



PAŃSTWOWY INSTYTUT GEOLOGICZNY
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

MARCIN ŻARSKI

Główny koordynator Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski — W. MORAWSKI

OBJAŚNIENIA
DO SZCZEGÓŁOWEJ MAPY GEOLOGICZNEJ
POLSKI

1 : 50 000

Arkusz Zwoleń (709)
(z 2 tab. i 3 tabl.)



MINISTERSTWO
ŚRODOWISKA



Wykonano na zamówienie Ministra Środowiska
za środki finansowe wypłacone przez
Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

WARSZAWA 2014

Autor: Marcin ŻARSKI

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy,
ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa

Redakcja merytoryczna: Agnieszka MIROWSKA

Akceptował do udostępniania
Dyrektor ds. państwowej służby geologicznej
mgr inż. Andrzej PRZYBYCIN

ISBN 978-83-7863-342-6

© Copyright by Ministerstwo Środowiska, Warszawa 2014

Przygotowanie wersji cyfrowej: Stanisław OLCZAK, Sebastian GURAJ

SPIS TREŚCI

I. Wstęp	5
II. Ukształtowanie powierzchni terenu	9
III. Budowa geologiczna	13
A. Stratygrafia.	13
1. Kreda	14
a. Kreda górna	14
Mastricht	14
Mastricht górny	14
2. Paleogen	15
a. Paleocen	15
Paleocen dolny	15
b. Eocen	17
Eocen dolny	17
Eocen środkowy	18
c. Oligocen.	18
Oligocen dolny.	18
3. Neogen	19
a. Miocen	19
4. Czwartorzęd	19
a. Plejstocen	20
Plejstocen dolny	20
Zlodowacenia południowopolskie.	21
Zlodowacenie Nidy	21
Interglacjał małopolski.	21
Zlodowacenie Sanu 1	22
Interglacjał ferdynandowski	24
Zlodowacenie Sanu 2	24
Interglacjał wielki	28
Interglacjał mazowiecki	28
Zlodowacenie Liwca	28

Interglacjał Zbójna	30
Zlodowacenia środkowopolskie	30
Zlodowacenie Odry	30
Zlodowacenie Warty	37
Interglacjał eemski	38
Zlodowacenie Wisły	40
b. Czwartorzęd nierozdzielony	42
c. Holocen	45
B. Tektonika i rzeźba podłoża czwartorzędu	46
C. Rozwój budowy geologicznej	49
IV. Podsumowanie	55
L i t e r a t u r a	56

SPIS TABLIC

Tablica I — Zestawienie profili otworów badawczych dla SMGP (kartograficznych)

Tablica II — Szkic geomorfologiczny w skali 1:100 000

Tablica III — Szkic geologiczny odkryty w skali 1:100 000

I. WSTĘP

Obszar arkusza Zwoleń Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000 (SMGP) wyznaczają współrzędne: 21°30'–21°45' długości geograficznej wschodniej i 51°20'–51°30' szerokości geograficznej północnej. Powierzchnia arkusza wynosi 320 km². Według podziału fizycznogeograficznego Polski (Kondracki, 2009) analizowany obszar jest położony w obrębie mezoregionu Równina Kozienicka, wchodzącego w skład makroregionu Nizina Środkowomazowiecka, i mezoregionu Równina Radomska, obejmującego południową część badanego terenu, należącego do makroregionu Wzniesienia Południowomazowieckie.

Administracyjnie badany teren należy do województwa mazowieckiego i obejmuje powiaty: zwoleński (gminy: Zwoleń, Przyłęk, Policzna i Tczów), kozienicki (gminy: Garbatka-Letnisko i Gniewoszków) i radomski (gmina Pionki). Pokryta kompleksami leśnymi zachodnia i północna część obszaru arkusza jest położona w Kozienickim Parku Krajobrazowym. Znajdują się tu dwa rezerваты przyrody: Okólny Ług położony w zachodniej części obszaru arkusza oraz „Krepiec” – w północnej części terenu badań. Część doliny Zwoleńki na południe od Zwolenia stanowi Obszar Chronionego Krajobrazu „Dolina rzeki Zwoleńki”. Obszar arkusza wchodzi w skład europejskiej sieci ekologicznej NATURA 2000. Na północny zachód od linii Wólka Bachańska–Policzna–Annów–Jedlanka–Linów, znajduje się obszar specjalnej ochrony ptaków „Ostoja Kozienicka”. Na omawianym terenie znajdują się również specjalne obszary ochrony siedlisk: „Puszcza Kozienicka” i „Dolina Zwoleńki”.

Obszar arkusza Zwoleń jest rejonem typowo rolniczym, z dużymi kompleksami leśnymi Puszczy Kozienickiej, znajdującymi się w zachodniej części terenu badań. Miejscowość Garbatka-Letnisko, położona na południe od rezerwatu Krepiec, pełni ważną lokalną funkcję turystyczną. W miejscowości Czarnolas, miejscu urodzin Jana Kochanowskiego, znajduje się muzeum poświęcone temu wybitnemu poecie.

Teren arkusza przecina linia kolejowa Radom–Łuków. Przez obszar badań przebiegają drogi krajowe: Warszawa–Kozienice–Zwoleń–Sandomierz–Kraków–Bytom (nr 79) i Łęknica (zachodnia granica państwa)–Kalisz–Radom–Zwoleń–Lublin–Dorohusk (wschodnia granica państwa) (nr 12) oraz drogi wojewódzkie: Pionki–Garbatka-Letnisko–Bąkowiec–Opactwo (nr 691) i Pionki–Zwoleń (nr 787).

Prace geologiczno-zdjęciowe, geofizyczne i dokumentacyjne zostały przeprowadzone w latach 2006–2009, na podstawie projektu prac geologicznych zatwierdzonego przez Ministra Środowiska decyzją nr Gkkok/4790-4-954/06/ED z dnia 31.01.2006 r.

Badany teren został udokumentowany 2294 punktami dokumentacyjnymi: sondami ręcznymi o głębokości od 2,0 do 4,5 m; 126-cioma sondami mechanicznymi o głębokości od 4,0 do 22,0 m oraz licznymi odsłonięciami. Wykaz wybranych punktów dokumentacyjnych przedstawiono w [tabeli 1](#). W celu bardziej szczegółowego rozpoznania terenu badań wykorzystano bogatą dokumentację geologiczną, z wynikami licznych datowań bezwzględnych, z monografii archeologicznej dotyczącej stanowiska w Zwoleniu (Schild, 2006) oraz skorzystano z opisów sond i otworów wiertniczych z opracowań złóż surowców mineralnych i opracowań geologiczno-inżynierskich.

W ramach badań geofizycznych, wzdłuż linii przekroju geologicznego A–B, między miejscowościami Bartodzieje a Garbatka-Podlas, wykonano 110 sondowań geoelektrycznych elektrooporowych (SGE typu Schlumberger'a; Mżyk, 2008). Wyniki tych badań wykorzystano do wyznaczenia lokalizacji wierceń kartograficznych oraz przy interpretacji budowy geologicznej wzdłuż linii przekroju geologicznego A–B. W 2008 r. wykonano siedem otworów badawczych dla SMGP (kartograficznych): Garbatka-Podlas (otw. 4, głęb. 47,0 m), Podtetłów (otw. 26, głęb. 59,0 m), Wiczowola (otw. 49, głęb. 49,0 m), Helenówka (otw. 55, głęb. 36,0 m), Motarzyny (otw. 58, głęb. 31,0 m), Niwki (otw. 69, głęb. 42,0 m) i Bartodzieje (otw. 104, głęb. 46,0 m) ([tabl. I](#)). W celu wykonania arkusza wykorzystano profile 98 otworów archiwalnych, z których 71 to otwory hydrogeologiczne (studzienne), 26 – badawczych oraz jeden surowcowy. Wiele z nich ma uproszczony opis litologiczny profilu, co powoduje wątpliwości przy klasyfikowaniu i rozdzielaniu litogenetycznym i stratygraficznym osadów. Spośród wszystkich wyżej wymienionych otworów, w 82 przewiercono osady czwartorzędowe.

Dla obszaru przedmiotowego arkusza przeprowadzono analizę półszczegółowego zdjęcia grawimetrycznego (Twarogowski, 2008). Wykonana mapa grawimetryczna posłużyła do analizy podłoża czwartorzędu i wyznaczenia przebiegów uskoku tektonicznych.

Prace laboratoryjne prowadzono na materiale uzyskanym z rdzeni wiertniczych otworów kartograficznych i odsłoneń. Badania litologiczno-petrograficzne i mineralogiczne wykonali Marcinkowski i Wyszomierski (2009), litologiczno-petrograficzne opracowanie uzupełniające – Kenig (2009), palinologiczne osadów czwartorzędowych – Krupiński (2007a–d; 2008a, b; 2009a, b), osadów podłoża czwartorzędu – Słodkowska (2009), mikropaleontologiczne osadów z otworów kartograficznych – Paruch-Kulczycka (2009). Oznaczenia wieku bezwzględnego osadów czwartorzędowych metodą radiowęglową (^{14}C , pięć próbek) wykonał Pazdur (2007, 2008), a metodą optycznie stymulowanej luminescencji (OSL, dziewięć oznaczeń) – Bluszcz (2009).

