

BARBARA MANIKOWSKA*

Łódź

EVOLUTION DE LA DEPRESSION FERMEE A KOCHANÓW (POLOGNE CENTRALE)

A b s t r a c t

The deposits which filled an elongated, extraglacial depression at Kochanów were described. The depression came into being during the Warta ice sheet deglaciation. The deepest part of the depression was occupied by a block of dead ice and after its melting by a lake. The author analysed deposits filling up the lake basin and a dry valley associated with it.

On the base of grain size distribution, mineralogical and chemical composition, and mechanical abrasion of material seven stratigraphical units were distinguished. Character of malacological remnants, genetic features, stratigraphic position of the deposits and their correlation with those derived from other sites in the region, dated by radiocarbon method, enabled to determine the age of the particular parts of the series.

The lake was dozen or so metres deep; during the Eemian Interglacial (I) calcareous gyttia and later (II) lacustrine chalk accumulated in it. Within the Vistulian series the author distinguished following units: (III) sandy-gravelly littoral sediment, (IV) fine grained slope sediment, (V) coarse grained slope sediment, (VI) sandy and sandy-silty aeolian cover sediment, and finally (VII) recent deluvial sediment.

The lake disappeared entirely during the Late Plenivistulian (ca. 20–15 ka BP). Two stages in the development of periglacial phenomena were found. They confirm the conception of bicyclic evolution of the environment in Middle Poland during the Vistulian age.

INTRODUCTION

Les sédiments de la glaciation du stade de la Warta, remplissant des dépressions fermées, se distinguent par une diversité de séquences. On y trouve des dépôts d'origine lacustre, boueuse, dues aux processus de versants ou éoliens, correspondant aux types différents de faciès et représentés en combinaisons et proportions quantitatives diverses. Les dépressions, observées en Pologne Centrale, sont parfois remplies de dépôts postglaciaires, atteignant au centre l'épaisseur de 20 m, tandis que des autres, quoique plus larges, sont presque complètement dépourvues de ce type de dépôts de remplissage.

Malgré le caractère des systèmes fermés de ces dépressions, on y observe des discordances stratigraphiques dues à l'intervention des processus de versants, de l'activité fluviale ou éolienne, dont l'identification devient parfois difficile. Chacune des dépressions reconnues en Pologne Centrale

* Zakład Gleboznawstwa i Paleopedologii Uniwersytetu Łódzkiego, 91-735 Łódź, ul. Żródlowa 47

présente un autre type de remplissage et de l'âge différent des horizons respectifs ce qui prouve qu'il n'y avait aucun modèle uniforme de l'évolution de ces formes.

Les dépôts remplissant la forme concave à Kochanów ont été reconnus au cours des années 60–ièmes (MANIKOWSKA, 1966). Depuis ce temps on y complétait successivement des observations de terrain et des travaux au laboratoire – la granulométrie, la morphoscopie, les analyses minéralogiques et chimiques. Les minéraux lourds ont été définis par dr K. RADLICZ, de l'Institut de Géologie, et les débris des os par professeur M. URBANOWICZ de l'Université de Łódź. Au cours de ces travaux les problèmes chronostratigraphiques s'éclaircissaient successivement, grâce aux progrès de recherches régionales et aux datations nombreuses de ^{14}C . Les datations absolues à Kochanów n'ont pas été réalisables, vu l'absence du matériel organique convenable. L'interprétation chronostratigraphique est devenue possible à l'aide de la corrélation avec de mêmes types de dépôts datés ailleurs. Les analyses de la malacofaune de la craie lacustre à Kochanów, effectuées par professeur S. W. ALEXANDROWICZ de l'Académie de Science à Cracovie, présentent un apport particulièrement important (ALEXANDROWICZ, 1997).

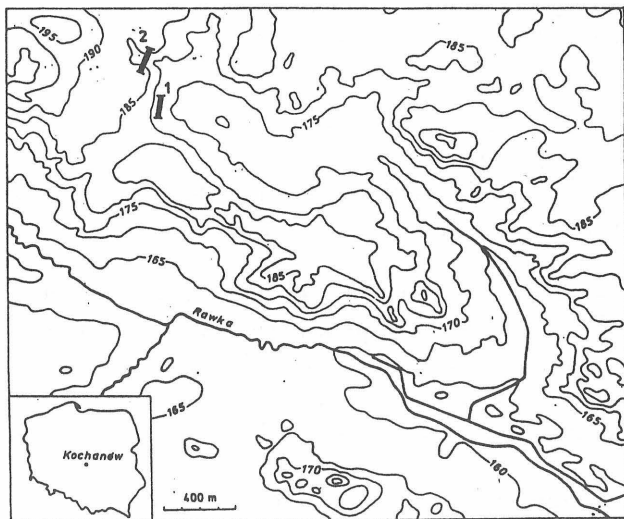


Fig. 1. Topographie des environs de Kochanów
1 et 2 lignes des profils géologiques analysés dans la dépression

Rys. 1. Topografia okolic Kochanowa
1 i 2 linie przekrojów geologicznych badanych w zagłębieniu

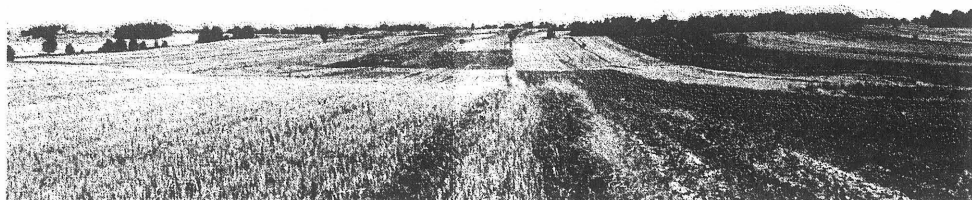


Photo 1. Le paysage des environs de Kochanów

Fot. 1. Krajobraz okolic Kochanowa

La localité de Kochanów se trouve au terrain du Plateau de Skierniewice, à la distance de 45 km à l'est de Łódź, dans la zone de l'extension maximale de la glaciation dont la limite passe à peine plusieurs kilomètres au sud. Selon KLATKOWA (1972) et KLAJNERT (1978) ce terrain fut modelé dans les conditions de la déglaciation aréale qui s'exprime dans la domination des formes du type de kames, eskers, moraines de fond, petits sandres, des chénaux et des vallées extraglaciaires. La dépression de Kochanów (photo 1, fig. 1) présente une partie d'une forme concave, allongée, érodée dans la surface de l'interfleuve et orientée vers la vallée de la Rawka qui se dirige, à son tour, vers la pradoline de Varsovie-Berlin. La dépression en question présente une forme d'une courte, large vallée dont la partie supérieure est ramifiée en quelques petits "golfs" et en vallées en berceau. Toutes ces formes se rencontrent au fond de la vallée principale où on distingue la partie centrale en forme d'un vaste bassin avec deux surcreusements, et la partie inférieure, séparée de la partie centrale par un seuil, la plus longue, avec le fond plat, drainé par un ruisseau. La partie centrale de ce système représente un ancien bassin lacustre, transformé au cours de l'évolution du relief, depuis la retraite du glacier.

