



Marta Szal

**NATURALNE I ANTROPOGENICZNE ZMIANY ROŚLINNOŚCI POJEZIERZA
MRĄGOWSKIEGO W MŁODSZYM HOLOCENIE**

Natural and anthropogenic changes in vegetation of the Mrągowo Lake District during the late
Holocene

Rozprawa doktorska wykonana w Zakładzie Paleobotaniki

Instytutu Biologii

Uniwersytetu w Białymstoku

Promotor: dr hab. Mirosława Kupryjanowicz, prof. UwB

Promotor pomocniczy: dr hab. Danuta Drzymulska

Białystok, 2016

**SPIS ARTYKUŁÓW NAUKOWYCH WCHODZĄCYCH W SKŁAD
ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

- [1] **Szal M.**, Kupryjanowicz M., Wyczółkowski M. 2014. Late Holocene changes in vegetation of the Mrągowo Lakeland as registered in the pollen record from lake Sałę. *Studia Quaternaria* 31(1): 51-60.
Czasopismo z listy B MNiSW; 8 pkt.
- [2] **Szal M.**, Kupryjanowicz M., Wyczółkowski M. Tylmann W. 2014. The Iron Age in the Mrągowo Lake District, Masuria, NE Poland: the Sałę settlement microregion as an example of long-lasting human impact on vegetation. *Vegetation History and Archaeobotany* 23: 419-437.
Czasopismo z listy A MNiSW; 35 pkt.
- [3] **Szal M.**, Kupryjanowicz M., Tylmann W., Piotrowska N. 2016. Was it ‘*terra desolata*’? Conquering and colonizing the medieval Prussian wilderness in the context of climate change. *The Holocene*, DOI: 10.1177/0959683616660167
Czasopismo z listy A MNiSW; 35 pkt.
- [4] **Szal M.**, Kupryjanowicz M., Wyczółkowski M. 2015. Anthropogenic transformation of the vegetation in the immediate vicinity of the settlement complex in Poganowo (Mrągowo Lakeland, NE Poland). *Studia Quaternaria* 32(1): 19-29.
Czasopismo z listy B MNiSW; 14 pkt.

STRESZCZENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

(liczby ujęte w kwadratowe nawiasy są odwołaniem się numerów w spisie artykułów tworzących rozprawę)

Młodszy holocen charakteryzują szczególnie intensywne przemiany środowiska spowodowane nałożeniem się naturalnych zmian typowych dla młodszej części cyklu interglacjalnego oraz przekształceń będących dziełem człowieka. W rekonstrukcjach dotyczących historii tych przemian wiodącą rolę odgrywają badania paleoekologiczne prowadzone metodą analizy pyłkowej. Ich wyniki umożliwiają rekonstrukcję przemian szaty roślinnej, a pośrednio także niektórych innych cech środowiska. Do wnioskowania na temat naturalnych bądź antropogenicznych przyczyn tych zjawisk szczególnie cenne są regiony drobiazgowo opracowane pod względem archeologicznym i historycznym, dla których istnieje możliwość konfrontacji wyników analiz paleoekologicznych z danymi archeologicznymi i historycznymi. Z tego względu, Pojezierze Mrągowskie, gdzie począwszy od 1949 roku trwają systematyczne prace archeologiczne jest regionem znakomicie predysponowanym do tego typu badań. Na podstawie wieloletnich studiów, wyznaczono tu mikroregion osadniczy nad jeziorem Sałęt wraz z kompleksem osadniczym w Poganowie, gdzie opisano funkcjonowanie osadnictwa począwszy od późnego neolitu, aż po okres średniowiecza. Region ten stał się, tym samym, jednym z najlepiej opracowanych archeologicznie obszarów północno-wschodniej Polski, co stworzyło znakomite podstawy do podjęcia w tym miejscu studiów paleoekologicznych nad zmianami, jakie następowały w środowisku nie tylko z przyczyn naturalnych, ale także pod wpływem antropopresji.