Wykaz punktów dokumentacyjnych (sond mechanicznych) zamieszczonych na mapie geologicznej

Numer punktu		Lokalizacja (miejscowość)	Rzędna (m n.p.m.)	Głębokość (m)	Uwagi
na mapie geologicznej	w notatniku terenowym				
1	14	Garbatka Podlas	149,5	10,0	Dokumentacja przekroju A–B
2	15	Garbatka Podlas	153,5	10,0	Dokumentacja przekroju A–B
3	25	Garbatka Podlas	157,0	10,0	Dokumentacja przekroju A–B
4	106	Ponikwa	153,0	16,0	Dokumentacja osadów interglacjału eemskiego
5	26	Podtettłów	166,5	10,0	Dokumentacja przekroju A–B
6	27	Podtettłów	165,0	10,0	Dokumentacja przekroju A–B
7	996	Gródek Stary	153,0	7,0	Datowania OSL
8	103	Policzna	163,0	10,0	Dokumentacja przekroju A–B (rzut)
9	1059	Bierdzież	159,0	5,0	Datowania OSL
10	28	Policzna	157,5	10,0	Dokumentacja przekroju A–B
11	29	Policzna	164,5	10,0	Dokumentacja przekroju A–B
12	104	Policzna	162,5	10,0	Dokumentacja przekroju A–B
13	30	Podźebrok	168,0	10,0	Dokumentacja przekroju A–B
14	33	Podźebrok	175,0	10,0	Dokumentacja przekroju A–B
15	35	Wilczowola	177,0	10,0	Dokumentacja przekroju A–B
16	36	Wilczowola	177,5	10,0	Dokumentacja przekroju A–B
17	39	Wilczowola	174,0	10,0	Dokumentacja przekroju A–B
18	40	Helenówka	171,0	10,0	Dokumentacja przekroju A–B
19	41	Helenówka	171,0	8,0	Dokumentacja przekroju A–B (rzut)
20	42	Helenówka	172,5	10,0	Dokumentacja przekroju A–B
21	8	Florianów	171,5	10,0	Dokumentacja osadów interglacjału eemskiego
22	49	Motarzyny	168,0	10,0	Dokumentacja przekroju A–B
23	379	Górki	171,5	2,5	Datowania OSL
24	4	Łuczynów	169,5	6,0	Dokumentacja osadów interglacjału eemskiego
25	50	Jedlanka	162,0	10,0	Dokumentacja przekroju A–B
26	44	Strykowice Górne	154,0	10,0	Datowania ¹⁴ C
27	5	Paciorkowa Wola	160,0	10,0	Datowania ¹⁴ C
28	51	Niwki	172,0	10,0	Dokumentacja przekroju A–B
29	1282	Linów	160,0	2,5	Datowania OSL
30	24	Niwki	172,0	10,0	Dokumentacja przekroju A–B
31	23	Niwki	171,0	10,0	Dokumentacja przekroju A–B
32	45	Zwoleń	169,0	10,0	Datowania ¹⁴ C
33	18	Podzagajnik	169,0	10,0	Dokumentacja przekroju A–B
34	17	Ostrowy	168,0	3,0	Dokumentacja przekroju A–B
35	9	Nowy Zamość	162,0	10,0	Dokumentacja osadów interglacjału eemskiego
36	687	Zwoleń	160,0	4,0	Dokumentacja geologiczna stanowiska archeologicznego
37	364	Wólka Zamojska	164,0	2,5	Datowania OSL
38	19	Józefów	170,0	10,0	Dokumentacja przekroju A–B
39	20	Bartodzieje	170,0	10,0	Dokumentacja przekroju A–B
40	38	Mirków	160,5	14,0	Dokumentacja osadów interglacjału eemskiego
41	735	Stara Zielonka	145,0	5,0	Datowania OSL
42	22	Bartodzieje	172,0	10,0	Dokumentacja przekroju A–B

Pierwsze bardzo ogólne badania geologiczne regionów obejmujących m.in. obszar arkusza Zwoleń sięgają końca XIX w. W tym czasie powstała praca Siemiradzkiego i Dunikowskiego (1891), która dotyczyła większego obszaru i była jedynie pośrednio związana z terenem badań. Istotne znaczenie dla stratygrafii plejstocenu miały prace Krisztafowicza (1896), który na podstawie analiz odkrywek z okolic Puław i Kazimierza doszedł do wniosku, że badany teren został dwukrotnie zlodowacony. Na początku XX w. prace geologiczne dotyczące południowego Mazowsza były kontynuowane przez Lewińskiego i Samsonowicza (1918), Samsonowicza (1922, 1925, 1927), Lencewicza (1921, 1927), Ludomira Sawickiego (1922, 1925), Zaborskiego (1925, 1927), Ludwika Sawickiego (1933, 1954) oraz Galona (1937). Prace dotyczące m.in. północnego odcinka przełomu Wisły przedstawili Krygowski (1937) oraz Sitrak (1937), który wysunął hipotezę o jednorazowym zlodowaceniu tego obszaru. Na terenach przyległych do obszaru arkusza, w rejonie przełomu Wisły, intensywne badania z zakresu geologii czwartorzędu i jego podłoża prowadził Pożaryski (1938, 1948, 1953, 1955, 1997). W latach 80. i 90. prace te były kontynuowane przez niego przy współudziale innych badaczy (Pożaryski, Mojski, 1987; Pożaryski i in., 1993, 1994a, b; Pożaryski, Kalicki, 1995). Autorzy Ci przyjęli pogląd o trzykrotnym zlodowaceniu obszaru przyległego do doliny Wisły. Zagadnieniami stratygrafii podłoża czwartorzędu zajmowała się także Pożaryska (1952, 1967).

Ogólne tło geologiczne dla terenu badań przedstawiają syntetyczne opracowania stratygrafii osadów czwartorzędowych Niziny Mazowieckiej Różyckiego (1972a) oraz Baranieckiej i innych (1978). Badaniem osadów czwartorzędowych rejonu doliny Wisły na południe od Warszawy, po północne krańce obszaru arkusza, zajmowały się Sarnacka (1978, 1982, 1987, 1988, 1990) oraz Baraniecka i Konecka–Betley (1987).

Syntetyczne opracowanie geologii czwartorzędu obszaru bezpośrednio przylegającego do terenu badań przedstawił Źarski (2002). Kosmowska-Ceranowicz (1966) opisała osady plejstocenu dolnego (preglacjału) w okolicach Kozienic, natomiast badaniem osadów tego wieku w bezpośrednim sąsiedztwie opisywanego terenu zajmowały się m.in. Sarnacka i Krysowska-Iwaszkiewicz (1974) oraz Makowska (1976), która przedstawiła mapę rozmieszczenia tych utworów. Badania osadów plejstocenu dolnego z okolic Puszczy Kozienickiej prowadził Bujak (2007a, b). Najważniejszymi pracami opisywanymi stratygrafię osadów tego wieku z terenu Mazowsza, wraz z odniesieniami do innych obszarów Polski, są opracowania Baranieckiej (1975, 1991). Na południowy zachód od terenu badań, w rejonie świętokrzyskim, zagadnieniami geologii czwartorzędu zajmowali się m.in.: Lamparski (1970, 1971) oraz Lindner (1970a, b, 1971, 1977, 1980). Monograficznym opracowaniem z zakresu petrografii glin zwałowych jest praca Lisickiego (2003), obejmująca całe dorzecze Wisły. Na terenie arkusza Kozienice (Źarski, 1996a, b), w miejscowości Stanisławice (8 km na północny wschód od granicy z obszarem arkusza Zwoleń) zostało opisane stanowisko interglacjału ferdynandowskiego (Źarski, Jan-

czyk-Kopikowa, 1995). W 2002 r. Żarski opisał stanowiska tego wieku, także na terenie arkusza Puławy, w Markowoli-Kolonii (7 km na wschód od granicy terenu badań) i Tomaszowie (9 km na wschód od granicy terenu badań). Badaniem osadów eolicznych na obszarze Puszczy Kozienskiej zajmował się Jaśkowski (1998a, b, 1999, 2000).

Jednym z pierwszych opracowań kartograficznych obejmujących badany teren była Mapa Geologiczna Polski 1:300 000, arkusz Radom, wykonana przez Rühlego (1955), który w 1949 r. opracował wszystkie profile archiwalnych wierceń z obszaru tego arkusza. Źródłem informacji o budowie geologicznej omawianego terenu była Mapa Geologiczna Polski 1:200 000, arkusz Radom (mapa utworów powierzchniowych i mapa podłoża czwartorzędu), opracowana przez Makowską (1969, 1972). Obejmuje ona mapę utworów powierzchniowych, a także mapę podłoża czwartorzędu.

Podstawą omawianego opracowania były także arkusze SMGP: Kozienice — Żarski (1996a, b), Dęblin — Żarski (1991, 1993), Puławy — Żarski (1998a, b), Kazimierz Dolny — Dowgiałło (1982), Ciepeliów — Złonkiewicz (2001, 2002), Skaryszew — Janiec (1995, 2000), Wierzbica — Barcicki (1988, 1990) oraz arkusze jeszcze niewydane: Radom — Jaśkowski, Jurkiewicz, Kowalski (1992), Pionki — Kucharska (2009) i Głowaczów — Małek, Buczek (2009).

Na obszarze arkusza Zwoleń zostały także wykonane mapy z zakresu hydrogeologii, surowców, magnetyki i grawimetrii. Na omawianym terenie występują udokumentowane złoża torfów w zagłębieniach bezodpływowych i dolinach rzek Zwoleńki, Plewki i Mireńki oraz nieliczne złoża kruszywa i piasków, m.in. w Brzustowie i Gródku Starym.

II. UKSZTAŁTOWANIE POWIERZCHNI TERENU

Obszar arkusza Zwoleń znajduje się w obrębie południowej części Niziny Mazowieckiej (Różycycki, 1972b). Powierzchnię omawianego terenu obejmuje wysoczyzna polodowcowa z rozległymi polami piasków przewianych w zachodniej części terenu badań oraz bardzo dobrze rozwiniętymi wydmami parabolicznymi (tabl. II). Wysoczyzna rozcięta jest dolinami rzek Zwoleńki, Zwolanki, Zagożdżonki, Plewki, Mireńki, Krypianki (Brzeźniczki), Strugi Polickiej i ich dopływów.

Najwyżej położonym miejscem (191,8 m n.p. m.) na badanym obszarze jest szczyt wydmy koło Anielówki, w północno-zachodniej części obszaru arkusza. Najniżej położone miejsce – 118,3 m n.p.m. znajduje się na tarasie nadzalewowym Wisły, w północno-wschodniej części terenu badań. Maksymalna deniwelacja terenu wynosi 73,5 m.

Formy lodowcowe. W y s o c z y z n a m o r e n o w a p ł a s k a (wysokości względne do 2 m, nachylenie do 2°) obejmuje większą część terenu arkusza. Jej cechą charakterystyczną jest łagodny spadek powierzchni z południa na północ. W południowej i centralnej części omawianego obszaru znajduje się na wysokości 170–180 m n.p.m, zaś w północnej – od 140 do 160 m n.p.m. Północno-wschod-

nia część wysoczyzny opada bardzo łagodnym stokiem w kierunku doliny Wisły. Jej powierzchnia jest wyrównana procesami denudacyjnymi. Urozmaiceniem rzeźby wysoczyzny są doliny rzek i ich dopływów oraz liczne wzniesienia zbudowane z piasków eolicznych.