La dépression s'est formée dans le milieu glaciaire, comme une courte vallée, érodée par les eaux fluvioglaciaires. Le bloc de la glace morte, enseveli dans la vallée formait au fond un bassin surcreusé de plusieurs mètres, rempli d'un lac allongé. Ce paysage glacio-érosif-lacustre fut transformé pendant l'interglaciaire Eemien et dans les conditions périglaciaires du Vistulien. Les dépôts, accumulés le long de la bordure du bassin et dans une petite vallée sèche qui y descend, présentent un complexe riche en sédiments qui reflètent de étapes respectives de la transformation post-glaciaire de l'environnement.

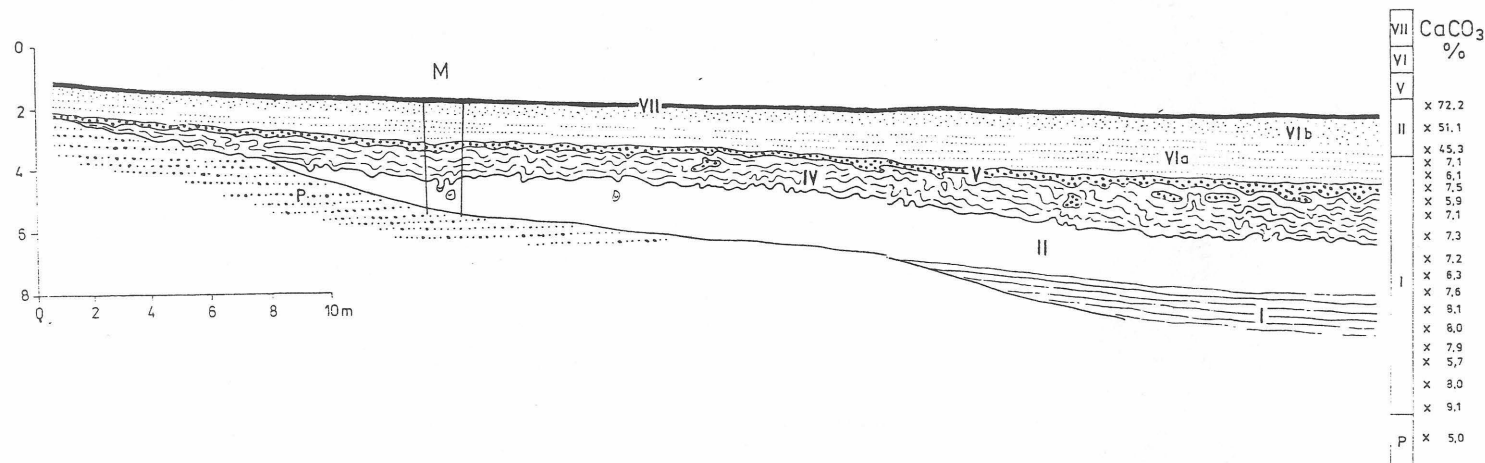


Fig. 2. Dépôts du bord de la dépression à Kochanów. Profile 1 sur la figure 1

P – substratum fluvioglaciaire. Remplissage de la dépression: I – gyttia de craie; II – craie lacustre; III – dépôt littoral; IV – dépôt de versant à grain fin; V – dépôt de versant à grain gros; VI – sable de couverture: VIa – nappe sableuse, VIb – nappe poussiéreuse; VII – dépôt déluvial, sol actuel; à droit du dessin – contenu en carbonates dans les dépôts du centre du bassin; M – la coupe où les échantillons malacoanalyse ont été fait; D – dy; SF – sol fossile

Rys. 2. Osady strefy brzeżnej zagłębienia w Kochanowie. Profil 1 na rys. 1

P – fluwioglacialne podłoże. Wypełnienie zagłębienia: I – gytia wapienna; II – kreda jeziorna; IV – osad stokowy drobnoziarnisty; V – osad stokowy gruboziarnisty; VI – piasek pokrywowy: VIa – pokrywa piaszczysta, VIb – pokrywa pylasta; VII – osad deluwialny, gleba współczesna; po prawej stronie rysunku podano zawartość węglanów w osadach centrum zbiornika; M – odkrywka, z której pobrano próbki do analizy malakofaunistycznej; D – dy; SF – gleba kopalna

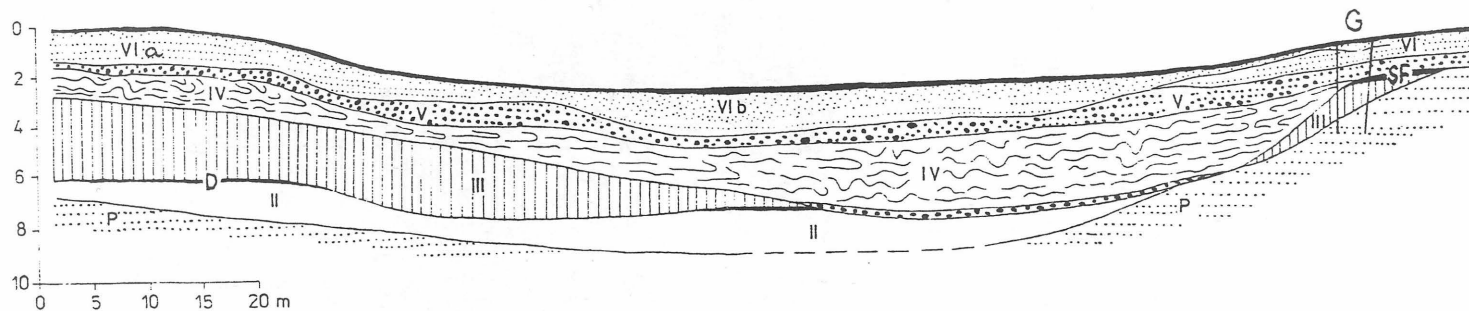


Fig. 3. Dépôts à l'embouchure de la vallée latérale dans le bassin fermé à Kochanów. Profile 2 sur la figure 1
Explications comme sur la figure 2

Rys. 3. Osady przy ujściu doliny bocznej do zagłębienia bezodpływowego w Kochanowie
Objaśnienia jak na rys. 2

STRATIGRAPHIE

Les dépôts remplissant le bassin et la petite vallée sèche (fig. 2, 3) présentent une formation composée de dépôts suivants:

- I. Gytia de craie – le sable fin et la vase avec le détritux végétal, mêlé de carbonates, recouvert de la vase avec des interstices argileuses mêlées d'humus et de macroreliques des mollusques; l'épaisseur au maximum 10 m.
- II. Craie lacustre – le sédiment carbonaté occupant tout le fond du bassin, débordant la couverture de gyttia et atteignant même les fonds de petites concavités à l'entourage du bassin; on y trouve de nombreuses reliques de malacofaune, de même que des os, probablement des tortilles mais on n'y trouve pas de pollens; l'épaisseur de cette série ne dépasse pas 1,5 m (photo 2, fig. 4)).
- III. Dépôt littoral – le sable blanchâtre avec de bandes d'humus et de macroreliques végétales, dispersées; la stratification parallèle, à peine visible; cette série, absente dans la partie centrale du bassin,