Głównym celem podjętych badań było odtworzenie przekształceń szaty roślinnej Pojezierza Mrągowskiego w czasie ostatnich ok. 5 tysięcy lat (młodszy holocen) i próba ustalenia ich naturalnych, bądź antropogenicznych przyczyn. W ramach tak ujętego celu głównego sformułowano kilka celów szczegółowych, które realizowane były w następującej kolejności: (i) odtworzenie głównych etapów regionalnych przemian szaty roślinnej na badanym obszarze w kontekście zmian klimatycznych i dynamiki procesów osadniczych [1]; (ii) ustalenie chronologii i skali wylesień powiązanych z rozwojem zbiorowisk antropogenicznych w epoce żelaza oraz określenie charakteru prowadzonej w tym czasie gospodarki [2], (iii) datowanie początku wielkopowierzchniowych trwałych odlesień, który przez historyków i archeologów powszechnie korelowany jest z kolonizacją krzyżacką [3], (iv) rekonstrukcja lokalnych zmian środowiska, które zaznaczyły się wyłącznie w bezpośrednim sąsiedztwie siedzib ludzkich [4].

Badaniom poddano osady dwóch jezior: Sałęt i Ruskowiejskiego zlokalizowanych w centrum mikroregionu osadniczego [1-3] oraz niewielkiego oczka wodnego znajdującego się w obrębie kompleksu osadniczego w Poganowie [4]. Badania prowadzono metodą analizy pyłkowej wzbogaconej o analizę mikrowęgielkową oraz analizę mikrofosyliów pozapyłkowych (NPPs). Wiek badanych osadów określono metodą radiowęglową. Przy interpretacji uzyskanych wyników i wnioskowaniu wykorzystano rezultaty dodatkowych analiz paleoekologicznych wykonanych przez współpracujących specjalistów z różnych dziedzin.

Dane pyłkowe uzyskane w wyniku wstępnej analizy środkowo- i późnoholoceńskiej części profilu z jeziora Sałęt pozwoliły na wyróżnienie czterech regionalnych poziomów pyłkowych charakteryzujących główne etapy przemian roślinności w otoczeniu jeziora [1]. Pierwszy etap (*Quercus-Corylus* L PAZ) obejmował wczesny i środkowy okres subborealny (ok. 3600-1850 BC) i charakteryzował się dominacją lasów mieszanych dębowo-sosnowych z leszczyną i brzozą. W zapisie pyłkowym tego etapu, w okresie datowanym na ok. 3400-1500 BC, zarejestrowano wysoki udział procentowy pyłku *Corylus avellana*, dokumentujący rozpowszechnienie się zarośli leszczynowych i/lub zbiorowisk leśnych z leszczyną w podszyciu. Zjawisko to mogło mieć podłoże zarówno antropogeniczne (prześwietlenia lasu promujące produktywność pyłkową leszczyny oraz zasiedlanie przez ten krzew nowo powstałych przestrzeni otwartych), jak i klimatyczne (osuszenie klimatu, jak wynika z doniesień literaturowych). Ponadto zarejestrowany został wyraźny spadek udziału procentowego pyłku *Ulmus* w okresie ok. 2900-2550 BC. Ograniczeniu areалу wiązu towarzyszyła przebudowa drzewostanów (wzrost znaczenia sosny, świerka i brzozy) oraz rozprzestrzenienie się antropogenicznych zbiorowisk otwartych. Podobne zmiany zarejestrowano w profilach pyłkowych z całej niemal Europy, co pozwala na ich korelację, mimo że samo zjawisko zanikania wiązu jest datowane w bardzo szerokich ramach czasowych i od dawna dyskutowane. Uważa się, że powodem szybkiej eliminacji wiązu było współdziałanie kilku czynników: klimatycznego, antropogenicznego oraz patogennego, w postaci holenderskiej choroby wiązów.

Podczas drugiego etapu przekształceń roślinności w rejonie Sałētu (*Carpinus-Corylus-Quercus-Betula* L PAZ), przypadającego głównie na środkowy okres subborealny (ok. 1850-1200 BC) nastąpił zdecydowany wzrost areálu *Carpinus betulus*, czemu towarzyszyło rozprzestrzenienie się roślinności terenów otwartych. Należy przypuszczać, że tworzone przez człowieka prześwietlenia lasu częściowo eliminujące lipę, leszczynę, wiąz i dąb, mogły wpłynąć korzystnie na rozwój graba. Ponadto, tereny pogospodarcze (porzucone lub tylko tymczasowo wyłączone z użytkowania) mogły zarastać przez zbiorowiska zastępcze z grabem,