Formy utworzone w strefie martwego lodu. Moreny martwego lodu są to nieduże wzniesienia, o wysokościach względnych od kilku do 10 m, najczęściej o kolistych kształtach. Największa morena martwego lodu na terenie arkusza Zwoleń znajduje się w północno-zachodniej części badanego obszaru koło Januszna, między doliną cieką uchodzącą do Zagożdżonki a niewielką suchą dolinką. Jej wysokość względna wynosi 10 m, dłuższa oś ma prawie 500 m, a krótsza około 200 m. Na północ od opisywanej formy znajdują się dwa nieco mniejsze, lecz wyróżniające się w morfologii terenu, wzgórza. Na zachód od miejscowości Laski, w dolinie dopływu Zagożdżonki, wyróżniono morenę martwego lodu, która obecnie jest ostańcem erozyjnym. Jej wysokość dochodzi do 5 m. W okolicy Garbatki-Letniska, Garbatki-Nowej i Garbatki-Zbyczyna znajduje się pięć moren martwego lodu. Najbardziej wyróżniającą się formą, osiągającą 10 m wysokości, jest wzgórze koło Garbatki-Zbyczyna usytuowane ponad doliną Strugi Polickiej. Moreny martwego lodu koło Zwolenia, Niwek, Łagowa i Starego Zamościa występują w obrębie wysoczyzny morenowej, a ich wysokości względne nie przekraczają kilku metrów.

Formy wodnolodowcowe. Równiny sandrowe i wodnolodowcowe. Największa równina wodnolodowcowa, o powierzchni około kilkunastu km², rozciąga się w rejonie miejscowości Garbatka-Letnisko, Garbatka-Długa, Zawada Nowa, Kociołek i Bierdzież. Powierzchnia terenu wznosi się tu od 125 do 160 m n.p.m. i bardzo łagodnie opada w kierunku doliny Wisły. Kolejna duża równina wodnolodowcowa, o powierzchni około 8 km², znajduje się na zachód od Zwolenia, gdzie występuje na wysokości od 165 m n.p.m. w Zwoleniu do 178 m n.p.m. koło Huty. W rejonie Wólki Zamojskiej, w południowo-wschodniej części obszaru badań, znajduje się równina wodnolodowcowa o powierzchni 3 km². Pojedyncze pola znajdują się również na obszarach leśnych Kozienickiego Parku Krajobrazowego, w rejonie Patkowa, Anielówki i Krasnej Dąbrowy. Równiny wodnolodowcowe, o powierzchni kilku km², występują też we wschodniej części obszaru arkusza – w okolicy Władysławowa i centralnej – w rejonie Wojciechówki. Ich powierzchnie wznoszą się od 170 do ponad 180 m n.p.m.

Równiny zastoisowe występują w dolinie Strugi Polickiej koło Starego Zamościa i Zwolenia. Powierzchnia największej równiny (w okolicach Zwolenia) nie przekracza 1 km² i znajduje się na wysokości około 170 m n.p.m.

Kemy. Wzgórze kemowe o wysokości kilku metrów występuje w rejonie Łagowa, przy granicy z obszarem arkusza Puławy.

Ozy. Jedyne znajduje się w dolinie Plewki, w południowo-wschodniej części obszaru arkusza. Jest to podłużne wzgórze o długości ponad 300 m, szerokości do 50 m i wysokości względnej kilku metrów.

Zagłębienia powstałe po martwym lodzie występują dość równomiernie na obszarze wysoczyzny morenowej i równin wodnolodowcowych. Najczęściej są to nieduże zagłębienia bezodpływowe, których średnica rzadko przekracza 250 m, zawodnione lub zabagnione, wypełnione torfami, mułkami i piaskami.

Formy eoliczne. Równiny piasków przewianych zajmują zwarty obszar, o powierzchni blisko 50 km², w zachodniej części obszaru arkusza, między Suchą a Helenówką, oraz dość znaczne powierzchnie we wschodniej części terenu badań, w okolicach Wólki Zamojskiej, Jabłonowa i Filipinowa. Ponadto występują na całym obszarze arkusza, głównie na wysoczyźnie morenowej, w postaci około 250 niedużych wzniesień.

Wydmy w zachodniej, zalesionej części badanego terenu są reprezentowane przez 103 typowe wydmy paraboliczne, wały wydmore i wydmy o nieregularnych kształtach. Długość wydm parabolicznych dochodzi do kilku kilometrów, a ich wysokości względne wynoszą od kilku do 20 m. Wysokości bezwzględne najwyższych wydm przekraczają 180 m n.p.m.: Piaseczna Góra koło Suchej — 182,2 m n.p.m., Orla Góra — 180,2 m n.p.m., Barania Góra — 184,0 m n.p.m. oraz najdłuższa i najwyższa wydma koło Anielówki — 191,8 m n.p.m., która powstała w wyniku połączenia kilku wydm parabolicznych.

Zagłębienia deflacyjne towarzyszą równinom piasków przewianych i wydomom. Najczęściej są zabagnione, wypełnione głównie mułkami, piaskami, a także torfami. Większe zagłębienia określane są ługami. Ich długość przeważnie dochodzi do kilkuset metrów. Większość zagłębień deflacyjnych usytuowana jest w zachodniej i południowej części zwanego obszaru występowania równin piasków przewianych.

Formy rzeczne na obszarze arkusza Zwoleń są związane z dolinami rzek Wisły, Zwolanki, Strugi Polickiej, Krypianki (Brzeźniczki), Zagożdżonki, Mireńki, Zwoleńki, Plewki i ich dopływów.

Dnadoliny rzecznych przeważnie osiągają szerokość od 100 do 250 m. W okolicach Paciorek Woli dno doliny dopływu Zwoleńki ma szerokość około 500 m.

Taras akumulacyjne występują wzdłuż dolin rzek Zwoleńki, Plewki, Mireńki i Zagożdżonki jako nieciągłe listwy o szerokości do kilkuset metrów. Wznoszą się one od jednego do kilku metrów nad poziom rzeki, lecz ze względu na niewielkie rozmiary nie zostały przedstawione na szkicu geomorfologicznym. W północno-wschodnim narożu terenu badań występują trzy tarasy nadzalewowe Wisły: najwyższy – taras erozyjno-akumulacyjny (18,0–22,0 m n.p. rzeki) oraz dwa tarasy akumulacyjne: wyższy (9,5–14,0 m n.p. rzeki) i niższy (5,5–8,5 m n.p. rzeki). Powierzchnia niższego tarasu znajduje się na wysokości od 115 do 120 m n.p.m., a tarasu wyższego – od 120 do 125 m n.p.m. Powierzchnia tych tarasów jest rozcięta przez dolinę rzeki Zwolanki.

Krawędzie i stożki, o wysokości do kilku metrów, stwierdzono w północno-wschodniej części terenu arkusza koło Zawady Nowej. Oddzielają one dolinę Wisły od wysoczyzny bardzo łagod-

nym i słabo zauważalnym w terenie stoki. Wysokość krawędzi i stoków tarasów rzecznych dochodzi do kilku metrów.

Powierzchnia wysoczyzny porożcinana jest dolinkami, w większości suchymi lub okresowo przepływowymi, które uchodzą do dolin głównych rzek. Na szkicu geomorfologicznym są one oznaczone jako dolinki w ogólności, nierozdzielone. Osiągają one długość od kilkuset metrów do 1 km, a ich szerokości nie przekraczają 100 m. Dolinki wcinają się w powierzchnię wysoczyzny na głębokość od kilku do kilkunastu metrów. Prawdopodobnie zostały ukształtowane u schyłku zlodowacenia Wisły. Obecnie podczas opadów deszczu i roztopów odprowadzają one wody powierzchniowe.

Formy denudacyjne. Długie stoki oddzielają wysoczyznę od rozcinających ją dolin rzecznych. Zostały wyróżnione w rejonie dolin Zwolenki, Plewki, Strugi Polickiej, Zagożdżonki, Krypianki (Brzeźniczki), Mireńki i Wisły oraz ich dopływów. Długie stoki osiągają przeważnie kilkaset metrów długości i do 10 m wysokości.

Stożki napływowe występują u wylotu suchych lub okresowo przepływowych dolinek. Na obszarze arkusza jedyny stożek znajduje się w dolinie Zwolanki, w rejonie miejscowości Kociołek. Jest to forma o wachlarzowatym kształcie, osiągająca długość około 200 m i wysokość kilku metrów, kontynuująca się na terenie arkusza Puławy.

Formy utworzone przez roślinność. Równiny torfowe tworzą niemal ciągłą pokrywę den dolin rzek Zwolanki, Mireńki, Plewki, Zwolenki i ich dopływów oraz występują w zagłębieniach bezodpływowych i deflacyjnych w rejonie Starego Grabowa, Mieczysława, Linowa, Suche i Helenówki. Większe równiny torfowe, występujące w zachodniej części terenu badań, w zagłębieniach deflacyjnych na obszarze równin piasków przewianych, są nazywane ługami. Największy z nich – Okólny Ług osiąga 2 km długości, 1 km szerokości, a jego powierzchnia przekracza 1 km². Niewiele mniejszy – Dębowski Ług ma długość 1,5 km i szerokość 1 km.

Formy antropogeniczne. Dnastawy występują w dolinach Strugi Polickiej, Krypianki (Brzeźniczki), Zwolanki i Zwolenki. Na rzece Zwolenice i Krypiance (Brzeźniczce) spiętrzenia wody są wykorzystywane do celów rekreacyjnych. Mniejsze stawy hodowlane, niezaznaczone na szkicu geomorfologicznym ze względu na jego skalę, znajdują się w Czarnolesie, w dolinie głównego dopływu Zwolanki.

Piaskownie i żwirownie, w których są eksploatowane utwory eoliczne i wodnolodowcowe, znajdują się w północnej części obszaru arkusza, w rejonie miejscowości Garbatka-Zbyszyn, Gródek Stary i Brzustów. Na południu terenu badań wyrobiska występują w okolicach wsi Niwki i Wólka Zamojska oraz na stokach doliny Zwolenki, w okolicach Starej Zielonki i Wólki Szeleźnej.