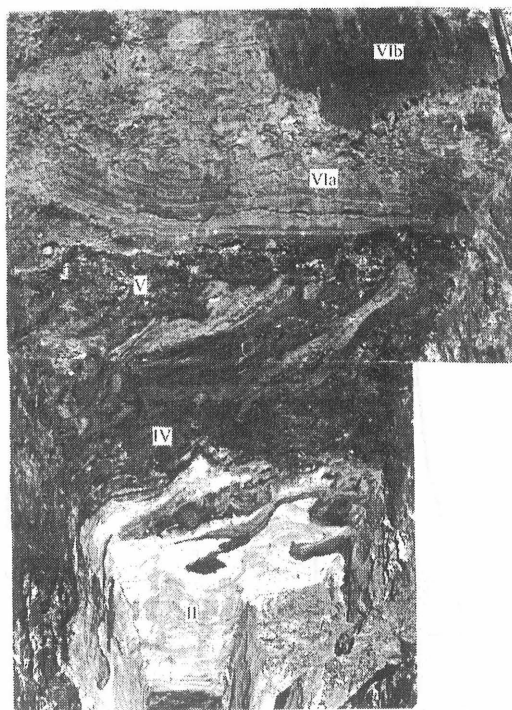


Photo 2. Coupe au bord de la dépression à Kochanów

II – craie lacustre; IV et V – dépôts de versant, congéliflués; VI – sable de couverture

Fot. 2. Odkrywka M w strefie brzeżnej zagłębienia w Kochanowie

II – kreda jeziorna; IV i V – osady stokowe kongeliflukcyjne; VI – piasek pokrywowy

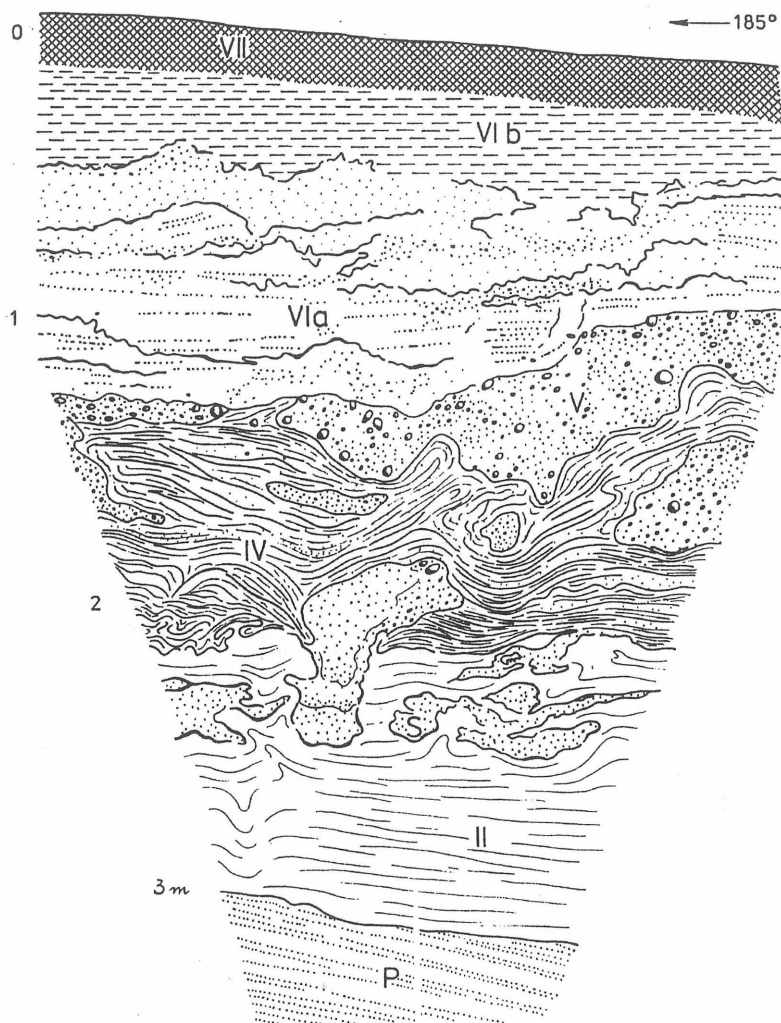


Fig. 4. Dépôts du bord de la dépression à Kochanów. Le coupe M (sur la fig. 2) où on a pris des échantillons pour la malacoanalyse
S – plongements du sable dans la craie lacustre. Autres explications comme sur la fig. 2

Rys. 4. Osady strefy brzeżnej zagłębienia w Kochanowie. Odkrywka M na rys. 2, w której pobrano próbki do analizy malakologicznej
S – pogrąży piasku w kredzie jeziornej. Pozostałe objaśnienia jak na rys. 2

occupe – par contre – la partie littorale où elle recouvre la craie lacustre dont la surface est légèrement érodée; dans la zone de l'embouchure de la vallée sèche (latérale) cette série fut entièrement déblayée; elle a été déposée dans la zone d'une ondulation du lac et dans les conditions de l'abrasion des rives occupées par la végétation; près du versant abrupt de l'interfleuve glaciaire le

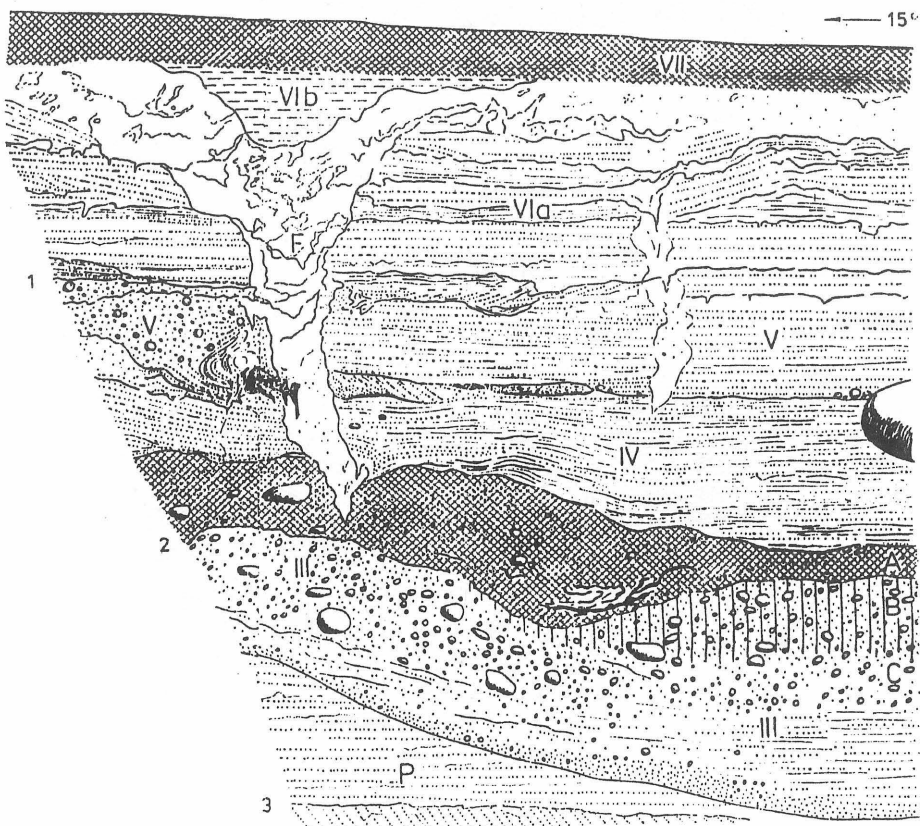


Fig. 5. Dépôts du versant de la vallée latérale embouchée au fond de la dépression fermée à Kochanów. Le coupe G (sur la fig. 3) avec le sol fossile brun arctique