przez co możliwe było jego wkraczanie na nowe siedliska. Odnotowany nieco później spadek wartości procentowych *Carpinus betulus*, wiązał się prawdopodobnie z intensyfikacją osadnictwa skorelowaną z przemianami gospodarczymi, jakie nastąpiły na przełomie neolitu i epoki brązu, a tym samym ze zwiększonym zapotrzebowaniem na żyzne grunty, które zajmowały lasy grabowe. W okresie od ok. 1850 BC zaznaczył się zdecydowany spadek udziału procentowego pyłku *Corylus avellana*. Podobne zjawisko zauważono także na kilku innych stanowiskach w Polsce oraz w Niemczech, a jego przyczyn należy dopatrywać się w raczej w zmianach klimatycznych (ochłodzenie i zwilgotnienie klimatu) niż we wzroście antropopresji.

W kolejnym etapie rozwoju roślinności (*Carpinus-Betula-Quercus* L PAZ) datowanym na późny okres subborealny do środkowego okresu subatlantyckiego (ok. 1200 BC-1000 AD) zaznaczyła się zdecydowana przebudowa w strukturze zbiorowisk leśnych polegająca na wzroście znaczenia grabu i brzozy w ówczesnych zbiorowiskach leśnych. Wyniki przeprowadzonych analiz wskazują na generalnie wyższą frekwencję pyłku *Carpinus betulus*, przy czym stwierdzono następujące po sobie kilkukrotne wzrosty i spadki udziału tego taksonu, skorelowane negatywnie z depresjami i kulminacjami wskaźników aktywności osadniczej i gospodarczej człowieka. Stwierdzono, że okres szczególnie nasilonej ekspansji graba (ok. 500 BC) odpowiadał regresowi osadniczemu po wycofaniu się ludności kultury łużyckiej. Od ok. 1200 BC w zapisie palinologicznym widoczny jest znaczący wzrost udziału procentowego pyłku *Betula alba*, a następnie utrzymywanie się tych wysokich wartości aż do ok. 1000 AD. Intensywna ekspansja brzozy w północno-wschodniej Polsce została udokumentowana także w wielu innych profilach palinologicznych z tego regionu. Przepuszczalnie była ona warunkowana charakterem ówczesnej gospodarki rolnej, opartej na cyklicznym odłogowaniu obszarów wykorzystywanych pod uprawę. Po porzuceniu były one stosunkowo szybko opanowywane przez zarośla lub lasy brzozowe, które następnie wypalano w celu użyczenia gleby popiołem drzewnym.

Ostatni z wyróżnionych etapów rozwoju roślinności (*Pinus-Picea-NAP* L PAZ) przypadał na późny okres subatlantycki (ok. 1000-2005 AD). Charakteryzował się on radykalnymi przeobrażeniami krajobrazu spowodowanymi gospodarczą aktywnością człowieka. Zapis pyłkowy dokumentuje znaczne wylesienie terenu i rozprzestrzenienie się wielu zbiorowisk roślinnych związanych z człowiekiem – pól uprawnych, łąk i pastwisk, zespołów ruderalnych – już od samego początku tej fazy (od ok. 1000 AD). Otwarcie terenu ułatwiało długodystansowy transport pyłku sosny, stąd charakterystyczne w tym poziomie pyłkowym są jego bardzo wysokie udziały (do 50%).

Po rozpoznaniu głównych etapów środkowo- i późnoholocenijskiego rozwoju roślinności w regionie Saletu opracowano bardziej szczegółową rekonstrukcję antropogenicznych zmian szaty roślinnej w różnych okresach epoki żelaza [2]. Najstarsza wyróżniona w profilu faza osadnicza przypadła na wczesną epokę żelaza (ok. 450-1 BC) i odzwierciedla działalność gospodarzą ludności kultury kurhanów zachodniobałtyjskich. Był to okres najsilniejszych zaburzeń antropogenicznych w szacie roślinnej; wylesiono duże powierzchnie lasu, przeznaczając je pod uprawę i wypas zwierząt hodowlanych. Zapis mikrofosyliów pozapyłkowych obrazuje gwałtowny rozwój zielenicy i sinicy, będący wynikiem eutrofizacji wód badanego zbiornika w efekcie zwiększonej dostawy nutrientów z jego intensywnie użytkowanej rolniczo zlewni. Natomiast obecność zarodników grzybów koprofilnych wskazuje na zanieczyszczenie strefy brzegowej odchodami różnych gatunków roślinożernych zwierząt, najprawdopodobniej hodowlanych.

