Janiewicz K. (red.), World Geomorphological Landscapes, Landscapes and Landforms of Poland. Springer.
- JESSEN K., MILTHERS V. 1928 – Stratigraphical and palaeontological studies of interglacial freshwater deposits in Jutland and north-west Germany. Danmarks Geologisk Undersogelse, II Raekke: 48.
- JEZIORSKI J.W. 1991a – Kopalne osady aluwialne rzeki roztokowej z okresu interglacjalnego lubelskiego między Włocławkiem a Ciechocinkiem. Prz. Geol., 39 (5–6): 284–292.
- JEZIORSKI J.W. 1991b – Warciańska sekwencja glacialna w okolicach Nieszawy. Prz. Geol., 39 (2): 68–75.

- KENIG K. 1998 – Petrograficzne podstawy stratygrafii glin morenowych Polski północno-wschodniej. Biul. Państw. Inst. Geol., 380.
- KENIG K., MARKS L. 2001 – Znaczenie kryteriów litologicznych dla litostratygrafii osadów czwartorzędowych. [W:] E. Mysińska-Dowgiałło (red.), Eolizacja osadów jako wskaźnik stratygraficzny czwartorzędu. Pracownia Sedymetologiczna Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych, Uniwersytet Warszawski, Warszawa: 9–16.
- KLOTZ S., MÜLLER U., MOSBRUGGER V., DE BEAULIEU J.-L., REILLE M. 1999 – Eemian to early Würmian climate dynamics: history and pattern of changes in Central Europe. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.*, 211: 107–126.
- KOLSTRUP E. 1980 – Climate and stratigraphy in northwestern Europe between 30,000 B.P. and 20,000 B.P., with special reference to The Netherlands. *Mededelingen Rijks Geologische Dienst*, 32–15: 181–253.
- KRETZOI M. 1941 – Die unterpleistozäne Säugetierfauna von Betfia bei Nagyvárad. *Földtany Közönlöny*, 71: 308–335.
- KRUPIŃSKI K.M. 2000 – Korelacja palinostratygraficzna osadów interglacjału mazowieckiego z obszaru Polski. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 169: 1–61.
- KRZYSZKOWSKI D. 1991 – The middle Pleistocene polyinterglacial Czyżów Formation in the Kleszczów Graben (Central Poland): stratigraphy and palaeogeography. *Folia Quater.*, 61–62: 5–58.
- KRZYSZKOWSKI D., NITA M. 1995 – The intra-Saalian interstadial floras of the Chojny Formation of the Belchatów outcrop, central Poland. *J. Quater. Sci.*, 10: 225–240.
- KÜHLN., LITT T., SCHÖLZEL C., HENSE A. 2007 – Eemian and Early Weichselian temperature and precipitation variability in northern Germany. *Quater. Sci. Rev.*, 26: 3311–3317.
- KUKLA G.J. 1978 – The classical European glacial stage: correlation with deep-sea sediments. *Transactions of the Nebraskan Academy of Sciences*, 6: 57–93.
- LAJ C., CHANNEL J.E.T. 2007 – Geomagnetic excursions. [W:] *Treatise on Geophysics*, 5: 373–416.
- LAMPARSKI Z. 1971 – Egzarkacja lodowcowa w marginalnej strefie zlodowacenia środkowopolskiego. *Biuletyn Geologiczny Uniwersytetu Warszawskiego*, 13.
- LAMPARSKI Z. 1983 – Plejstocen i jego podłoże w północnej części środkowego Powiśla. *Stud. Geol. Pol.*, 76: 1–82.
- LINDNER L. 1987 – Podstawy morfostratygrafii czwartorzędu Niżu Polskiego. *Kwart. Geol.*, 31: 163–174.
- LINDNER L. 1992 – Stratygrafia (klimatostratygrafia) czwartorzędu. [W:] L. Lindner (red.), *Czwartorzęd: osady, metody badań, stratygrafia*. Wyd. PAE, Warszawa: 441–633.