F – fente en coin de pergélisol; sol fossile: A – horizon d'humus; B – horizon brun; C – horizon de la roche mère.
Autres explications comme sur la fig. 2

Rys. 5. Osady na stoku doliny bocznej uchodzącej na dno zagłębienia bezodpływowego w Kochanowie. Odkrywka G (na rys. 3) z brunatną arktyczną glebą kopalną

F – klin zmarzlinowy; gleba kopalna: A – poziom próchniczny; B – poziom brunatnienia; C – poziom skały macierzystej.
Pozostałe objaśnienia jak na rys. 2

dépôt devient hétérogranuleux, avec de grands blocs des pierres; au sommet il y a une couche d'humus du type de sol (fig. 5).

IV. Dépôt de versant à grain fin – les couches sableuses intercalées de vase, déposées dans des concavités du terrain au cours de l'écoulement des eaux superficielles périodiques; ce sont les sédiments – par endroits déposés dans l'eau stagnante (des lacs peu profonds ou des mares), où – parfois – les sédiments fluviatiles,

correspondant aux ruisseaux saisonniers; dans leur partie inférieure il y a de bandes minces d'humus; l'épaisseur de ce dépôt ne dépasse pas au fond du bassin quelques dizaines de centimètres, tandis que dans les vallées latérales – où il repose au – dessus de la discordance, marquée par le pavage d'érosion – il atteint 3 m.

- V. Dépôt de versant à grain gros – le sable mêlé de gravier et de blocs qui présente une nappe due à la congélifluxion, étendue sur tout le terrain d'observation – tantôt comme un pavage de pierres, tantôt comme une couverture résiduelle du matériel hétérogranuleux, sans triage, enrichi en fer – dont l'épaisseur atteint 0,5 m; cette série se transforme au fond de la vallée sèche en dépôt fluviatile atteignant jusqu'à 1,0 m, sableux – dont le triage témoigne de l'écoulement vif et concentre des eaux périodiques.
- VI. Sable de couverture – une nappe, atteignant 1,5 m d'épaisseur, observée partout à la surface, y compris le plateau; sa partie inférieure se compose du sable à grain moyen et fin (VIa) bien trié, à lamines parallèles; dans sa partie supérieure, jusqu'à 0,5 m (VIb) au-dessus de la surface, on trouve une quantité remarquable de poussière; la limite entre la nappe sableuse et la couche de poussiéreuse est en général effacée par les processus pédogénétiques de l'Holocène; le sable de couverture présente des traits du matériel éolise, déposé dans les conditions subaérales – parfois dans des eaux superficielles; les poussières ont été transportées par le vent, suspendues dans l'air, ainsi que le sable à grain gros, transporté par la saltation.
- VII. Dépôt déluvial – accumulé aux fonds des concavités plus profondes, composé du matériel hétérogranuleux avec la prépondérance de grain fins, mêlé d'humus, atteignant 1,5 m d'épaisseur, transporté partiellement par suite de l'activité antropogène; aux endroits plus élevés il se transforme en horizon d'humus du sol actuel.

LITHOLOGIE

Carbonates. Le contenu de CaCO_3 (défini à l'aide de la méthode de Scheibler) dans le dépôt du remplissage le plus profond et oscille entre 5,0 jusqu'à 8,9% (fig. 2). C'est le dépôt du type de gyttia calcifère, accumulée au fond d'un lac, profond au moins de plusieurs mètres, eutrophique, alimenté en permanence en carbonates, lessivés de l'entourage. Au-dessus de gyttia se trouve la craie dont le contenu du CaCO_3 atteint 71,2%. Aux périphéries du lac la craie recouvre directement les dépôts fluvioglaciaux. A l'époque où elle s'accumulait le lac était peu profond et largement étendu, avec de petits "golfs"; l'accumulation intense des carbonates pre-

sentait des conditions favorables à la faune des mollusques. L'analyse de la couche de craie, accessible dans une coupe près du versant (fig. 4) a permis de définir le caractère interglaciaire de la malacofaune y trouvée. Ces recherches permettent de suivre des changements climatiques vers un réchauffement progressif, jusqu'au maximum, représenté au sommet, avec des espèces qui correspondent au climat plus doux que celui d'optimum de l'Holocène (ALEXANDROWICZ, 1997).

Au-dessus de la craie les carbonates disparaissent; on ne les trouve plus, autant dans les dépôts sableux d'origine littorale, que dans tous les dépôts superposés.

Morphologie des grains. La forme et le caractère de la surface des grains du sable ont été analysés à l'aide des méthodes morphoscopiques (CAILLEUX, TRICART, 1959), modifiées au laboratoire géomorphologique à Łódź (MANIKOWSKA 1993). Les grains de sable 0,8–0,5 mm ont été traités visuellement, sous le microscope. On distinguait quatre catégories: RM – grains ronds mats, façonnés pendant le transport éolien, EL – grains émoussés luisants, façonnés par l'eau courante, NU – grains non usés, sans de traits du façonnement, M – grains intermédiaires, sans caractère définitif. Le figure 6 présente la synthèse de ces analyses. On y trouve de traits morphoscopiques des dépôts, arrangés en colonne stratigraphique, à partir du substratum fluvioglaciaire jusqu'à la nappe plus jeune, sablo-poussièreuse. La série lacustre ne contient pas du matériel grossier; on n'y a analysé que des blocs ensevelis du sable d'origine littorale. Les moyennes des résultats sont présentées sur la table I.

Le substratum fluvioglaciaire contient plus de 20% de grains RM, presque 30% de grains EL et 10% de grains NU; c'est un mélange de

Table I

Valeurs moyennes de l'analyse morphoscopique des composants sableux 0,8–0,5 mm dans les dépôts à Kochanów

Numero et type du dépôt	Nombre d'échantillons	% de grains			
		RM	EL	NU	M
VIb Couverture poussiéreuse	5	40,9	18,3	2,3	38,5
VIa Couverture sableuse	10	43,7	9,7	2,4	44,2
V De versant, a grain gros	4	44,7	11,1	4,4	39,8
IV De versant, a grain fin	8	38,3	20,5	4,7	36,5
III Littoral	6	21,6	34,3	12,4	31,7
II Remplissage des plongements	5	25,2	28,3	12,0	34,5
I Fluvioglaciaire	5	23,2	29,2	10,5	37,1

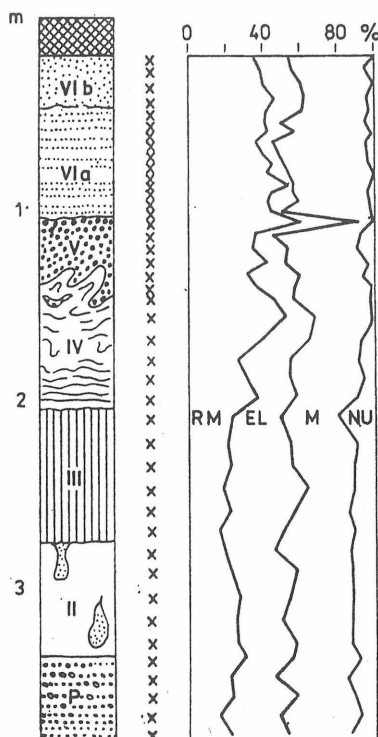


Fig. 6. Résultats de l'analyse morphoscopique des dépôts à Kochanów

Catégories des grains: RM – ronds mats; EL – émoussés luisants; M – intermédiaires; N – non usés.