Kolejna faza antropogenicznych przekształceń roślinności, datowana na ok. 1-550 AD, związana była głównie z osadnictwem kultury bogaczewskiej (ok. 1-350 AD). Zapis palinologiczny wskazuje na niewielkie osłabienie presji osadniczej. Nieznacznie zmniejszyła się powierzchnia pól uprawnych. Na porzucone tereny powróciły lasy sosnowo-brzozowe, a później grabowe. Występowanie w osadzie zarodników koprofilnych grzybów sugeruje jednak, że w bezpośrednim sąsiedztwie jeziora nadal zlokalizowane były pastwiska. Schyłek tej fazy oraz następną fazę osadniczą (ok. 350-850 AD) skorelowano z okresem wędrówek ludów. Wyniki analizy palinologicznej wskazują na dalsze ograniczenie powierzchni terenów wykorzystywanych przez człowieka i rozprzestrzenienie się wtórnych półnaturalnych zarośli i lasów brzozowych. Jednak zbiorowiska ruderalne, łąki i pastwiska były nadal stale obecne. Potwierdzeniem oddziaływania czynnika antropogenicznego w bliskim sąsiedztwie badanego zbiornika jest obecność w osadzie szczątków nicieni z rodzaju *Trichuris* (włosogłówka) oraz zarodników grzybów koprofilnych, które dowodzą lokalizacji siedzib ludzkich i miejsc hodowli zwierząt w bliskim odległości od jeziora.

Wyniki badań palinologicznych wskazują na zdecydowane osłabienie antropopresji w okresie wczesnego średniowiecza, ok. 850-920 AD, które skutkowało postępującą regeneracją lasu. Jego odbudowa zaczęła się od uformowania wtórnych lasów brzozowych, w następnym etapie sukcesji przekształconych w lasy z dominacją graba oraz lasy mieszane z dużym udziałem sosny.

W pracy [3] zaprezentowano wyniki badań palinologicznych odnoszących się do wpływu człowieka na zmiany w szacie roślinnej w otoczeniu jezior Salet i Ruskowiejskiego w okresie średniowiecza (ok. 950-1520 AD). Najważniejszym wnioskiem z analizy

przedstawionych wyników badań jest stwierdzenie, że trwale wielkoobszarowe odlesienia, połączone z intensywnym rozwojem antropogenicznych zbiorowisk otwartych (pola uprawne, łąki i pastwiska, zespoły ruderalne) zapoczątkowano tutaj ok. 1000 AD. Dokumentuje to dynamiczny rozwój gospodarczy regionu jeszcze w okresie przedkrzyżackim, gdy był on zasiedlony przez pruskie plemię Galindów. W powiązaniu z uzyskanymi przez A. Wacnik danymi dokumentującymi wczesne, choć datowane dopiero na początek XII w. trwale wielkoobszarowe przekształcenia roślinności w sąsiadującym regionie Krainy Wielkich Jezior Mazurskich, można wysnuć wniosek, że zjawisko to miało charakter regionalny. Powyższe stwierdzenie weryfikuje dotychczasowy pogląd o zasiedleniu pradziejowym Pojezierza Mrągowskiego. Do tej pory, w oparciu o dane historyczne, panowało przekonanie, że średniowieczne odlesienia i rozwój gospodarczy tego regionu należy datować dopiero na połowę XIV w., czyli na początek prowadzonej przez zakon krzyżacki akcji kolonizacyjnej.

W pracy [3] zwrócono szczególną uwagę na reakcję wybranych drzew (*Carpinus*, *Quercus* i *Picea*) na zmiany natężenia antropopresji i zmiany klimatyczne przypadające na średniowieczne ocieplenie (MWP) oraz małą epokę lodową (LIA). Stwierdzono, że w okresie średniowiecza zaznaczyły się dwa epizody szybkiego rozprzestrzenienia się graba w otoczeniu badanych jezior (ok. 1010/1080 AD i ok. 1220/1250 AD) w warunkach wzmożonej działalności gospodarczej człowieka. Przypuszcza się, że pastwiskowe użytkowanie lasu promowało rozwój odroślowych drzewostanów grabowych, co wynikało z dużych zdolności regeneracyjnych *Carpinus* przejawiających się szczególnie pod presją roślinożerców.