- LINDNER L., BOGUCKI A. 2002 – Pozycja wiekowa środkowo- i późnoplejstocenijskich zjawisk peryglacialnych w środkowo-wschodniej Europie. [W:] B. Jaśkowski (red.), *Zagadnienia peryglacjału Polski i obszarów sąsiednich*. *Pr. Inst. Geografii Akademii Świętokrzyskiej w Kielcach*, 8: 81–106.
- LINDNER L., DĄBROWSKI S., LAMPARSKI Z. 1982 – River valleys of the Mazovian Interglacial in eastern Central Europe. *Acta Geol. Pol.*, 32: 179–190.
- LINDNER L., BOGUTSKY A., GOZHİK P., MARCINIĄK B., MARKS L., ŁANCZONT M., WOJTANOWICZ J. 2002 – Correlation of main climatic glacial-interglacial and loess-palaeosol cycles in the Pleistocene of Poland and Ukraine. *Acta Geol. Pol.*, 52 (4): 459–469.
- LINDNER L., MARKS L., NITA M. 2013 – Climatostratigraphy of interglacials in Poland: Middle and Upper Pleistocene lower boundaries from a Polish perspective. *Quater. Intern.*, 292: 113–123.
- LISICKI S. 2003 – Litotypy i litostratygrafia glin lodowcowych plejstocenu dorzecza Wisły. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 177: 1–105.
- LISIECKI L.E., RAYMO M.E. 2005 – A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic  $\delta^{18}\text{O}$  records: Pliocene-Pleistocene benthic stack. *Paleoceanography* 20. <https://doi.org/10.1029/2004PA001071>.
- LÜTTIG G. 1958 – Eiszeit – Stadium – Phase – Staffel, eine nomenklatorische Betrachtung. *Geol. Jahrb.*, 76: 235–260.
- MAKOWSKA A. 1986 – Morza plejstocenijskie w Polsce – osady, wiek i paleogeografia. *Pr. Inst. Geol.*, 120: 1–74.
- MAKOWSKA A. 2009 – Międzymorenowa formacja dolnopowisłńska na tle budowy osadów plejstocenijskich Pomorza nadwiślańskiego i jej rozwój w młodszym plejstocenie. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 437: 59–124.
- MAMAKOWA K. 1989 – Late Middle Polish Glaciation, Eemian and Early Vistulian vegetation at Imbramowice near Wrocław and the pollen stratigraphy of this part of the Pleistocene in Poland. *Acta Palaeobot.*, 29: 11–176.
- MARKS L. 1995a – Correlation of the Middle Pleistocene ice-dam lacustrine sediments in the Lower Vistula and the Lower Elbe regions. *Acta Geol. Pol.*, 45: 143–152.
- MARKS L. 1995b – Poziom przewodni środkowoplejstocenijskich osadów zastoiskowych w rejonach dolnej Wisły i dolnej Łaby. [W:] Florek W. (red.), *Geologia i geomorfologia południowego Bałtyku 2*. Słupsk: 127–138.
- MARKS L. 2001 – Typologia osadów czwartorzędowych. *Geografia UAM*, 64: 261–267.
- MARKS L. 2004 – Middle and Late Pleistocene fluvial systems in central Poland. *Proc. Geologists' Ass.*, 115: 1–8.
- MARKS L. 2005a – Co dalej z czwartorzędem? *Prz. Geol.*, 53 (5): 394–395.
- MARKS L. 2005b – Pleistocene river systems in the southern peribaltic area as indication of interglacial sea level changes in the Baltic Basin. *Quater. Intern.*, 130: 43–48.
- MARKS L. 2006 – Bitwy o czwartorzęd ciąg dalszy. *Prz. Geol.*, 54 (8): 682–684.
- MARKS L. 2007 – A w czwartorzędzie powrót do normalności. *Prz. Geol.*, 55 (5): 372–374.
- MARKS L. 2023 – Quaternary stratigraphy of Poland – current status. *Acta Geol. Pol.*, 73 (3): 307–340.