Autres explications comme sur la fig. 2

Rys. 6. Wyniki analizy morfoskopowej osadów w Kochanowie

Kategorie ziarn: RM – zaokrąglone matowe; EL – stępione błyszczące; M – pośrednie; N – nieobrobione

Pozostałe objaśnienia jak na rys. 2

grains, caractérisant les dépôts glaciaires de la Pologne Centrale, composés du matériel dont la genèse et les conditions du façonnement de grains ont été différents.

Les dépôts plus anciens, remplissant la dépression à Kochanów n'ont aucuns traits qui permettraient de les distinguer du substratum. Les différences ne se manifestent qu'à partir de dépôts de versant à grain fin; cela s'exprime dans l'accroissement du contenu de grains RM – jusqu'à 38% et dans la diminution de grains EL et NU – à 20 et 5%. Cette tendance devient de plus en plus claire vers le sommet où – dans la nappe sableuse – le contenu de grains RM atteint 45% et de grains EL – a peu près 10% (ce qui signifie trois fois moins par rapport au substratum), tandis que les grains NU progressivement disparaissent. Ces témoignages

Granulométrie et minéraux lourds des dépôts à Kochanów

Numero et type du dépôt	% de grains du diamètre en mm							% de grains du diamètre en 0,25–0,10 mm										$\frac{C+T}{A+P+E}$	$\frac{T}{L/A}$
	λ	1–0,5	0,5–0,25	0,25–0,125	0,125–0,062	0,062–0,002	<0,002	C	T	R	G	A	P	E	S+A	C+T+R	A+P+E		
VIb. Nappe de poussiereuse	0,2	6,3	24,2	23,3	6,7	35,8	3,5	4,1	12,8	1,8	52,3	7,7	2,3	5,6	5,9	48,7	15,6	1,20	1,66
	0,2	7,1	35,0	27,1	12,2	16,7	1,7	4,6	14,5	2,5	50,9	4,6	4,1	2,0	7,1	21,6	10,7	2,02	3,15
VIa. Nappe sableuse	0,3	6,6	37,9	37,7	10,6	5,6	1,9	0,9	9,2	0,6	62,1	11,2	2,7	2,4	7,3	10,7	16,3	0,66	0,82
	0,1	3,8	26,1	44,5	17,2	6,5	1,8	3,7	18,0	1,7	43,4	9,7	3,7	5,4	7,1	23,4	18,8	1,24	1,86
	0,1	7,0	36,8	37,8	10,9	5,6	1,8	2,0	25,8	0,6	28,4	19,0	5,9	7,6	7,6	28,4	32,5	0,87	1,36
	0,3	3,5	36,7	36,0	14,3	5,0	1,2	1,5	27,2	2,7	33,8	14,1	3,6	4,8	8,7	31,4	22,5	1,40	1,93
	3,2	6,7	35,3	41,1	6,9	5,8	1,0	1,7	12,8	0,9	53,8	9,9	3,5	6,1	7,0	15,4	19,5	0,79	1,29
	0,7	3,7	24,3	45,5	16,7	6,5	2,6	4,3	15,9	0,6	48,9	8,5	2,4	4,9	8,5	20,8	15,9	1,31	1,87
V. Dépôt versant a grain gros	17,1	7,2	19,0	25,2	13,9	13,3	4,3	2,0	16,3	0,8	44,4	16,1	3,5	5,9	6,6	19,1	25,5	0,75	1,01
IV. Dépôt versant a grain fin	4,6	12,5	24,0	13,2	6,1	36,8	2,8	3,4	6,1	0,6	40,2	29,3	3,6	7,0	5,2	10,1	39,9	0,25	0,21
	9,7	12,7	28,4	20,5	7,5	13,6	7,6	3,5	5,8	0,5	46,0	26,9	3,5	6,8	4,6	9,8	37,2	0,26	0,22
	1,8	6,4	14,1	10,0	5,6	50,6	11,2	1,6	5,2	0,3	28,0	53,6	2,6	4,5	2,3	7,0	60,7	0,12	0,10
	4,0	14,0	36,7	22,8	6,5	10,9	5,1	2,6	3,5	1,9	61,9	11,9	0,7	7,4	5,8	8,0	20,0	0,40	0,29
	2,5	5,4	9,9	5,8	7,7	55,1	13,6	2,8	6,4	2,1	30,8	42,6	1,6	7,7	3,4	11,3	51,9	0,22	0,15
III. Littoral – plongements dans la craie	6,3	22,8	47,7	18,2	3,6	0,9	0,5	1,6	4,6	0,8	38,4	40,6	3,5	3,8	1,6	7,0	47,9	0,15	0,11
	4,9	23,5	46,3	18,9	4,4	1,1	0,9	1,8	6,1	2,1	43,4	31,6	2,4	7,4	3,4	8,2	41,4	0,20	0,19
	9,0	21,7	40,2	11,9	3,7	12,4	1,1	1,9	9,3	1,7	34,1	33,4	5,5	3,8	5,0	11,0	42,7	0,26	0,28
	2,0	9,1	15,5	8,1	4,4	40,1	21,0	0,6	13,7	0,0	25,6	44,0	0,0	9,5	3,0	13,7	53,5	0,26	0,31
	3,9	16,9	50,4	14,0	3,5	9,2	2,1	1,9	16,8	0,6	37,4	28,5	3,9	5,5	3,3	17,4	37,9	0,46	0,59
0. Substratum fluviogaliaire	1,1	13,1	62,9	14,2	5,1	2,4	1,2	0,3	10,7	0,3	37,8	32,0	3,4	7,3	4,9	11,0	42,7	0,26	0,33
	1,6	27,1	51,8	12,4	3,3	2,6	1,2	0,5	12,0	1,4	47,5	24,2	1,1	3,0	4,9	13,4	28,3	0,47	0,50

C – zicons; T – tourmalines; R – rutiles; G – grenats; A – amphiboles; P – piroxènes; E – épidote; S+A – staurokides et andalousites

d'un façonnement remarquablement fort du matériel pendant le transport éolien est caractéristique pour les dépôts de nappes et pour les dépôts de versants à gros grain. On observe ces régularités partout en Pologne Centrale (GOŹDZIK, 1980, 1981, 1991; MANIKOWSKA, 1985, 1991, 1993, 1995a, 1995b). C'est le maximum du façonnement éolien de l'époque du Vistulien. Pourtant, il faut remarquer que ce maximum, observé dans d'autres localités, dépasse parfois les résultats obtenus à Kochanów.