Pod względem hydrograficznym badany obszar leży w dorzeczu Wisły. Przez środkową część terenu arkusza przechodzi obszar wododziałowy pomiędzy zlewniami Zagożdżonki a Zwolenki i Plew-

ki, między którymi znajduje się lokalny dział wodny. Na obszarze arkusza Zwoleń swoje źródła mają Zwoleńka, Mireńka, Krypianka (Brzeźniczka), Struga Policka i Plewka. Zwoleńka i Plewka płyną na południe, uchodząc bezpośrednio do Wisły. Źródła Zwoleńki znajdują się w podmokłościach Puszczy Kozienickiej – Dębowski Ługu. Plewka ma swe źródła między Jabłonowem i Florianowem. Nie są to punktowe źródła, lecz wielopunktowe wypływy w zatorfionej dolinie. Mireńka, Krypianka (Brzeźniczka) i Struga Policka płyną na północ, gdzie na obszarze tarasu zalewowego Wisły uchodzą do Zagożdżonki – bezpośredniego dopływu Wisły. Wszystkie one biorą swój początek wśród terenów rolniczych: Mireńka – w okolicach Wilczowoli, Krypianka (Brzeźniczka) – w Policznej-Parceli, a Struga Policka – w okolicach Podźebroka. Wody Krypianki (Brzeźniczki) tworzą malowniczy przełom, w leśnej części Garbatki-Letniska. Ponadto na terenie arkusza Zwoleń znajduje się szereg cieków, będących dopływami wymienionych rzek oraz dwa pojedyncze źródła. Pierwsze z nich występuje w skarpie doliny Strugi Polickiej, w okolicach Gródka, a drugie – u podstawy wydmy, na północ od Dąbrowy-Lasu.

III. BUDOWA GEOLOGICZNA

A. STRATYGRAFIA

Podstawą do opracowania stratygrafii osadów na obszarze arkusza Zwoleń były wykonane specjalnie na potrzeby mapy otwory kartograficzne: Bartodzieje (otw. 104), Niwki (otw. 69), Motarzyny (otw. 58), Helenówka (otw. 55), Wilczowola (otw. 49), Podtetłów (otw. 26) i Garbatka-Podlas (otw. 4). Przy rozpozniomowaniu stratygraficznym osadów czwartorzędu przydatne były dane uzyskane z sond mechanicznych i sond ręcznych, a także z odsłonieć, z których pobrano próbki do badań laboratoryjnych. Analizując budowę geologiczną na terenie arkusza wykorzystano również profile archiwalnych otworów wiertniczych.

Najgłębsze otwory na obszarze arkusza, sięgające utworów karbonu, były wykonane w Laskach (otw. 23, głęb. 2001,5 m) i Policznej (otw. 40, głęb. 1769,3 m; otw. 41, głęb. 2212,0 m). W osadach dewonu zostały zakończone otwory w Andrzejówce (otw. 54, głęb. 1336,5 m) i Nowym Zamościu (otw. 76, głęb. 1760,3 m). Stwierdzono w nich piaskowce i dolomity dewonu, mułowce i piaskowce karbonu, iłowce permu, piaskowce i mułowce triasu oraz wapienie jury.

Najgłębszym otworem wiertniczym na obszarze arkusza jest otwór w Policznej (otw. 41, głęb. 2212,0 m), w którego spągu stwierdzono ciemnoszare mułowce karbonu o miąższości ponad 852,0 m. Mułowce i piaskowce karbonu występują także w profilach sąsiednich otworów wiertniczych w Policznej (otw. 40) i Laskach (otw. 23). Utwory permu, o miąższości 38,5 m, rozpoznano w Laskach (otw. 23). Piaskowce i mułowce triasu, o miąższości 73,0 i 30,0 m, zostały przewiercone w Laskach (otw. 23) i Andrzejówce (otw. 54). Wapienie jury stwierdzono w pięciu najgłębszych otworach wiert-

niczych: w Andrzejówce (otw. 41, 54), Policznej (otw. 40), Laskach (otw. 23) i Nowym Zamościu (otw. 76). Miąższość tych utworów wynosi od 408,0 w Andrzejówce (otw. 41) do 611,0 m w Nowym Zamościu (otw. 76).

Bezpośrednim podłożem osadów czwartorzędowych są wapienie, wapienie margliste, opoki i margle mastrychtu górnego, margle, gezy, ily, mułki i piaski paleocenu dolnego, piaski, mułki i ily z wkładkami węgla brunatnego eocenu dolnego, mułki i ily eocenu środkowego, piaski kwarcowe i mułki oligocenu dolnego oraz piaski kwarcowe, mułki i ily miocenu. Wiek osadów neogenu został określony na podstawie prac Piwockiego i Ziemińskiej-Tworzydło (1995, 1997), a przede wszystkim – schematu stratygraficznego Piwockiego (1996).

1. Kreda

Wapienie, wapienie margliste, opoki i margle stwierdzono w pięciu otworach wiertniczych: Laski (otw. 23), Policzna (otw. 40 i 41), Andrzejówka (otw. 54) i Nowy Zamość (otw. 76). Ich miąższość we wszystkich otworach jest podobna i wynosi od 721 m w Nowym Zamościu (otw. 76) do 902 m w Policznej (otw. 40). Otwory te dokumentują lubelski odcinek mezozoicznej struktury niecki brzeżnej.

a. Kreda górna

Mastrycht

Mastrycht górny

Margle mastrychtu górnego zostały stwierdzone w 33 otworach wiertniczych, głównie w centralnej i południowej części obszaru arkusza. W pięciu głębokich, archiwalnych otworach: Laski (otw. 23), Policzna (otw. 40 i 41), Andrzejówka (otw. 54) i Nowy Zamość (otw. 76) zostały one przewiercone. Niestety opisy profili tych wierceń są bardzo ogólne i skały mastrychtu górnego zostały tam przedstawione jako nierozdzielone ze starszymi ogniwami kredy.

Utwory mastrychtu górnego odsłaniają się w licznych odkrywkach w dolinie Wisły: w okolicach Kazimierza Dolnego, Bochofnicy, Nasiłowa i Janowca nad Wisłą. Na terenie arkusza Zwoleń występują one bezpośrednio w podłożu osadów czwartorzędowych w południowo-wschodniej jego części, od Zwolenia po okolice Czarnolasu. Strop margli zapada pod kątem kilku stopni w kierunku północno-wschodnim. Znajduje się on na wysokości od 40,6 m n.p.m w północnej części terenu badań, w okolicach Garbatki-Letniska (otw. 10), do 147,8 m n.p.m w południowej części obszaru arkusza, koło Władysławowa (otw. 61). Duże różnice wysokości powierzchni stropowej osadów mastrychtu górnego są spowodowane dyslokacjami tektonicznymi. W okolicach Policznej znajdują się dwa uskoki, które spowodowały wyniesienie margli ku górze (przekrój geologiczny A–B). Z analizy przekroju geoelektrycznego wynika, że w skałach mastrychtu górnego występuje szereg uskoków pionowych,

niesięgających stropu podłoża czwartorzędu (Mżyk, 2008). Różnice wysokości stropu skał mastrychtu górnego są spowodowane także procesami erozyjnymi. Poza obszarami południowo-wschodniej części terenu arkusza skały mastrychtu górnego występują pod utworami paleocenu dolnego. Niewykluczone, że na południowym wschodzie na utworach mastrychtu górnego występuje cienka warstwa margli paleocenu dolnego, które stwierdzono w otworach kartograficznych: Podtętlów (otw. 26), Wilczowola (otw. 49), Helenówka (otw. 55), Motarzyny (otw. 58), Niwki (otw. 69) i Bartodzieje (otw. 104) oraz wielu otworach wiertniczych na zachód i północ od Zwolenia, gdzie stanowią bezpośrednie podłoża osadów czwartorzędu. Oporności margli są niskie i wynoszą poniżej 30 Ω (Om) (Mżyk, 2008).

2. Paleogen

a. Paleocen

Paleocen dolny

Morskie utwory paleocenu dolnego są reprezentowane przez gezy, iły, mułki i piaski oraz margle i zostały stwierdzone w 32 otworach wiertniczych, w tym w pięciu zostały przewiercone. Największe miąższości zanotowano w Starej Zawadzie (otw. 28) – 48 m, gdzie nie przewiercono osadów paleocenu dolnego do głębokości 82 m, Laskach (otw. 23) – 29 m, Zwoleniu (otw. 74) – 23 m i Andrzejówce (otw. 54) – 20 m. Utwory paleocenu dolnego nie odsłaniają się na powierzchni terenu. Najbliższe kamieniołomy, w których można obserwować gezy i wapienie paleocenu znajdują się w dolinie Wisły, na odcinku Puławy–Kazimierz Dolny.

Utwory paleocenu dolnego występują bezpośrednio w podłożu osadów czwartorzędu w południowo-zachodniej części terenu arkusza, na zachód i południe od miejscowości Zwoleń, oraz na północ, aż do miejscowości Helenówka. Od Helenówki ciągną się one w kierunku SW–NE, przez Władysławów do Czarnolasu, a następnie do Zawady Nowej w północno-wschodniej części i dalej w kierunku doliny Wisły i jej obszaru krawędziowego. W zachodniej i południowej części terenu badań strop utworów paleocenu dolnego znajduje się na wysokości 150 m n.p.m. i zapada w kierunku północno-wschodnim, gdzie w dolinie Wisły występuje na rzędnej 90 m n.p.m. Utwory paleocenu dolnego znajdują się również w spagu osadów czwartorzędu w depresji w Garbatce-Podlas, gdzie ich strop znajduje się wysokości 82 m n.p.m. (otw. 1) oraz koło Janusznia, gdzie wznoszą się one do wysokości poniżej 110 m n.p.m. Na pozostałym obszarze skały paleocenu dolnego znajdują się pod przykryciem utworów eocenu dolnego i środkowego, oligocenu dolnego lub miocenu. Do interpretacji stropu utworów paleocenu dolnego na przekroju geologicznym A–B wykorzystano informacje z dokumentacji geoelektrycznej (Mżyk, 2008). Opory dla zwięzłych skał wapiennych cechują się niskimi wartościami i wynoszą od kilkunastu do 40 Ω .

Utwory paleocenu dolnego zostały udokumentowane w sześciu otworach kartograficznych (tabl. I) głównie badaniami palinologicznymi na podstawie analizy fitoplanktonu z próbek pobranych przez

Słodkowską (2009). Wykonana przez Paruch-Kulczycką (2009) analiza mikropaleontologiczna nie dała spodziewanych rezultatów ze względu na brak otwornic w badanych próbkach.