- MARKS L., PAVLOVSKAYA I.E. 2003 – The Holsteinian Interglacial river network of mid-eastern Poland and western Belarus. *Boreas*, 32 (2): 337–346.
- MARKS L., POCHOCKA K. 1999 – River valleys of the Eemian Interglacial in central Poland. *Geol. Quart.*, 43 (2): 163–168.
- MARKS L., BER A., LINDNER L. (red.) 2014 – *Zasady polskiej klasyfikacji i terminologii stratygraficznej czwartorzędu*. Polska Akademia Nauk, Komitet Badań Czwartorzędu, Warszawa: 72.
- MARKS L., DZIERŻEK J., JANISZEWSKI R., KACZOROWSKI J., LINDNER L., MAJECKA A., MAKOS M., SZYMANEK M., TOŁOCZKO-PASEK A., WORONKO B. 2016a – Quaternary stratigraphy and palaeogeography of Poland. *Acta Geol. Pol.*, 66 (3): 403–427.
- MARKS L., GAŁĄZKA D., WORONKO B. 2016b – Climate, environment and stratigraphy of the Pleistocene last glacial stage in Poland. *Quater. Intern.*, 420: 259–271.
- MARKS L., JARY Z. 2023 – Stratygrafia czwartorzędu Polski – obecny stan badań. [W:] Bujak Ł., Szymanek M. (red.), *Zlodowacenia i interglacjały w Polsce – stan obecny i perspektywy badań*. Konferencja naukowa dedykowana prof. dr hab. Leszkowi Lindnerowi z okazji Jubileuszu 85-lecia urodzin i 60-lecia pracy naukowej, Europejskie Centrum Edukacji Geologicznej, Chęciny, 16–18 czerwca 2023: 46–48.
- MARTRAT B., GRIMALT J.O., SHACKLETON N.J., DE ABREU L., HUTTERLI M.A., STOCKER T.F. 2007 – Four climate cycles of recurring deep and surface water destabilizations on the Iberian margin. *Science*, 317, 502–507.
- MARUSZCZAK H. 1985 – Problems of stratigraphy loesses in Poland. [W:] Maruszczak H. (red.), *Problems of the stratigraphy and palaeogeography of loesses*. *Guidebook of the International Symposium, 6–10 September 1985*. Wyd. UMCS, Lublin: 63–80.
- MASLIN M.A., RIDGWELL A.J. 2005 – Mid-Pleistocene revolution and the 'eccentricity myth'. [W:] Head M., Gibbard P.L. (red.), *Early-Middle Pleistocene transitions: the land-ocean evidence*. Geological Society, London, Sp. Publ., 247: 19–34.
- MICHAŁSKA Z. 1967 – Stratygrafia plejstocenu północnego Mazowsza w świetle nowych danych. *Acta Geol. Pol.*, 17: 393–418.
- MOJSKI J.E. 1965 – Przekrój czwartorzędu w okolicach Ostrowi Mazowieckiej. *Prz. Geol.*, 11: 452–457.
- MOJSKI J.E. 1985 – Geology of Poland I, Stratigraphy 3b, Cainozoic, Quaternary. Wyd. Geol., Warszawa.
- MOJSKI J.E. 1995 – Pleistocene glacial events in Poland. [W:] Ehlers J., Kozarski S., Gibbard P.L. (red.), *Glacial deposits in North-East Europe*. Balkema, Rotterdam, 287–292.
- MOJSKI J.E. 2005 – Ziemia polskie w czwartorzędzie, zarys morfogenezy. *Państw. Inst. Geol.*, Warszawa: 404.
- MROCZEK P., ŁANCZONT M. 2023 – Środowiskowe znaczenie parametrów chromatyczności sekwencji lessowo-glebowych. [W:] Bujak Ł., Szymanek M. (red.), *Zlodowacenia i interglacjały w Polsce – stan obecny i perspektywy badań*. Konferencja naukowa dedykowana prof. dr hab. Leszkowi Lindnerowi z okazji Jubileuszu 85-lecia urodzin i 60-lecia pracy naukowej, Europejskie Centrum Edukacji Geologicznej, Chęciny, 16–18 czerwca 2023: 51.
- MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO E., RUTKOWSKI J. (red.) 1995 – *Badania osadów czwartorzędowych, wybrane metody i interpretacja wyników*. Wydział Geologii i Studiów Regionalnych Uniw. Warsz., Warszawa: 356.
- NAWROCKI J., WÓJCIK A. 1995 – Lithology and stratigraphy of Pleistocene loess-like deposits in the Załubińcze section (Nowy Sącz Basin, Outer Carpathians). *Geol. Quart.*, 39 (1): 121–144.
- NAWROCKI J., SIENNICKA-CHMIELEWSKA A.E. 1996 – Loess magnetism in the Odonów section (S Poland). *Geol. Quart.*, 40 (2): 231–244.



- NIEWIAROWSKI W., WYSOTA W. 1996 – Osady interglacjału wielkiego w depresji Lidzbarka Welskiego (SW część Pojezierza Chełmińsko-Dobrzyńskiego). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 373: 125–134.
- NITYCHORUK J., BIŃKA K., HOEFS J., RUPPERT H., SCHNEIDER J. 2005 – Climate reconstruction for the Holsteinian Interglacial in eastern Poland and its comparison with isotopic data from Marine Isotope Stage 11. *Quater. Sci. Rev.*, 24 (5–6): 631–644.
- NOWAK J. 1965. Pozycja stratygraficzna osadów eemskich w Brachlewie koło Malborka. *Biul. Inst. Geol.*, 187: 119–123.
- NOWAK J. 1974 – Stratygrafia plejstocenu i geomorfologia północnej części Kotliny Warszawskiej. *Biul. Inst. Geol.*, 268: 91–164.
- OROMBELLI G., MAGGI V., DELMONTE B. 2010 – Quaternary stratigraphy and ice cores. *Quater. Intern.*, 219: 55–65.
- PARRENIN F., BARNOLA J.-M., BEER J., BLUNIER T., CASTELLANO E., CHAPPELLAZ J., DREYFUS G., FISCHER H., FUJITA S., JOUZEL J., KAWAMURA K., LEMIEUX-DUDON B., LOULERGUE L., MASSON-DELMOTTE V., NARCISI B., PETIT J.-R., RAISBECK G., RAYNAUD D., RUTH U., SCHWANDER J., SEVERI M., SPAHNI R., STEFFENSEN J.P., SVENSSON A., UDISTI R., WAELBROECK C., WOLFF E. 2007 – The EDC3 chronology for the EPICA Dome C ice core. *Climate of the Past*, 3, 485–497.
- PENCK A., BRÜCKNER E. 1909–1911 – Die Alpen im Eiszeitalter. Taunitz: Leipzig: 1199.
- PIDEK I.A. 2000 – Interpretacja palinostratygraficzna zimnej jednostki pomiędzy dwiema ciepłymi w ferdynandowskiej sukcesji ze Zdan (Polska E). *Prz. Geol.*, 48 (11): 1035–1038.
- PIDEK I.A. 2003 – Mesopleistocene vegetation history in the Northern Foreland of the Lublin Upland based on palaeobotanical studies of the profiles from Zdany and Brus sites. Wydawnictwo UMCS, Lublin: 96.
- PROSS J., KLOTZ S. 2002 – Palaeotemperature calculations from the Praetiglian/Tiglian (Plio-Pleistocene) pollen record of Lieth, northern Germany: implications for the climatic evolution of NW Europe. *Global Planet. Change*, 34: 253–267.
- RACINOWSKI R. 1995 – Analiza minerałów ciężkich w badaniach osadów czwartorzędowych Polski. [W:] Mycielska-Dowgiałło E., Rutkowski J. (red.), *Badania osadów czwartorzędowych, wybrane metody i interpretacja wyników*. Wydział Geologii i Studiów Regionalnych Uniw. Warsz., Warszawa, 151–166.