Minéraux lourds. On a fait une analyse complète des minéraux lourds de la fraction 0,25–0,10 mm, séparés dans le bromoforme; les conclusions finales se basent pourtant sur des minéraux choisis, comme indicateurs de l'altération auxquels appartiennent les minéraux peu résistants, comme les amphiboles et les piroxènes et ceux qui sont les plus durables, les zircons, les tourmalines et les rutiles; à ces derniers appartiennent aussi les staurotides et les andalousites (CAILLEUX, TRICART, 1959; ŁYDKA, 1985; OLIER, 1984). Les grenats sont généralement considérés comme des minéraux à la résistance moyenne mais particulièrement résistants contre l'usure mécanique. La table II présente le pourcentage de la fréquence des minéraux mentionnés (dans le groupe de minéraux transparents), trouvés dans les dépôts successifs de bordure du bassin à Kochanów. On a analysé aussi les relations réciproques entre la quantité de minéraux les plus stables et les moins résistants en les traitant comme indices de l'altération; ces indices, exprimés par un nombre, présentent le degré de l'efficacité de l'altération du matériel dans les couches respectives des dépôts. La même table présente des résultats de l'analyse granulométrique, effectuée à l'aide de la méthode pipette-tamis.

La comparaison de l'ensemble de minéraux des dépôts remplissants la dépression et ceux du substratum fluvioglaciaire, permet de constater des changements dus à l'altération.

Les parties inférieures des dépôts remplissant le bassin se distinguent d'un degré faible de l'altération, ce qui s'exprime dans les valeurs de l'indice $C+T+R/A+P+E = 2,4$ et $2,3$ et dans l'indice $T/A = 0,26$ et $0,18$. Ces indices s'élèvent depuis la série de versant à grain gros au début à $0,75$ et $1,01$, et puis dans les dépôts en nappe à $1,19$ et $1,74$. Cela correspond à la diminution, vers le sommet, de minéraux peu résistants, surtout des amphiboles, et de l'accroissement de la fréquence des minéraux très résistants, comme des tourmalines. La réaction des minéraux dont la fréquence est moindre se manifeste faiblement, tandis que la réaction de ceux qui dominant devient fort visible. Les zircons et les rutiles, peu nombreux, n'ont manifesté que de faibles traces de l'altération, mieux marquées sur les tourmalines qui sont presque deux fois plus nombreux. L'altération est aussi assez bien marquée sur les peu nombreux staurotides et andalousites: leur proportions moyennes augmentent de $3,6$ à $7,4$.

L'altération correspond aux dépôts qui manifestent des traces d'éolisation. Ce sont les dépôts de versant à gros grains et les dépôts de couverture. Selon des recherches détaillées (GOŹDZIK, 1980 b; MANIKOWSKA, 1985, 1993; MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO, 1980; URBANIAK-BIERNACKA 1970) les dépôts éoliens en Pologne Centrale sont relativement pauvres en minéraux plus résistants. Ce fait correspond probablement à l'usure ou à la désintégration des grains pendant le transport éolien. Ces dépôts – en même temps – sont exposés au processus d'enrichissement relatif en minéraux résistants, surtout en grenats, très résistants contre l'usure mécanique. Ces phénomènes sont aussi bien visibles à Kochanów, où le changement de la proportion de minéraux résistants et peu résistants est accompagné de l'enrichissement en grenats, parfois 50–60%, de tous les minéraux transparents.

Sols. Près de la bordure du bassin, dans le versant d'une vallée latérale (fig. 3, 5) on a trouvé des traces des processus pédogénétiques, subaéraux. Ils se manifestent par une couche de sable gris contenant l'humus (0,57%), dont l'épaisseur oscille entre 10–40 cm et qui porte des traces du déplacement le long du versant. Au-dessous de cet horizon A il y a l'horizon B, faiblement marqué, enrichi en fer, d'épaisseur jusqu'à 30 cm. Ce sol au profil A₁–B–C peut être défini comme un sol brun arctique (TEDROW, 1977). On rencontre ce type de sol dans la même position stratigraphique, dans d'autres localités aux environs de Łódź. C'est une position qui correspond à la période d'accumulation des dépôts sablo-argileux – dépôts de versant à grain fin. Le sol se développe dans le matériel sous-jacent qu'il partiellement recouvre.

Les dépôts remplissant le bassin contiennent un mélange de la matière organique d'origine végétale. On l'a trouvée dans la gyttia calcaire et dans une partie du dépôt littoral. Au sommet de la craie lacustre on trouve une couche de tourbe du type dy, atteignant quelques centimètres. Dans la partie inférieure du dépôt de versant, à grains fins, on observe de petites bandes du matériel mêlé d'humus du caractère de sols hydromorphes, initiaux. Le processus pédogénétique actuel se développe près de la surface, d'habitude sur les dépôts poussiéreux.

EVOLUTION DE LA DEPRESSION

L'évolution de la dépression analysée, formée au début comme une courte vallée extraglaciaire avec un bloc de glace morte, enseveli au fond, progressait ensuite pendant l'interglaciaire Eemien et à l'époque du Vistulien. Dans les dépressions de ce type on trouve – à l'aide des analyses palinologiques – des traces du climat froid du déclin de la glaciation du Riss, recouvertes de dépôts de l'Eemien (JASTRZEBSKA-MAMEŁKA, 1985). Pendant

cet interglaciaire il y avait dans la dépression à Kochanów un lac eutrophique où s'accumulaient la gyttia calcaire et la craie lacustre. Leur âge d'interglaciaire est documenté à l'aide des analyses de la malacofaune (S. A. ALEXANDROWICZ, 1997). Le lac, au début profond de plusieurs mètres, se remplissait successivement et disparaissait envahi par la végétation littorale.

La déposition du matériel sablo-graveleux sur la craie lacustre témoigne d'un certain élargissement du lac, de l'apport du matériel abradé et – probablement – de l'animation des processus de versant. Ce qui est particulièrement caractéristique, c'est le changement subit du type des dépôts – l'accumulation du matériel clastique, parfois grossier, sur le dépôt d'origine chimique. Il paraît que c'était l'effet de l'affroidissement du climat au début du Vistulien.