W Podtetlowie (otw. 26), na od głębokości 57,5–59,0 m, stwierdzono zielonkawoszare mułki. W próbce pobranej z głębokości 58,3 m Słodkowska (2009) stwierdziła gatunki fitoplanktonu charakterystyczne dla paleocenu dolnego. Analiza uziarnienia mułków wykazała 90-procentowy udział frakcji pyłowej (<0,1 mm) i 10-procentowy udział frakcji piaskowej. Ziarna kwarcu frakcji 0,5–1,0 mm są słabo obtoczone (współczynnik obtoczenia $R = 0,78$). Zawartość węglanu wapnia w badanej próbce jest niska i wynosi 4,61%. Powyższe cechy świadczą o akumulacji mułków w strefie brzegowej zbiornika morskiego.

W Wilczowoli (otw. 49) gezy, ily i mułki wapniste paleocenu dolnego zostały stwierdzone na głębokości 43,3–49,0 m. Analizy fitoplanktonu zostały wykonane dla próbek pobranych z głębokości 48,7 i 45,3 m. Oznaczono w nich między innymi: *Cerodinium diebelii* (Alberti) Lentin et Williams, *Cerodinium speciosum* (Alberti) Lentin et Williams, *Fibradinium annetorpense* Morgenroth, *Fromea*, *Palaeotetradinium silicorum* (Deflandre) Deflandre et Sarjeant, *Paralacaniella*, *Palambages morulosa* (Wetzel) Gocht et Wille, *Spinidinium*. Pozostałe mikroszczałki to fitoklasty i organiczne wyściółki otwornic. Skład fitoplanktonu jest najbardziej zbliżony do zespołu zawartego w poziomach dinocystowych D1–D3 z paleocenu dolnego i środkowego (dan–zeland; Słodkowska, 2009). W próbce pobranej z głębokości 44,4–44,5 m zawartość węglanu wapnia, w kończących sedymentację mułkach, wynosi 0,26%.

W Helenówce (otw. 55), na głębokości 29,2–36,0 m, stwierdzono ciemnoszare ily z przewarstwieniem mułków i gezy wapniste. Analizy fitoplanktonu wykonano na czterech próbkach, lecz jedynie próbki z głębokości 29,8 i 31,7 m zawierały palimorfy jednoznacznie wskazujące wiek osadów na paleocen dolny.

W Motarzynach (otw. 58) bezwapniste gezy i ily pyłowate stwierdzono na głębokości 21,4–31,0 m. Analiza fitoplanktonu ze stropowej i spągowej części profilu wskazała wiek utworów na paleocen dolny.

W Niwkach (otw. 69), na głębokości 29,3–42,0 m, stwierdzono (poczynając od spągu) szarobiałe mułowce, ciemnoszare ily pyłowate, piaski kwarcowe i szarozielone mułki. Wykształcenie osadów wskazuje na bliskość strefy brzegowej i dostarczanie materiału terygenicznego do zbiornika morskiego. Próbki do badań fitoplanktonu, pobrane z głębokości 33,0; 39,6; 40,5 m, wskazują jednoznacznie wiek osadów na paleocen dolny.

Dla utworów piaszczystych wykonano analizy uziarnienia. W próbce z głębokości 35,0 m stwierdzono piaski głównie drobno- i średnioziarniste, natomiast w próbce z głębokości 36,6 m przeważała frakcja pyłowa nad piaskową. Ziarna kwarcu są słabo i średnio obtoczone ($R = 0,5–0,8$). Osady te są bezwapniste. Dla próbki z głębokości 36,6 m wykonano też analizę minerałów ciężkich frakcji

0,1–0,25 mm. Zawartość nieprzezroczystych tlenków żelaza wynosi w niej 51,1%. Wśród minerałów przezroczystych dominują bardzo odporne na wietrzenie staurolit (14,9%), topaz (8,9%), dysten, cyrkonie i turmaliny (po 5%). Udział granatów i amfiboli wynosi po 2%. Taki skład minerałów wskazuje na sedymentację w ciepłym klimacie, co odpowiada warunkom panującym w paleocenie dolnym.

Mułowce paleocenu dolnego stwierdzono również w Bartodziejach (otw. 104) na głębokości 42,0–46,0 m. Ich wiek potwierdziły badania fitoplanktonu przeprowadzone na próbce pobranej z przedziału głębokości 43,2–46,0 m.

b. E o c e n

Eocen dolny

Morskie utwory eocenu dolnego są reprezentowane głównie przez piaski, mułki i iły z wkładkami węgla brunatnego. Osady te zostały stwierdzone w 17 otworach, a w 16 zostały przewiercone, w tym w czterech otworach kartograficznych. Maksymalna miąższość utworów eocenu dolnego została stwierdzona w Policznej (otw. 39), gdzie wynosi ona 41,9 m. Przeciętne miąższości osadów tego wieku wynoszą od kilku do kilkunastu metrów. Ich wykształcenie jest podobne do wykształcenia osadów oligocenu dolnego, dlatego też bez badań fitoplanktonu nie jest możliwe ich precyzyjne rozpozniomowanie stratygraficzne.

Utwory eocenu dolnego występują bezpośrednio w podłożu osadów czwartorzędowych w okolicach Motarzyn i ciągną się cienką strefą w kierunku wschodnim, w rejon Łuczynowa. Taki obraz wynika z autorskiej interpretacji, gdyż obszar ten nie jest dostatecznie udokumentowany otworami wiertniczymi. Poza nim utwory eocenu dolnego występują wyspowo pod osadami czwartorzędowymi, m.in. w okolicach Zwolenia, Policznej, Podtętlowa i Garbatki-Podlas. Na pozostałym terenie osady eocenu dolnego stwierdzono pod przykryciem utworów oligocenu dolnego bądź miocenu. Strop utworów eocenu dolnego znajduje się na rzędnych od 94,9 m n.p.m. na północy terenu badań, w Garbatce-Letnisku (otw. 10), do 146,5 m n.p.m. w centralnej części obszaru arkusza – w Motarzynach (otw. 58).

W Garbatce-Podlas (otw. 4), na głębokości 40,3–47,0 m, stwierdzono zielonkawoszare mułki. Dla czterech próbek, pobranych z głębokości 41,0; 42,8; 45,5; 46,0 m, zostały wykonane oznaczenia fitoplanktonu, którego wiek określono jako eocen dolny. W analizie uziarnienia mułków przeważa frakcja pyłowa i iłowa (97,0–99,0%). Mułki są bezwapniste. Ziarna kwarcu są bardzo słabo obtoczone ($R = 1,2$). Wśród minerałów ciężkich nie występują minerały przezroczyste. Piryt stanowi 85,7% ich składu, a resztę – tlenki żelaza powstałe z rozpadu pirytu. Skład minerałów ciężkich wskazuje na sedymentację w zbiorniku wodnym, być może odciętą zatokę morską.

W Podtętlowie (otw. 26), na głębokości 55,7–57,5 m, nawiercono poziom piasków pyłowatych eocenu dolnego o miąższości 2,2 m. W badanej próbce nie stwierdzono palinomorf.

W Wiczowoli (otw. 49), na głębokości 39,4–43,3 m (miąższość 3,9 m), stwierdzono niebieskoszare piaski pyłowate oraz niebieskozielone piaski drobno- i średnioziarniste. Osady te zostały zaliczone do eocenu dolnego. W próbkach pobranych z tych utworów nie stwierdzono palinomorf. Zawartość węglanów jest śladowa i wynosi 0,26%. Skład minerałów ciężkich charakteryzuje się przewagą granatów (55,6%), przy 12-procentowym udziale staurolitu i domieszce amfiboli. Odbiega on od składu minerałów ciężkich w Garbatce-Podlas (otw. 4) i jest charakterystyczny dla materiału dostarczanego z lądu do zbiornika morskiego.

W Motarzynach (otw. 58), na głębokości 20,5–21,4 m (miąższość 0,9 m), stwierdzono zielonkawoszare mułki. Występują one bezpośrednio pod glinami zwałowymi zlodowacenia Sanu 2 i nad utworami paleocenu dolnego. Wiek próbki pobranej ze spągu mułków został określony na podstawie badań palinologicznych na eocen dolny. Osady te cechują się znikomą zawartością węglanu wapnia, zaś ziarna kwarcu są obtoczone w 100%. W składzie minerałów ciężkich, podobnie jak w Garbatce-Podlas, dominuje piryty (96,2%) nad glaukonitem i granatami.

Eocen środkowy

Utworów eocenu środkowego nie stwierdzono w żadnym z otworów wiertniczych ani punktów dokumentacyjnych na terenie arkusza Zwoleń. Obecność mułków i ilów tego wieku w podłożu osadów czwartorzędowych, we wschodniej części obszaru arkusza, w rejonie Czarnolasu, wyinterpretowano na podstawie korelacji z arkuszem Puławy (Żarski, 1998a, b). Udokumentowane zostały tam m.in. otworem wiertniczym w Rudzie Checheńskiej, tuż przy wschodniej granicy z obszarem arkusza Zwoleń.

Dla próbek pobranych z arkusza Puławy, Słodkowska (1996) wykonała badania palinologiczne. Stwierdzono, że wiek utworów jest zawarty pomiędzy eocenem dolnym i środkowym. W badanych próbkach obserwowano liczny fitoplankton morski, świadczący o pełnomorskim charakterze osadów.

c. Oligocen

Oligocen dolny

Morskie utwory oligocenu dolnego są reprezentowane przez piaski kwarcowe i mułki. Zostały one nawiercone w 11 otworach archiwalnych: 2, 8–11, 14, 17, 18, 23, 28 i 29. Największe ich miąższości stwierdzono w Krasnej Dąbrowie (otw. 14) – 39,2 m i Ponikwie koło Garbatki-Letniska (otw. 17) – 26,4 m. W pozostałych otworach osady te osiągają miąższość od kilku do kilkunastu metrów.

Na obszarze arkusza Zwoleń utworów oligocenu dolnego nie stwierdzono w otworach kartograficznych. Pobrane piaski i mułki o charakterystycznym zielonym kolorze okazały się osadami eocenu dolnego. Utwory oligocenu dolnego zostały udokumentowane badaniami palinologicznymi na sąsiednich arkuszach Kozienice (Żarski, 1996a, b) i Dęblin (Żarski, 1991, 1993), natomiast na arkuszu Puławy

(Żarski, 1998a, b) piaski i żwiry oligocenu dolnego odsłaniają się na powierzchni terenu w Górze Puławskiej.