- RAJSKA-JASIEWICZOWA M. 2006 – Some comments on the palynostratigraphy of the Holocene in Poland, based on isopollen maps. *Stud. Quater.*, 23: 29–35.
- RAN E.T.H. 1990 – Dynamics of vegetation and environment during the middle pleniglacial in the Dinkel valley (The Netherlands). *Mededelingen Rijks Geologische Dienst*, 44 (3): 141–208.
- REILLE M., DE BEAULIEU J.-L. 1995 – Long Pleistocene pollen records from the Praclaux Crater, South-Central France. *Quater. Res.*, 44: 205–215.
- ROMAN R., DZIEDUSZYŃSKA D., PETERA-ZGANIACZ J. 2014 – Łódź Region and its northern vicinity under Vistulian Glaciation conditions. *Quaest. Geogr.*, 33 (3): 155–163.
- RÓŻYCKI S.Z. 1964a – Klimatostratygraficzne jednostki podziału plejstocenu. *Acta Geol. Pol.*, 14 (3): 321–339.
- RÓŻYCKI S.Z. 1964b – Les oscillations climatiques pendant le „Grand Interglaciaire”. 6<sup>th</sup> INQUA Congress Report 2. Państw. Wyd. Naukowe, Łódź: 211–225.
- RÓŻYCKI S.Z. 1980 – Principles of stratigraphic subdivision of Quaternary of Poland. *Quater. Studies in Poland*, 1: 99–106.
- RÓŻYCKI S.Z., LAMPARSKI Z. 1967 – Kierunki ruchu lodu w czasie transgresji zlodowacenia środkowopolskiego w północnej części Jury Polskiej. *Acta Geol. Pol.*, 17 (3): 369–392.
- RUTKOWSKI J. 1995 – Badania petrograficzne żwirów. [W:] Mycielska-Dowgiałło E., Rutkowski J. (red.), *Badania osadów czwartorzędowych, wybrane metody i interpretacja wyników*. Wydział Geologii i Studiów Regionalnych Uniw. Warsz., Warszawa, 133–150.
- SARNACKA Z. 1978 – Plejstocen rejonu doliny Wisły między Magnuszewem i Górą Kalwarią. *Biul. Inst. Geol.*, 300: 5–96.
- SARNACKA Z. 1992 – Stratigraphy of Quaternary sediments of Warsaw and its vicinity. *Pr. Państw. Instyt. Geol.*, 138: 1–36.
- SHACKLETON N.J., OPDYKE N.D. 1973 – Oxygen isotope and paleomagnetic stratigraphy of equatorial Pacific Core V28-238: oxygen isotope temperatures and ice volume on a 105 year and 106 year scale. *Quater. Res.*, 3: 39–55.
- SOCHA P., NALEPKA D., NADACHOWSKI A. 2016 – Changes in the natural environment in Polish territory in the Pleistocene and Early Holocene. [W:] Urbańczyk P. (red.), *The Past Societies. Polish lands from the first evidence of human presence to the Early Middle Ages, 1: 500,000–5,500 BC*. Institute of Archaeology and Ethnology, Polish Academy of Sciences, Warszawa, 16–29.
- STARKEL L. 1977 – Paleogeografia holocenu. Państw. Wyd. Naukowe, Warszawa.
- STARKEL L., MICHCZYŃSKA D.J., GĘBICA P., KISS T., PANIN A., PERŞOIU I. 2015 – Climatic fluctuations reflected in the evolution of fluvial systems of Central-Eastern Europe (60–8 ka cal BP). *Quater. Intern.*, 388: 97–118.
- STARKEL L., MICHCZYŃSKA D.J., GĘBICA P. 2017 – Reflection of climatic changes during interpleniglacial in the geoecosystems of south-eastern Poland. *Geochronometria*, 44: 202–215.