À Kochanów, les dépôts accumulés dans les conditions du climat définitivement froid, sont définis comme dépôts de versant à grain fin. Dans la région de Łódź ils correspondent aux dépôts du Plénivistulien, dits sablo-argileux (GOŹDZIK, 1995; KŁATKOWA, 1965, 1994; MANIKOWSKA, 1992; TURKOWSKA, 1988, 1994; WIECZORKOWSKA, 1975). DYLIK (1955) les a défini comme les dépôts de versant à la stratification rythmique. Ce sont les dépôts remplissant des vallées périglaciaires de radiocarbon âge 34(43)–21 ka BP. La plupart des dates du fond de ces dépôts correspond aux 32–34 ka BP mais on a obtenu aussi la date de 43 700 BP (BARANIECKA, 1980). Le déclin de l'accumulation de ces types de dépôts correspond à la phase précédant directement l'apogée du froid du Vistulien et l'élargissement maximum de la glaciation baltique en Pologne dont l'âge est défini comme 20 ka BP (KOZARSKI, 1988). Aux terrains périglaciaires, pendant ce maximum s'évaluait l'activité des eaux courantes, périodiquement très intense. Dans ces circonstances s'étendaient largement des dépôts fluviaux à gros grain, de l'âge 20–14 ka BP. Au-dessus, on trouve des dépôts éoliens qui sont reconnus dans ce terrain comme des couvertures du sable du Vistulien tardif (CHMIELEWSKA, CHMIELEWSKI, 1969; DYLIKOWA 1964, 1969; GOŹDZIK, 1991; KRAJEWSKI, 1977; KRAJEWSKI, BALWIERZ, 1985; MANIKOWSKA, 1966, 1982, 1985, 1995). L'accumulation éolienne, durait depuis 14,5–14,0 ka BP jusqu'au début de l'Holocène. L'affaiblissement de processus éoliens et le développement, par endroits, du sol primitif, sont datés pour 12,5–12,0 ka BP. L'âge de la pause, bien marquée, de l'activité du vent et du développement des sols stabilisant des dunes est daté pour 11 800–10 800 ans BP (MANIKOWSKA, 1985, 1995a).

Les dépôts éoliens à Kochanów correspondent probablement à la première phase de l'accumulation éolienne, quand se formaient d'abord des nappes de sable, atteignant dans les dépressions jusqu'à 4 m d'épaisseur, et puis des couches minces du sable poussiéreux ne dépassant d'habitude 0,5 m d'épaisseur. Ces poussières s'accumulaient probablement pendant l'affai-

blissement de l'activité éolienne, datée pour 12,5–12,0 ka BP, donc pour le Bölling, c'est-à dire avant la formation des dunes au Dryas ancien. Dans les dépôts éoliens, les plus anciens, on observe par endroits de fentes dues au périgelisol, dont un des exemples, trouvé à Kochanów est présenté sur la figure 5.

Le dépôt de versant, sablo-argileux typique, est observé à Kochanów, dans la vallée latérale où ce dépôt remplit une incision d'érosion et recouvre l'horizon du sol fossil. Le premier affroidissement, vistulien marqué à Kochanów dans le dépôt littoral, fut suivi de la phase d'érosion – la vallée latérale s'est encaissée et par endroits on y observe de traces de la destruction des couches du sommet de la craie. On trouve partout dans la région de la Pologne Centrale l'érosion intense correspondant au Vistulien moyen, avant 35 ka BP, précédant l'accumulation des dépôts de versant sablo-argileux (GOŹDZIK, 1995; MANIKOWSKA, 1992, 1996; TURKOWSKA, 1994, 1997).

Ces dépôts sablo-argileux contiennent de couches organiques, surtout dans la partie inférieure mais aussi au sommet, en couvrant des sols fossiles par ces parties latérales. La même position du sol fossile est observée à Kochanów où il se développait pendant l'accumulation des dépôts de versant à grain fin, jusqu'au moment quand leur segment supérieur les a recouverts. C'est donc le sol du Plénivistulien moyen, qui possède partout le caractère du sol brun peu développé. Ce type de sol, attribué aux conditions périglaciaires est défini comme le sol brun arctique.

La matière organique, intercalée dans les dépôts de versant sablo-argileux, contient d'habitude des restes de la végétation de toundra typique ou celle du parc (BALWIERZ, 1995) – les dépôts correspondent à la période froide du Vistulien moyen, précédée d'une phase du climat plus rigoureux, et suivie du maximum du froid. Vu ces faits, l'interprétation de cette période comme interpléniglaciaire paraît justifiée. En prenant en considération le fait de deux phases du changement du climat périglaciaire, plus doux en très froid – on peut accepter la thèse de deux cycles du Vistulien en Pologne Centrale (MANIKOWSKA, 1996). Chacun de ces cycles se terminait par une phase d'érosion intense (au Plénivistulien et au Vistulien tardif).

Les données de Kochanów confirment cette thèse. On y observe deux phases d'accumulation périglaciaire dans les conditions du climat rigoureux, ainsi que l'adoucissement d'interpléniglaciaire, accompagné de l'évolution du sol, suivi de l'érosion qui se manifeste par la destruction du sommet de la craie lacustre et par les formes érodées, remplies ensuite de dépôts de versant à grain fin.

Au nord de la Pologne, dans la vallée de la Vistule, on trouve incontestablement deux avancées du glacier vistulien, datées à la méthode TL pour 55 ka et pour 20 ka (MOJSKI, 1995). Cela correspond probablement

aux deux maximums du froid, observés dans la séquence des dépôts périglaciaires en Pologne Centrale.



Photo 3. Petit lac-relique au fond de la dépression à Kochanów

Fot. 3. Reliktowe jezioro na dnie zagłębienia w Kochanowie

La disparition du lac de la surface de quarante hectares environ, progressait à Kochanów au cours du Plénivistulien supérieur, au temps de second maximum du froid, 22–15 ka BP. Tout le fond de la dépression fut recouvert d'abord du dépôt à gros grains, correspondant aux processus de versant, et puis par des dépôts éoliens. A présent, au centre de la dépression il n'y a qu'un petit lac dont le diamètre ne dépasse pas plusieurs mètres (photo 3).

Bibliographie

- ALEXANDROWICZ, S. W., 1997 – Malacofauna of the Eemian Interglacial in Kochanów (Middle Poland). *Biul. Peryglacjalny*, 36; p. 11–28.
- BALWIERZ, Z., 1995 – Vegetation of Upper Vistulian cold phases in Central Poland. *Biul. Peryglacjalny*, 34; p. 21–36.
- BARANIECKA, M.D., 1980 – Osady stadiału Warty i młodsze osady plejstoceny w odśłonięciu kopalni węgla brunatnego Bełchatów (summary: Warta Stadial and younger Pleistocene deposits exposed at Bełchatów brown coal opencast mine). *Kwartalnik Geol.*, 24; p. 841–856.
- CAILLEUX, A., TRICART, J., 1959 – Initiation à l'étude des sables et des galets. CDU, Paris; 376 pp.
- CHMIELEWSKA, M., CHMIELEWSKI, W., 1960 – Stratigraphie et chronologie de la dune de Witów, distr. Łęczysca. *Biul. Peryglacjalny*, 8; p. 133–141.
- DYLIK, J., 1955 – Peryglacjalne osady stokowe rytmicznie warstwowane (Rhythmically stratified periglacial slope deposits). *Biul. Peryglacjalny*, 2; p. 15–32.
- DYLIKOWA, A., 1964 – Les dunes de la Pologne Centrale et leur importance pour la stratigraphie du Pléistocène tardif. Raport of the VIth INQUA Congress, Warsaw 1961, Vol IV, Łódź; p. 67–80.