Wykazano, że wypas śródleśny, mógł także sprzyjać zachowaniu areału drzewostanów dębowych, a nawet celowemu przekształcaniu innych zbiorowisk leśnych w dąbrowy. We wczesnym średniowieczu lasy dębowe były cenione nie tylko jako źródło materiału budowlanego, ale przede wszystkim funkcjonowały jako miejsce jesienno-wypasu świń, a znaczenie ekonomiczne żołądki, które stanowiły podstawową paszę dla świń, było większe niż pozyskanego drewna. Dopiero w późnym średniowieczu, w czasach krzyżackich, presja gospodarcza skierowana na intensyfikację rolnictwa i zwiększone zapotrzebowanie na drewno, doprowadziła do masowej wycinki lasów dębowych. Wyniki przeprowadzonych badań palinologicznych wskazują, że w XIV-XV w. areał jaki zajmowały dąbrowy znacznie się pomniejszył, w czym dużą rolę odegrały głównie naturalne zmiany środowiska, związane z ochłodzeniem klimatu na początku małej epoki lodowej. Podobnie, przede wszystkim zmiany klimatyczne determinowały rozprzestrzenianie się świerka, którego podwyższoną frekwencję zanotowano w obu badanych profilach pyłkowych począwszy od ok. 1000 AD.

Profile pyłkowe z Saletu i Jeziora Ruskowiejskiego udokumentowały zmiany w skali regionalnej. Natomiast dane pyłkowe uzyskane z osadów niewielkiego oczka wodnego zlokalizowanego na terenie kompleksu osadniczego w Poganowie pozwoliły na odtworzenie lokalnych zmian powodowanych działalnością zamieszkującej go ludności, które odnoszą się do okresu od X do XVI w. Wyróżniono trzy etapy przekształceń środowiska. Dwa z nich, powiązane z kolejnymi fazami jego zasiedlenia, etap 1 (PG6-1 L PAZ) i etap 3 (PG6-3 L PAZ), obrazują zakłócenia w zbiorowiskach roślinnych pod wpływem nasilonej antropopresji. Związane one były z niszczeniem lasu przez mieszkańców Poganowa (wypalanie i/lub wycinanie), tworzeniem na wylesionych powierzchniach łąk/pastwisk i pól uprawnych oraz rozwojem zbiorowisk ruderalnych. Etap 2 (PG6-2 L PAZ) był okresem osłabienia działalności gospodarczej i naturalnej regeneracji lasu.

Dość liczna obecność zarodników grzybów koprofilnych w etapie 3, dokumentuje pastwiskowe użytkowanie lasów w otoczeniu kompleksu osadniczego. Ponadto, w analizowanym odcinku profilu zaznaczyły się bardzo wysokie udziały procentowe zarodników *Kretzschmaria deusta*, taksonu uznawanego za groźnego pasożyta drzew liściastych, atakującego nasady pni oraz odsłonięte korzenie, zwłaszcza uszkodzone mechanicznie lub osłabione przez czynniki stresowe. Można przypuszczać, że *Kretzschmaria deusta* zasiedlała korzenie i nasady pni uszkodzone przez wypasane zwierzęta.

Podsumowując, wyniki badań przeprowadzonych w ramach rozprawy doktorskiej pozwoliły ustalić, że zmiany w środowisku przyrodniczym Pojezierza Mrągowskiego podczas środkowego i późnego holocenu były ściśle powiązane z dynamiką procesów osadniczych na tym obszarze. Pierwsze odlesienia i rozwój zbiorowisk antropogenicznych miały miejsce już na przełomie późnego neolitu i epoki brązu; wiązały się one jedynie z niewielkimi zaburzeniami środowiska umożliwiającymi szybką regenerację drzewostanów. Ingerencja człowieka w środowisko nasiliła się znacznie w młodszej epoce żelaza, co doprowadziło do zmiany struktury zbiorowisk leśnych; jednym z najwyraźniejszych skutków tej transformacji był rozwój półnaturalnych lasów brzoźowych, głównie w efekcie stosowania wypaleniskowo-odłogowej metody uprawy. Trwałe wielkoobszarowe zmiany w szacie roślinnej wywołało osadnictwo wczesnośredniowieczne. Przekształcenia te wiązały się z odlesieniami zapoczątkowanymi już w XI w., czyli na długo przed kolonizacją tego regionu przez krzyżaków.