- STRASZEWSKA K. 1968 – Stratygrafia plejstocenu i paleogeomorfologia rejonu dolnego Bugu. *Stud. Geol. Pol.*, 23: 1–149.
- SUGANUMA Y., OKADA M., HEAD M.J., KAMEO K., HANEDA Y., HAYASHI H., IRIZUKI T., ITAKI T., IZUMI K., KUBOTA Y., NAKAZATO H., NISHIDA N., OKUDA M., SATOGUCHI Y., SIMON Q., TAKESHITA Y. 2021 – Formal ratification of the Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) for the Chibanian Stage and Middle Pleistocene Subseries of the Quaternary System: the Chiba Section, Japan. *Episodes*, 44 (3): 317–347.
- ŚRODOŃ A. 1960 – Tabela stratygraficzna plejstocenijskich flor Polski. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 29 (4): 299–316.
- TOBOLSKI K. 1976 – Przemiany klimatyczno-ekologiczne w okresie czwartorzędu a problem zmian we florze. *Phytocenosis*, 5 (3/4): 187–197.
- TURNER C., WEST R. 1968 – The subdivision and zonation of interglacial periods. *Eiszeitalter und Gegenwart*, 19: 93–101.
- TZEDAKIS P.C., ROUCOUX K.H., DE ABREU L., SHACKLETON N.J. 2004 – The Duration of Forest Stages in Southern Europe and Interglacial Climate Variability. *Science*, 306: 2231–2235.
- WALKER M., HEAD M.J., BERKELHAMMER M., BJÖRCK S., CHENG H., Cwynar L., FISHER D., GKINIS V., LONG A., LOWE J., NEWNHAM R., RASMUSSEN S., WEISS H. 2018 – Formal ratification of the subdivision of the Holocene Series/Epoch (Quaternary System/Period): two new Global Boundary Stratotype Sections and Points (GSSPs) and three new stages/subseries. *Episodes*, 41: 213–223.
- WALKER M., HEAD M.J., BERKELHAMMER M., BJÖRCK S., CHENG H., Cwynar L., FISHER D., GKINIS V., LONG A., LOWE J., NEWNHAM R., RASMUSSEN S., WEISS H. 2019 – Subdividing the Holocene Series/Epoch: formalization of stages/ages and subseries/subepochs, and designation of GSSPs and auxiliary stratotypes. *J. Quaternary Sci.*, 34: 173–186.
- WALSH S.L., GRADSTEIN F.M., OGG J.G. 2004 – History, philosophy, and application of the Global Stratotype Section and Point (GSSP). *Let-haia*, 37: 201–218.
- WEST R.G. 1977 – Pleistocene geology and biology with special reference to the British Isles, wyd. 2. Longman Group Ltd, London–New York.
- WINTER H. 2006 – Uwagi o plejstocenijskich glaciałach i interglaciałach. *Prz. Geol.*, 54 (2): 142–144.
- WIŚNIEWSKI A., BADURA J., SALAMON T., LEWANDOWSKI J. 2014 – The alleged Early Palaeolithic artefacts are in reality geofacts: a revision of the site of Kończyce Wielkie 4 in the Moravian Gate, South Poland. *J. Archaeological Sci.*, 52: 189–203.
- WOLFF E.W. 2007 – When is the „present”? *Quater. Sci. Rev.*, 26: 3023–3024.
- ZABIELSKI R. 1996 – Application of a petrographic method to identification of the till floes. *Geol. Quart.*, 40 (2): 283–298.
- ZABIELSKI R. 2000 – Charakterystyka petrograficzna glin lodowcowych rejonu Konina w świetle analizy statystycznej. *Prz. Geol.*, 48 (4): 345–350.
- ZABIELSKI R. 2004 – Jakie cechy składu petrograficznego żwirów glin lodowcowych mogą być przydatne w litostratygrafii? *Prz. Geol.*, 52 (4): 340–346.

Praca wpłynęła do redakcji 13.11.2023 r.  
Akceptowano do druku 27.11.2023 r.