Utwory oligocenu dolnego na badanym terenie nie tworzą zwartych powierzchni. Występują bezpośrednio w podłożu osadów czwartorzędowych w północno-wschodniej części obszaru arkusza, w strefie krawędzi doliny Wisły: między Bierdzieżą, Zawadą Starą, Zawadą Nową a Garbatką-Podlas. Ponadto stwierdzono je w północno-zachodniej i zachodniej części badanego obszaru, w obniżeniach podłoża czwartorzędu, w okolicach Lasek i Januszna oraz Suchej. Na pozostałym obszarze arkusza utwory oligocenu dolnego występują pod przykryciem osadów miocenu. Strop utworów oligocenu dolnego położony jest na wysokości od 94,7 m n.p.m. w północno-zachodnim narożu obszaru arkusza, koło Januszna (otw. 2), do 126,0 m n.p.m. w Krasnej Dąbrowie (otw. 14).

3. Neogen

a. Miocen

Piaski kwarcowe, mułki i iły, reprezentujące fację limniczno-bagienną, zostały stwierdzone w 29 otworach wiertniczych, a w 20 zostały przewiercone. Maksymalne miąższości wynoszą: 26,0 m w Policznej (otw. 31); 27,0 m w Wojciechówce (otw. 52); 28,6 m w Janusznie (otw. 18) i 35,5 m w Wilczowoli (otw. 46). Utwory miocenu znajdują się w podłożu osadów czwartorzędowych w centralnej i północnej części obszaru arkusza. Ich strop jest najczęściej położony na wysokości 130–140 m n.p.m. W Wilczowoli (otw. 46) osady te są zaburzone glacitektonicznie, a ich strop znajduje się na wysokości 166,4 m n.p.m. Obszary występowania utworów miocenu tworzą zwartą pokrywę, a południowa ich granica pokrywa się z południową granicą występowania zbiornika mioceńskiego.

W Wilczowoli (otw. 49), na głębokości 32,4–39,4 m, nawiercono 7-metrowy poziom mułków z przewarstwieniami piasków pyłowatych i iłów miocenu. Przeprowadzone badania nie wykazały w osadach obecności pyłków. Z badań litologicznych próbki pobranej ze spągu warstwy, z głębokości 39,0 m, wynika, że są to piaski pyłowate, w których dominuje frakcja piaszkowa (55,8%), przy 40,2-procentowym udziale frakcji pyłowej i iłowej. Osady te posiadają znikomą ilość węglanu wapnia – 0,38%. Wśród minerałów ciężkich dominują granaty 33,8%, a zawartość staurolitu i amfiboli wynosi 15,7%. Duża ilość amfiboli w osadach jest charakterystyczna dla utworów akumulowanych w plejstocenie, a nie neogenie. Nie można więc wykluczyć redepozycji tych osadów w plejstocenie dolnym.

4. Czwartorzęd

Na obszarze arkusza Zwoleń występują utwory plejstocenu i holocenu. Osady plejstocenu są reprezentowane przez utwory plejstocenu dolnego, zlodowaceń południowopolskich, zlodowaceń środkowopolskich, ekstraglacjalne zlodowaceń północnopolskich oraz dzielących je osadów interglacjalów:

małopolskiego, ferdynandowskiego, mazowieckiego, Zbójna i eemskiego. Podziału stratygraficznego dokonano na podstawie analizy i korelacji przestrzennej poziomów litostratygraficznych, popartej wynikami badań laboratoryjnych: palinologicznych, litologiczno-petrograficznych i wieku bezwzględnego. Do ustalenia granic litologicznych na przekroju geologicznym A–B wykorzystano wyniki badań geofizycznych (elektrooporowych).

Na omawianym terenie nie wyróżniono osadów zlodowacenia Narwi, a także utworów interglacjału augustowskiego.

Utwory czwartorzędowe na badanym obszarze zostały przewiercone w 82 otworach. Ich miąższość jest mało zróżnicowana, a największą stwierdzono w miejscowości Garbatka-Podlas (otw. 1) – 67,0 m. Znajduje się tu obniżenie w podłożu czwartorzędu, prawdopodobnie o charakterze rynny subglacjalnej. Na stoku tej formy wykonano otwór kartograficzny Garbatka-Podlas (otw. 4), w którym osady czwartorzędu osiągają miąższość 40,3 m. W depresji glacitektonicznej w Podtetlowie (otw. 26) udokumentowano osady tego wieku o miąższości 55,7 m, a koło Lasek (otw. 29), w podobnej formie, osiągają one 64,0 m. W centralnej części obszaru arkusza, w okolicach Policznej (otw. 34, 35), a także we wschodniej części, w okolicach Władysławowa, Jabłonowa i Checheł (otw. 50, 51, 57), miąższość utworów czwartorzędu wynosi około 50 m. W południowej i południowo-zachodniej części terenu badań jest ona mniejsza – około 20–35 m. Związane jest to z wyższym położeniem stropu osadów kredy i paleogenu.

a . P l e j s t o c e n

Plejstocen dolny

Utwory plejstocenu dolnego (preglacjału) stanowią najniższe ogniwo plejstocenu. Są to osady stożków napływowych rzek płynących z południa, południowego zachodu i południowego wschodu Polski (Lewiński, 1929). Stratyfację osadów preglacjału określono na podstawie profili w Ponurzyca i Rózcach (Baraniecka, 1975, 1991). Utwory plejstocenu dolnego na badanym terenie należą (wg nieformalnego podziału preglacjału) do tzw. poziomu kozienickiego (Kosmowska-Ceranowicz, 1966) i były deponowane w cyklach erozyjno-akumulacyjnych. Osady te zostały opisane na terenach sąsiednich arkuszy: Kozienice (Żarski, 1996a, b), Dęblin (Żarski, 1991, 1993), Puławy (Żarski, 1998a, b), Ciepeliów (Złonkiewicz, 2001, 2002), Skaryszew (Janiec, 1995, 2000), Wierzbica (Barcicki, 1988, 1990) i Radom (Jaśkowski, Jurkiewicz, Kowalski, 1992) oraz w pracach Makowskiej (1976) i Bujaka (2007a, b).

P i a s k i , ż w i r y , p i a s k i p y ł o w a t e i m u ł k i r z e c z n e reprezentują facje korytowe i pozakorytowe. Odślaniają się na powierzchni arkusza jedynie na zboczach doliny Zagożdżonki, w okolicach Janusza, gdzie zostały udokumentowane sondami ręcznymi, a także otworem wiertniczym Pionki (otw. 2). Występują tu charakterystyczne białe żwiry kwarcowe z czarnymi rogowcami. Osady te nie zawierają materiału pochodzącego ze Skandynawii. Osady plejstocenu dolnego zostały stwierdzone w 11 otworach archiwalnych i jednym otworze kartograficznym Helenówka (otw. 55). Nie tworzą one

jednolitego horyzontu, lecz występują wyspowo na całej powierzchni obszaru arkusza Zwoleń. Miąższość utworów preglacjału wynosi od kilku do 15,0 m w Jabłonowie (otw. 51). Występują tam piaski pyłowate i ilaste oraz drobnoziarniste piaski kwarcowe. W południowej części terenu badań, w Zwoleniu (otw. 83) i Atalinie koło Zwolenia (otw. 73), miąższość osadów plejstocenu dolnego wynosi 10,0–11,0 m.

W centralnej części obszaru arkusza w otworze Helenówka (otw. 55), na głębokości 25,8–27,8 m, stwierdzono serię osadów preglacjału o miąższości 2,0 m. Strop tych utworów znajduje się na wysokości 146,2 m n.p.m. Są one wykształcone w postaci żwirów kwarcowo-krzemionkowych oraz różno- i drobnoziarnistych piasków kwarcowych.

Zlodowacenia południowopolskie

Osady zlodowaceń południowopolskich są powszechne na badanym terenie. Reprezentują one zlodowacenia: Nidy, Sanu 1 i Sanu 2 oraz rozdzielające je interglacjały małopolski i ferdynandowski.

Zlodowacenie Nidy

Na terenie arkusza Zwoleń utwory zlodowacenia Nidy są reprezentowane przez piaski i żwiry wodnolodowcowe, gliny zwałowe oraz ily i mułki zastoiskowe, występujące na badanym terenie jedynie fragmentarycznie, w obniżeniach podłoża czwartorzędu.

P i a s k i i ż w i r y w o d n o l o d o w c o w e , o miąższości 15,0 m, wypełniają kopalną rynnę, w której dnie występują gezy paleocenu (otw. 1, przekrój geologiczny A–B). Strop tych osadów znajduje się na wysokości 98,0 m n.p.m.

G l i n y z w a ł o w e , o miąższości 13,2 m, stwierdzono jedynie w Garbatce-Letnisku (otw. 1), gdzie występują na piaskach i żwirach wodnolodowcowych (przekrój geologiczny A–B). Zostały one lepiej rozpoznane na obszarze arkusza Puławy, w Bochofnicy (Żarski, 1998a, b). Charakteryzują się tam następującymi współczynnikami petrograficznymi¹: $O/K = 1,58$; $K/W = 0,72$; $A/B = 1,16$.

I ł y i m u ł k i z a s t o i s k o w e , o miąższości powyżej 0,7 m, stwierdzono jedynie w Policznej (otw. 38), na głębokości 41,3 m. Wypełniają one górną część rowu tektonicznego (przekrój geologiczny A–B). Ich strop znajduje się na wysokości 124,2 m n.p.m.

Interglacjał małopolski

Drobno- i średnioziarniste p i a s k i r z e c z n e , o miąższości 14,0 m, stwierdzono w otworze Łaski (otw. 29). Osady te wypełniają kopalne obniżenie na głębokości 50,0–64,0 m. Nie ma w tym rejonie innych otworów wiertniczych, które dokumentowałyby ewentualny przebieg doliny rzecznej.

¹Współczynniki petrograficzne obliczone dla żwirów o średnicy 5–10 mm, uzyskanych z glin zwałowych, charakteryzują zależności między różnymi grupami skał skandynawskich, gdzie: O — skały osadowe, K — skały krystaliczne i kwarc, W — skały węglanowe, A — skały nieodporne na niszczenie, B — skały odporne na niszczenie.