PhD THESIS SUMMARY

(numbers in square brackets correspond with the numbers of publications this thesis is based on)

The late Holocene was characterized by particularly intense transformations of the environment caused by the coincidence of natural changes typical of the younger part of the interglacial period and anthropogenic transformations. Palaeoecological pollen analyses play the most important role in reconstructions of the history of these transformations. Results of such analyses allow for the reconstruction of changes in vegetation and, indirectly, in other features of the environment. Particularly valuable information about natural or anthropogenic causes of these processes can be obtained from regions meticulously investigated in archaeological and historical terms, for which results from palaeoecological analyses can be confronted with archaeological and historical data. In this respect, the Mrągowo Lake District, where systematic archaeological work has continued since 1949, is a perfect region for this type of study. Long-term research has led to the identification of a settlement microregion on Lake Salęt and a settlement complex in Poganowo, for which the history of settlement from the late Neolithic period to the Middle Ages was documented. This region has become, therefore, one of the best investigated archaeological areas of NE Poland, and this provided a solid foundation to choose this site for palaeoecological studies on environmental changes caused by natural but also anthropogenic factors.

The primary objective of this study was to reconstruct changes in the vegetation of the Mrągowo Lake District during the last ca. 5 000 years (late Holocene) and attempt to identify their natural or anthropogenic causes. Within the framework of this primary objective several specific objectives were established, which were reached in the following order: (i) to reconstruct the main stages of regional changes in vegetation in the study area in the context of climate change and the dynamics of the settlement process [1]; (ii) to determine the chronology and scale of deforestation associated with the development of anthropogenic plant communities during the Iron Age and to determine the nature of economic activity at that time [2], (iii) to date the beginning of large-scale permanent deforestations that historians and archaeologists generally correlate with colonization by the Teutonic Order [3] (iv) to reconstruct local environmental changes that were marked only in the direct vicinity of human settlements [4].

Sediments from two lakes were studied: Lake Salęt and Lake Ruskowiejskie, located in the centre of the settlement microregion [1-3], and a small pond located within the settlement complex in Poganowo [4]. Methods used in the study included pollen analysis supplemented

with microcharcoal analysis and non-pollen palynomorph (NPP) analysis. The age of sediments was determined by radiocarbon dating. Results were interpreted and discussed based on using additional palaeoecological analyses performed by cooperating specialists from various fields.

Pollen data obtained from a preliminary analysis of the mid- and late-Holocene parts of the profile from Lake Salet allowed the distinguishing of four regional pollen levels corresponding with major stages of changes in vegetation in the vicinity of the lake [1]. The first stage (*Quercus-Corylus* L PAZ) covered the early and middle subboreal period (ca. 3600-1850 BC) and was characterised by the dominance of mixed oak-pine forests with hazel and birch. The pollen record for this stage, in the period dated at ca. 3400-1500 BC, indicated high pollen values for *Corylus avellana*, documenting the spread of hazel thickets and/or forest communities with hazel in the underwood. This process could be caused by both anthropogenic factors (forest clearings promoting the production of pollen by hazel, and colonization of newly created open spaces by this shrub) and climatic (drying of climate, reported by other authors). In addition, a marked decline in pollen values for *Ulmus* in the period ca. 2900-2550 BC was recorded. Reduction in the acreage of elm was accompanied by changes in the structure of tree stands (increased importance of pine, spruce and birch) and the spread of anthropogenic communities in open habitats. Similar changes were recorded in pollen profiles from almost all of Europe. This allows for the correlation of these profiles, even though the process of elm decline has been dated in a very broad time frame and has long been debated. It is believed that the rapid elimination of elm was caused by several interacting factors: climatic, anthropogenic and pathogenic (Dutch elm disease).

During the second stage of vegetation changes in the area of Lake Salet (*Corylus-Carpinus-Quercus-Betula* L PAZ), which took place in the middle subboreal period (ca. 1850-1200 BC), there was a significant increase in the acreage of *Carpinus betulus*, accompanied by the spread of vegetation typical of open areas. It is likely that manmade clearings in forests, partially eliminating lime, hazel, elm and oak, could have had a positive impact on the growth of hornbeam. In addition, areas formerly managed by humans (abandoned or temporarily out of use) could have become overgrown with replacement communities formed by hornbeam, which facilitated its spread to new habitats. A decline in pollen values for *Carpinus betulus* recorded later was probably associated with the intensification of settlement correlated with economic changes that occurred in the late Neolithic period and Bronze Age, and thus with increased demand for fertile land occupied by hornbeam forests. After ca. 1850 BC there was a clearly marked decrease in pollen values for *Corylus avellana*. A similar process was also noted on

several other sites in Poland and Germany, and it can most likely be explained by climate changes (cooling and humidification) rather than by increased levels of anthropogenic pressure.