- DYLIKOWA, A., 1969 – Le problème des dunes intérieures en Pologne à la lumière des études de structure. *Biul. Peryglacjalny*, 20; p. 45–80.
- GOŹDZIK, J., 1980a – Zastosowanie morfoskopii i graniformamatrii do badań osadów w kopalni węgla brunatnego Bełchatów. *Studia Regionalne*, 4(9); p. 101–114.
- GOŹDZIK, J., 1980b – Würmskie osady peryglacjalne w Łodzi-Teofilowie (Periglacial sediments of the Würm period in Łódź-Teofilów). *Zesz. Nauk. Univ. Łódzkiego. Nauki Mat.–Przyr.* 2, 22; p. 3–19.
- GOŹDZIK, J., 1981 – Les changements de processus éoliens dans la Pologne Centrale au cours du Vistulian (Würm). *Recherches Géogr. Strasbourg*, 16–17; p. 115–119.
- GOŹDZIK, J., 1991 – Sedimentological records of aeolian processus from the Upper Vistulian in Central Poland. *Ztschr. f. Geomorph.*, N.F. Suppl.-Bd., 90; p. 51–60.
- GOŹDZIK, J., 1995 – Vistulian sediments in the Bełchatów open cast mine, Central Poland. *Quaternary Stud. in Poland*, 13; p. 13–26.
- JASTRZĘBSKA-MAMEŁKA, M., 1985 – Interglacja eemski i wczesny vistulian w Zgierzu–Rudunkach na Wyżynie Łódzkiej (summary: The Eemian Interglacial and Early Vistulian at Zgierz–Rudunki in the Łódź Plateau). *Acta Geogr. Lodziensia*, 53; p. 1–75.
- KLAJNERT, Z., 1978 – Zanik lodowca warciańskiego na Wysoczyźnie Skierniewickiej i jej północnym przedpolu (summary: Waning of the Warta ice-sheet on the Skierniewice Interfluvium and its northern foreland). *Acta Geogr. Lodziensia*, 38; p. 1–149.
- KLATKOWA, H., 1965 – Niecki i doliny denudacyjne w okolicach Łodzi (résumé: Vallons en berceau et vallons séchés aux environs de Łódź). *Acta Geogr. Lodziensia*, 19; p. 1–142.
- KLATKOWA, H., 1972 – Paleogeografia Wyżyny Łódzkiej i obszarów sąsiednich podczas zlodowacenia warciańskiego (résumé: Paléogéographie du Plateau de Łódź et terrain avoisinant pendant la glaciation de Warta). *Acta Geogr. Lodziensia*, 28; p. 1–220.
- KLATKOWA, H., 1994 – Evaluation du rôle de l'agent périglaciaire en Pologne Centrale. *Biul. Peryglacjalny*, 33; p. 79–100.
- KOZARSKI, S., 1988 – Time and dynamics of the Last Scandinavian Ice Sheet Retreat from northwestern Poland. *Quaternary Stud. in Poland*, 2; p. 21–35.
- KRAJEWSKI, K., 1977 – Późnoplejstoceny i holoceny procesy wydymotwórcze w Pradolinie Warszawsko-Berlińskiej w widłach Warty i Neru (summary: Late Pleistocene and Holocene dune forming processes in the Warsaw-Berlin Pradolina). *Acta Geogr. Lodziensia*, 39; p. 1–87.
- KRAJEWSKI, K., BALWIERZ, Z., 1977 – Stanowisko Böllingu w osadach wydymowych schyłku Vistulianu w Rośli Nowym k/Dąbia (summary: The site of Bölling in the dune sediments of the Vistulian decline near Dąbie). *Acta Geogr. Lodziensia*, 50; p. 93–109.
- ŁYDKA, K., 1985 – Petrologia skał osadowych. Wyd. Geol., Warszawa; pp. 286.
- MANIKOWSKA, B., 1966 – Gleby młodszego plejstocenu w okolicach Łodzi (résumé: Les sols du Pléistocène supérieur aux environs de Łódź). *Acta Geogr. Lodziensia*, 22; p. 1–166.
- MANIKOWSKA, B., 1985 – O glebach kopalnych, stratygrafii i litologii wydym Polski środkowej (summary: On the fossil soils, stratigraphy and lithology of dunes in Central Poland). *Acta Geogr. Lodziensia*, 52; p. 1–137.
- MANIKOWSKA, B., 1991 – Vistulian and holocene aeolian activity, pedostratigraphy and relief evolution in Central Poland. *Ztschr. f. Geomorph.*, N.F. Suppl.-Bd. 90; p. 131–141.
- MANIKOWSKA, B., 1992 – Ewolucja suchych dolin na terenie kopalni „Bełchatów” w pleni-vistulianie. *Acta Univ. Lodziensis, Folia Geogr.*, 15; p. 115–130.
- MANIKOWSKA, B., 1993 – Mineralogy and abrasion of sand grains due to Vistulian (Late Pleistocene) aeolian processes in Central Poland. *Geologie en Mijnbouw*, 72; p. 167–177.

- MANIKOWSKA, B., 1995a – Aeolian activity differentiation in the area of Poland during the period 20–8 ka BP. *Biul. Peryglacjalny*, 34; p. 125–165.
- MANIKOWSKA, B., 1995b – The apogee of Vistulian cold in the periglacial area of Central Poland – geological records. *Quaternary Stud. in Poland*, 13; p. 55–63.
- MANIKOWSKA, B., 1996 – Dwucykliczność ewolucji środowiska peryglacjalnego w Polsce środkowej podczas vistulianu (summary: Bicyclic evolution of periglacial environment in Central Poland during the Vistulian period). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 373; p. 97–106.
- MOJSKI, J.E., 1995 – Pleistocene glacial events in Poland. In: Glacial deposits in North–East Europe. A. A. Balkema, Rotterdam, Brookfield; p. 287–292.
- MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO, E., 1980 – Wstęp do sedymentologii (dla geografów). WSP w Kielcach, Kielce.
- OLLIER, C. D., 1984 – Weathering. Longman, London; pp. 304.
- TEDROW, J. C. F., 1977 – Soils of the Polar Landscapes. Rutgers University Press, New Brunswick, New Jersey; pp. 638.
- TURKOWSKA, K., 1988 – Rozwój dolin rzecznych na Wyżynie Łódzkiej w późnym czwartorzędzie (résumé: évolution des valées fluviatiles sur le Plateau de Łódź au cours du Quaternaire tardif). *Acta Geogr. Lodziensia*, 57; p. 1–157.
- TURKOWSKA, K., 1994 – La morphogénèse périglaciaire dans les vallées fluviales du Plateau de Łódź et sa différentiation dans les temps et dans l'espace. *Biul. Peryglacjalny*, 33; p. 153–164.
- TURKOWSKA, K., (red), 1997 – Materiały konferencji „Środkowoplenivistuliańskie osady w małych dolinach rzecznych”. Łódź.
- URBANIAK-BIERNACKA, U., 1976 – Badania wydmy Środkowej Polski z wykorzystaniem metod statystycznych (summary: Investigations of dunes in Central Poland with use of statistical methods). Politechnika Warszawska, Prace Naukowe, *Geodezja*, 17; p. 1–204.
- WIECZORKOWSKA, J., 1975 – Rozwój stoków Pagórków Romanowskich na tle paleogeografii obszaru (résumé: L'évolution des versants des collines de Romanów á la lumière de paléogéographie de la région). *Acta Geogr. Lodziensia*, 35; p. 1–118.