Geneza tego obniżenia może wiązać się także z depresją glacitektoniczną, albo z przegłębieniem spowodowanym erozyjną działalnością wód płynących przed czołem lądolodu.

Utwory interglacjału małopolskiego zostały również udokumentowane w północno-wschodniej części obszaru arkusza Ciepiałów (Złonkiewicz, 2001, 2002). Piaski, żwiry i mułki rzeczne wypełniają tam doliny kopalne, które nie zostały udokumentowane na obszarze arkusza Zwoleń. Prawdopodobnie jest to spowodowane nierównomiernym pokryciem badanego terenu otworami wiertniczymi. Osady interglacjału małopolskiego stwierdzono również w dolnych partiach kopalnej doliny Wisły i jej dopływów (Żarski, 2002). Miąższość rzecznych osadów interglacjału małopolskiego dochodzi tam do kilkunastu metrów.

Zlodowacenie Sanu 1

Utwory zlodowacenia Sanu 1 na terenie arkusza Zwoleń są reprezentowane przez piaski i żwiry wodnolodowcowe, piaski, mułki i ropy zastoiskowe oraz gliny zwałowe. Utwory tego zlodowacenia, podobnie jak osady zlodowacenia Nidy, występują fragmentarycznie w obniżeniach podłoża czwartorzędu, lecz są znacznie lepiej rozpoznane.

Piaski i żwiry wodnolodowcowe stwierdzono w otworach: Policzna (otw. 38), Czarnolas (otw. 42 i 43) oraz Bartodziejach (otw. 104). Ich miąższość waha się od 0,8 m w Bartodziejach do 6,0 m w Czarnolesie (otw. 43). Strop osadów wodnolodowcowych na obszarze arkusza znajduje się na głębokości około 40 m, na rzędnej około 130 m n.p.m.

Piaski, mułki i ropy zastoiskowe stwierdzono w otworach: Garbatka-Podlas (otw. 4), Policzna (otw. 38), Filipinów (otw. 63) i Bartodziejach (otw. 104). W Policznej (otw. 38), na głębokości 34,6–35,6 m, pomiędzy osadami wodnolodowcowymi a glinami zwałowymi zlodowacenia Sanu 1, wyróżniono mułki zastoiskowe o miąższości 1,0 m. Zastoiskowe piaski pyłowate, o miąższości 25,0 m, stwierdzono też w Filipinowie (otw. 63), gdzie leżą bezpośrednio na osadach plejstocenu dolnego.

W Garbatce-Podlas (otw. 4), na głębokości 38,9–40,3 m, stwierdzono piaski drobnoziarniste, mułki i piaski pyłowate, leżące bezpośrednio na osadach eocenu dolnego. Próbkę pobrana do badań litologicznych z głębokości 40,2 m wykazała 49-procentowy udział frakcji pyłowo-iłowej i 36-procentowy udział frakcji piaskowej. Osady te są bezwapniste. Ziarna kwarcu są średnio obtoczone ($R = 0,63$). Wśród minerałów ciężkich dominują minerały nieprzezroczyste – piryt (39,7%). Minerały przezroczyste są reprezentowane głównie przez granaty (28,0%) i amfibole (10,1%). Taki skład minerałów wskazuje na sedymentację w zbiorniku wodnym.

W Bartodziejach (otw. 104), bezpośrednio nad żwirami wodnolodowcowymi zlodowacenia Sanu 1, znajduje się 40-centymetrowy poziom zastoiskowych piasków pyłowatych.

Gliny zwałowe zostały nawiercone w otworach kartograficznych Podtętlów (otw. 26) i Garbatka-Podlas (otw. 4), a także w otworach archiwalnych: Żytkowice (otw. 15), Policzna (otw. 38 i 39),

Czarnolas (otw. 42 i 43) oraz Zwoleń (otw. 102). Miąższość glin zwałowych w Policznej (otw. 39) wynosi 21,0 m. Gliny te leżą bezpośrednio na piaskach miocenu, a pod glinami zwałowymi zlodowacenia Sanu 2. Ponadto gliny zwałowe tego wieku, o miąższości 9,0–10,0 m, zostały stwierdzone w Czarnolesie. Miąższość glin w Zwoleniu wynosi 12,0 m, a w Żytkowicach około 2 m.

W Podtętlowie (otw. 26) gliny zwałowe, o miąższości 19,6 m, stwierdzono na głębokości od 36,1 do 55,7 m. Wypełniają one depresję glacitektoniczną. Bezpośrednio nad glinami zwałowymi zlodowacenia Sanu 1 występują gliny zwałowe zlodowacenia Sanu 2 o miąższości 12,0 m. Autorzy opracowania litologiczno-petrograficznego (Marcinkowski, Wyszomierski, 2009) całość kompleksu glin zwałowych zaliczyli do stadiału dolnego zlodowacenia Sanu 1, któremu odpowiada litotyp S2 wyróżniony przez Lisickiego (2003). Gliny zwałowe charakteryzują się następującymi współczynnikami petrograficznymi: $O/K = 1,15$; $K/W = 0,92$; $A/B = 1,08$.

Po wnikliwej analizie wyników badań petrograficznych, opierając się na znajomości budowy geologicznej, kompleks glin zwałowych rozdzielono na dwa poziomy stratygraficzne: dolny – zlodowacenia Sanu 1 (głęb. 36,1–55,7 m) i górny – zlodowacenia Sanu 2 (głęb. 24,0–36,1 m). Dziewięć próbek pobranych z przedziału głębokości 36,1–55,7 m poddano analizie petrograficznej. Wszystkie próbki wykazały dużą jednorodność, z wyjątkiem dwóch – ze środka i spągu serii. Obraz petrograficzny próbki ze spągu (głęb. 55,0–55,7 m) jest odmienny od reszty i wyraża się następującymi współczynnikami petrograficznymi: $O/K = 0,76$; $K/W = 1,48$; $A/B = 0,62$. Jest on charakterystyczny dla stadiału dolnego zlodowacenia Sanu 1 (Lisicki, 2003). Ze względu na małą ilość żwirów w pobranej próbce wyniki badań mogą być obarczone pewnym błędem. Próbka ze środka serii (głęb. 44,3–45,7 m) także odbiega składem od pozostałych. Występuje w niej duża przewaga wapieni i dolomitów paleozoicznych nad skałami krystalicznymi. W pozostałych próbkach suma skał krystalicznych i kwarcu jest w równowadze z wapieniami i dolomitami paleozoicznymi. Udział skał lokalnych waha się od 3,0 do 10,0%. Średnie wartości współczynników petrograficznych z siedmiu próbek (dwie skrajne odrzucono) wynoszą: $O/K = 1,06$; $K/W = 1,02$; $A/B = 0,90$ i są charakterystyczne dla glin stadiału górnego zlodowacenia Sanu 1 (Lisicki, 2003). Zawartość węgla wapnia w glinach zwałowych wynosi od 4,6 do 6,2%.

W Garbatce-Podlas (otw. 4) poziom glin zwałowych, o miąższości 13,7 m, stwierdzono na głębokości od 25,2 do 38,9 m. Leży on na utworach zastoiskowych Sanu 1 i pod osadami zastoiskowymi zlodowacenia Sanu 2. Są to gliny piaszczyste, makroskopowo przypominające mułki piaszczyste. Zawartość frakcji pyłowej i ilowej wynosi ponad 50,0%, przy 30–40-procentowym udziale frakcji piaszkowej. Zawartość żwirów o średnicy 0,5–1,0 cm jest niska i waha się od 32 (w pierwszej próbce stropowej) do 76 sztuk (w próbce spągowej). W badanych próbkach występuje dominacja skał krystalicznych i kwarcu, przy braku lub znikomej ilości wapieni i dolomitów skandynawskich oraz skał lokalnych. Świadczy to o silnych procesach niszczenia glin zwałowych, w związku z czym nie nadają

się one do porównań petrograficznych. Zawartość węglanu wapnia w badanych utworach jest znikoma lub bliska zeru. Ziarna kwarcu są średnio obtoczone ($R = 0,5$). Spektrum minerałów ciężkich jest charakterystyczne dla osadów glacialnych. Dominują granaty (od 26,6 do 42,0%), przy udziale amfiboli (od 13,2 do 18,7%). Udział minerałów nieprzezroczystych wynosi około 20%.

Interglacjał ferdynandowski

Piaski i żwiry rzeczne zostały stwierdzone w otworach: Policzna (otw. 1), Ponikwa (otw. 17), Anielówka (otw. 29) i Łuczynów (otw. 60). W Policznej (otw. 1) znajdują się one na głębokości od 20,0 do 38,0 m, pomiędzy glinami zwałowymi zlodowacenia Nidy a piaskami i żwirami wodnolodowcowymi zlodowacenia Sanu 2. Mogą one dokumentować dopływ kopalnej doliny Wisły.

W Łuczynowie (otw. 60) 30-metrowa seria piasków i żwirów znajduje się nad osadami plejstocenu dolnego i pod glinami zwałowymi zlodowacenia Sanu 2. Mięszce serie piaszczysto-żwirowe zostały również rozpoznane, w kopalnej dolinie Wisły i jej dopływach, na terenie arkuszy Puławy (Żarski, 1998a, b), Dęblin (Żarski, 1991, 1993), Kozienice (Żarski, 1996a, b) i Ciepiałów (Złonkiewicz, 2001, 2002). Do interglacjału ferdynandowskiego zaliczono też 20-metrową serię piasków w Anielówce (otw. 29), leżącą nad osadami interglacjału małopolskiego, a w Ponikwie (otw. 17) – blisko 4-metrową serię piasków i żwirów, leżących na utworach preglacjału.

Na obszarze arkusza Zwoleń nie rozpoznano jeziornych osadów interglacjału ferdynandowskiego. Wyróżniono je w otworach kartograficznych Tomaszów i Kolonia Markowola — arkusz Puławy (Żarski, 1998a, b) oraz Stanisławice — arkusz Kozienice (Żarski, 1996a, b). Na północ od terenu badań, w Białobrzegach i Podgórzu, znajdują się w pełni udokumentowane palinologicznie stanowiska interglacjału ferdynandowskiego (Janczyk-Kopikowa, 1991; Mamakowa, 1996).