In the next stage of vegetation development (*Carpinus-Betula-Quercus* L PAZ) dated at the late subboreal period and middle subatlantic period (ca. 1200 BC-1000 AD) there was a marked transformation in the structure of forest communities, reflected in the increased role of hornbeam and birch in forests at that time. Results of analyses indicate generally higher pollen values for *Carpinus betulus*, but also a sequence of several increases and decreases in the share of this taxon negatively correlated with depressions and peaks of indices reflecting human settlement and economic activity. The study found that the period of particularly strong expansion of hornbeam (ca. 500 BC) corresponded with a regression in settlement after the withdrawal of Lusatian culture people from this area. From ca. 1200 BC the palynological record indicates a significant increase in pollen values for *Betula alba*, and the long persistence of these high values until ca. 1000 AD. Strong expansion of birch in northeastern Poland has been documented in many other palynological profiles from this region. Presumably, this was determined by the nature of agricultural practice at that time, which was based on the cyclical fallowing of areas used for farming. Abandoned fields were relatively quickly colonized by birch thickets or forests, which were later burned in order to fertilize the soil with wood ash.

The last of the distinguished stages of vegetation development (*Pinus-Picea*-NAP L PAZ) took place in the late subatlantic period (ca. 1000-2005 AD). It was characterised by radical transformations in the landscape caused by human economic activity. Pollen records document a significant deforestation of the area and the spread of many anthropogenic plant communities - arable fields, meadows and pastures, ruderal communities - from the very beginning of this phase (ca. 1000 AD). The opening of the landscape facilitated long-distance transport of pine pollen, so there are characteristic very high pollen values for pine (up to 50%) in this part of the profile.

After identifying major stages of mid- and late-Holocene vegetation development in the area of Lake Salęt, anthropogenic changes in vegetation in different periods of the Iron Age were reconstructed in more detail [2]. The oldest settlement phase identified in the profile was dated to the early Iron Age (ca. 450-1 BC) and reflected the economic activity of people representing the West Balt Barrow culture. This was the time of the strongest anthropogenic disturbances in vegetation; large areas were deforested and used as arable fields and pastures for livestock. The non-pollen microfossil records illustrate a rapid development of green algae and cyanobacteria, resulting from the eutrophication of water in the investigated lake due to the increased supply of nutrients from the catchment area used for intensive farming. On the other

hand, spores of coprophilous fungi found in sediments indicate the contamination of the coastal zone with faeces from different species of herbivorous animals, most likely kept as livestock.

Another phase of anthropogenic transformations of the vegetation, dated to ca. 1-550 AD, was associated mainly with Bogaczewo culture settlements (ca. 1-350 AD). The palynological record suggests a slight decrease in the pressure caused by settlement. The area of arable fields reduced slightly. Pine-birch forests, and later hornbeam forests, returned to abandoned land. However, spores of coprophilous fungi found in the sediment suggest that there were still pastures in the immediate vicinity of the lake. The decline of this phase and the next settlement phase (ca. 350-850 AD) were correlated with the Migration Period. Results of palynological analysis point to a further reduction in the surface of land used by man, and the spread of secondary semi-natural birch thickets and forests. However, ruderal communities, meadows and pastures were still present. The effects of anthropogenic factors in the vicinity of the investigated lake is confirmed by the presence of remains of *Trichuris* nematodes (whipworms) and spores of coprophilous fungi, which show that human households and sites of animal breeding were located in close proximity to the lake.

Findings from palynological analyses indicate a significant reduction in anthropogenic pressure in the early Middle Ages, ca. 850-920 AD, which resulted in progressing forest regeneration. This regeneration began with the formation of secondary birch forests, and in the next stage of succession their transformation into forests dominated by hornbeam and mixed forests with a high share of pine.

Another paper [3] presents results from palynological analyses regarding human impact on vegetation surrounding Lake Sałt and Lake Ruskowiejskie in the Middle Ages (ca. 950-1520 AD). The most important conclusion from the presented research is the finding that persistent large-scale deforestation, combined with the rapid development of anthropogenic open communities (fields, meadows and pastures, ruderal assemblages) started here ca. 1000 AD. This documents the dynamic economic development of the region in the pre-Teutonic period, when it was inhabited by the Prussian *Galinditae* tribe. With reference to data reported by A. Wacnik, documenting early (although dated to the beginning of 12th c.) persistent large-scale transformation of the vegetation in the neighbouring region of the Great Mazurian Lake District, it can be concluded that this process had a regional nature. This statement verifies the previous view on the historic settlements in the Mrągowo Lake District. So far, it has been believed, based on historical data, that the medieval deforestation and economic development of the region should be dated not earlier than to the mid-14th c., i.e. the beginning of the conquest carried out by the Teutonic Order.

In this paper [3] particular attention was paid to the response of selected tree taxa (*Carpinus*, *Quercus* and *Picea*) to changing levels of anthropogenic pressure and climate change at the times of the Medieval Warm Period (MWP) and the Little Ice Age (LIA). The study identified two medieval episodes of the rapid spread of hornbeam in the area surrounding the investigated lakes (ca. 1010/1080 AD and ca. 1220/1250 AD) associated with intensive human economic activity. It is believed that the use of forest for grazing promoted the development of hornbeam forests from off-shoots, which resulted from the strong regenerative potential of *Carpinus* manifested especially under the pressure of herbivores.

It has been shown that the livestock grazing in the forest could also have contributed to the persistence of oak stands, and even deliberate transformation of other forest communities into oak forests. In the early Middle Ages oak forests were valued not only as a source of building material, but primarily functioned as foraging sites for pigs in autumn, and the economic importance of acorns, the basic feed for pigs, was higher than that of harvested timber. Only in the late Middle Ages, in the times of the Teutonic Order, did the economic activity oriented at the intensification of agriculture and increased demand for wood lead to the logging of oak forests on a large scale. Palynological studies suggest that in the 14-15th c. the area covered by oak forests reduced significantly, which was largely attributed to natural changes in the environment induced by climate cooling at the beginning of the Little Ice Age. Similarly, climate change was the major factor determining the spread of spruce, for which increased frequencies were noted in both analysed pollen profiles, starting from ca. 1000 AD.

Pollen profiles for Lake Salet and Lake Ruskowiejskie document changes on a regional scale. In contrast, pollen data obtained for sediments collected from a small pond located within the settlement complex in Poganowo helped reconstruct local changes caused by people living in this area between the 10th and 16th c. Three stages of environmental transformations have been identified. Two of them, associated with successive phases of colonisation, stage 1 (PG6-1 L PAZ) and stage 3 (PG6-3 L PAZ), illustrate disturbances in plant communities caused by strong anthropogenic pressure. They were connected with the destruction of forests by the people of Poganowo (controlled burning and/or logging), the establishment of meadows/pastures and arable fields on deforested land, and the development of ruderal plant communities. Stage 2 (PG6-2 L PAZ) was a period of decline in economic activity and the natural regeneration of forests.

The quite high number of spores of coprophilous fungi found in the stage 3 documents the use of forests surrounding the settlement complex for grazing. Moreover, the analysed part of the profile contained marked, very high shares of *Kretzschmaria deusta* spores, a taxon

regarded as a dangerous parasite of deciduous trees, attacking the base of the trunk and exposed roots, especially those mechanically damaged or weakened by stressors. It can be assumed that *Kretzschmaria deusta* colonised the roots and bases of trunks damaged by grazing animals.

In conclusion, the results of studies carried out for the purpose of this PhD thesis indicated that changes in the natural environment of the Mrągowo Lake District during the middle and late Holocene were closely linked with the dynamics of settlement in this area. The first deforestations and development of anthropogenic plant communities took place as early as in the late Neolithic and beginning of the Bronze Age. They were associated with only slight disturbance to the environment allowing for the rapid regeneration of forests. Human interference with the environment was much stronger in the early Iron Age, which led to changes in the structure of forest communities. One of the clearest effects of this transformation was the development of semi-natural birch forests, mainly due to slash-and-burn agricultural practice. Persistent large-scale changes in vegetation were associated with early medieval settlements. These transformations were linked with deforestations initiated early in the 11th century, long before this region was colonised by the Teutonic Order.