Zlodowacenie Sanu 2

Osady zlodowacenia Sanu 2 na obszarze arkusza Zwoleń są reprezentowane przez mułki, piaski i iły zastoiskowe z transgresji lądolodu, piaski i żwiry wodnolodowcowe, gliny zwałowe oraz mułki i piaski zastoiskowe z recesji. Utwory zlodowacenia Sanu 2, udokumentowane w kilkudziesięciu otworach na całym obszarze arkusza, osiągają miąższość od kilku do 20,0 m.

Mułki, piaski i iły zastoiskowe wypełniają kopalne zastoiska. Występowanie większego kopalnego zastoiska, korelowanego z transgresją lądolodu zlodowacenia Sanu 2, stwierdzono w okolicach Wygody (otw. 45), Checheł (otw. 50), Jabłonowa (otw. 51) i Filipinowa (otw. 63). Miąższość pyłów, ilów i mułków wynosi tu od kilku do 17,0 m. Na utworach zastoiskowych znajdują się piaski i żwiry wodnolodowcowe oraz gliny zwałowe zlodowacenia Sanu 2. Iły zastoiskowe, o miąższości 4,0 m, wyróżniono też w Policznej (otw. 34).

Jedno z zastoisk znajduje się pomiędzy miejscowościami Jedlanka i Podzagajnik (przekrój geologiczny A–B). Osady zastoiskowe osiągają w nim miąższość od kilku do 10,0 m. Dokumentuje je otwór Niwki (otw. 69). Występują tu piaski pyłowate z laminami iłów o 83-procentowej zawartości frakcji pyłowej i iłowej, warstwowane horyzontalnie, przechodzące w piaski drobnoziarniste. Seria ta osiąga miąższość 4,4 m i leży bezpośrednio na mułkach paleocenu dolnego. Piaski te są bezwapniste. Ziarna kwarcu cechują się bardzo dobrym obtoczeniem ($R = 0,26–0,28$). Z osadów tych pobrano dwie próbki w celu zbadania składu minerałów ciężkich. Zawartość minerałów nieprzezroczystych (tlenków żelaza) waha się od 24,0 do 27,2%. Wśród minerałów przezroczystych dominują minerały bardzo odporne na wietrzenie – topaz (14,1–15,8%) i staurolit (14,0–16,3%) oraz średnio odporne granaty (9,1–11,5%). Zawartość amfiboli jest niewielka i wynosi od 2,2 do 3,2%. Taki skład minerałów wskazuje na dość odległe położenie zastoiska od czoła transgredującego lądolodu.

Nieduże kopalne zastoisko zostało stwierdzone w okolicach miejscowości Garbatka-Podlas (otw. 4). Piaski pyłowate, o miąższości 2,0 m, nawiercono tu na głębokości 23,2–25,2 m. Osady te leżą bezpośrednio na glinach zwałowych zlodowacenia Sanu 1. Zawartość frakcji pyłowo-iłowej wynosi 64,0%, a frakcji piaskowej – 24,0%. Ziarna kwarcu są dobrze obtoczone ($R = 0,45$). Zawartość węgla w wapnia jest znikoma.

P i a s k i i ż w i r y w o d n o l o d o w c o w e (dolne) odsłaniają się na powierzchni terenu w dolnej części bardzo łagodnej krawędzi doliny Wisły, w okolicach Zawady Starej i Zawady Nowej, gdzie zostały udokumentowane sondami ręcznymi. Koło Zawady Starej piaski i żwiry występują pod glinami zwałowymi zlodowacenia Sanu 2. Poza tym rejonem utwory wodnolodowcowe zostały udokumentowane licznymi otworami wiertniczymi na głębokości od kilkunastu do 40,0 m. Większe pola piasków i żwirów wodnolodowcowych, pochodzących z okresu transgresji lądolodu, zostały udokumentowane we wschodniej części obszaru arkusza w otworach: Czarnolas (otw. 43), Chechły (otw. 50), Jabłonowo (otw. 51), Wojciechówka (otw. 52, 56) i Grabów (otw. 92). Miąższość osadów wodnolodowcowych wynosi od kilku do 14,0 m. Na pozostałym obszarze piaski i żwiry stwierdzono w otworach: Żytkowice (otw. 15), Laski (otw. 27), i Zwoleń (otw. 70, 79). Ponadto zostały one udokumentowane w otworach kartograficznych Garbatka-Podlas (otw. 4) i Niwki (otw. 69).

W Garbatce-Podlas (otw. 4), na głębokości 17,0–23,0 m, stwierdzono 6-metrową serię piasków różnoziarnistych ze żwirami. Ziarna kwarcu są średnio obtoczone – $R = 0,53$. Skład minerałów ciężkich jest charakterystyczny dla osadów glacialnych. Udział granatów wynosi 32,0%, staurolitu – 15,2%, a amfiboli – 12,6%.

W Niwkach (otw. 69) stwierdzono piaski i żwiry wodnolodowcowe, o miąższości 3,0 m, leżące pod glinami zwałowymi zlodowacenia Sanu 2.

G l i n y z w a ł o w e tworzą na obszarze arkusza dość zwarte poziomy. Stwierdzono je w ponad 30 otworach wiertniczych, gdzie osiągają miąższość od kilku do kilkunastu metrów. Na powierzchni

odślaniają się w okolicach Zawady Starej, w dolnej części łagodnej krawędzi doliny Wisły, gdzie ich obecność została potwierdzona sondami ręcznymi. Jednorodny poziom glin zwałowych o miąższości kilku metrów rozpoznano między Niwkami a Helenówką (przekrój geologiczny A–B). Gliny zwałowe stwierdzono także w otworach kartograficznych: Podtętlów (otw. 26), Helenówka (otw. 55), Motarzyny (otw. 58) i Niwki (otw. 69). Między Helenówką a Wilczowolą gliny zostały usunięte przez procesy erozyjne. Mniej zwarte poziomy glin zwałowych zostały udokumentowane otworami: Garbatka-Podlas (otw. 8), Policzna (otw. 38, 39) oraz Wiczowola (otw. 49).

W Niwkach (otw. 69), na głębokości 20,5–21,7 m, stwierdzono szaroniebieskie gliny zwałowe o miąższości 1,2 m. Gliny te są silnie zwietrzałe i zawierają wyłącznie, odporne na wietrzenie, skały krystaliczne i kwarc.

W Motarzynie (otw. 58), na głębokości 14,5–20,5 m, stwierdzono szare gliny zwałowe, o miąższości 6,0 m leżące bezpośrednio na mułkach eocenu dolnego. Pobrano z nich cztery próbki w celu wykonania analiz petrograficznych. W dwóch próbkach z dolnej części warstwy występuje duża przewaga wapieni paleozoicznych nad skałami krystalicznymi, przy ponad 10-procentowym udziale skał lokalnych – głównie wapieni. Współczynniki petrograficzne tych glin osiągają wartości: $O/K = 1,88–1,74$; $K/W = 0,55–0,61$; $A/B = 1,48–1,68$. Takie współczynniki obserwuje się także w glinach zlodowacenia Nidy (Lisicki, 2003), dlatego nie można wykluczyć, że dolna warstwa glin jest porwakiem glin zlodowacenia Nidy. Dwie próbki pobrane z górnej części warstwy także różnią się od siebie wartościami współczynników petrograficznych i osiągają wartości: $O/K = 1,00–1,38$; $K/W = 0,75–1,04$; $A/B = 0,93–1,25$. Średnia z tych próbek wynosi: $O/K = 1,67$; $K/W = 0,64$; $A/B = 1,47$ i odpowiada litotypowi glin zwałowych zlodowacenia Sanu 2. Zawartość węgla wapnia w glinach wynosi 8,53%.

W Helenówce (otw. 55), w przedziale głębokości 24,3–25,8 m, znajduje się poziom szarych glin zwałowych o miąższości 2,1 m. Osady te znajdują się nad utworami plejstocenu dolnego, a pod piaskami zastoiskowymi zlodowacenia Odry. Skład petrograficzny tych glin cechuje się przewagą wapieni i dolomitów paleozoicznych nad skałami krystalicznymi, przy domieszce skał lokalnych (1,7%). Współczynniki petrograficzne glin osiągają wartości: $O/K = 2,19$; $K/W = 0,49$; $A/B = 1,81$. Powyższy obraz petrograficzny nie jest typowy dla litotypu glin zwałowych zlodowacenia Sanu 2 wyróżnionego przez Lisickiego (2003). Jest on bliższy litotypowi glin zwałowych zlodowacenia Nidy, jednakże korelacja przestrzenna glin na przekroju geologicznym A–B pozwala je wiązać ze zlodowaceniem Sanu 2.

W Wilczowoli (otw. 49), na głębokości 28,8–31,9 m, nawiercono blisko 3-metrowy poziom zaburzonych glaciektogenicznie szarych glin zwałowych (przekrój geologiczny A–B). Skład petrograficzny żwirów uzyskanych z tych glin został określony na podstawie badań dwóch próbek. Obraz petrograficzny pobranych próbek różni się od siebie. W dolnej próbce występuje równowaga skał wapiennych i krystalicznych, natomiast w próbce górnej wapień i dolomity paleozoiczne mają przewagę nad skałami krystalicznymi. Współczynniki petrograficzne glin osiągają wartości: $O/K = 1,32$;

$K/W = 0,83$; $A/B = 1,22$. Korelują się one ze współczynnikami określonymi dla litotypu petrograficznego glin zlodowacenia Sanu 2 (Lisicki, 2003). Zawartość węgla wapnia w glinach wynosi 7,26%.

W Podtetlowie (otw. 26) górna część 32-metrowego kompleksu glin zwałowych, od głębokości 24,1 do 36,1 m, jest związana ze zlodowaceniem Sanu 2. Z tego poziomu pobrano sześć próbek do badań petrograficznych. Skład petrograficzny glin jest jednorodny z wyjątkiem próbki ze stropu, która cechuje się zubożeniem skał wapiennych spowodowanym procesami erozji. Średnie współczynniki petrograficzne: $O/K = 1,25$; $K/W = 0,83$; $A/B = 1,17$ z pięciu próbek (próbka ze stropu warstwy została pominięta) odpowiadają wartościom litotypu glin zlodowacenia Sanu 2 na obszarze dorzecza Wisły. Zawartość węgla wapnia w glinach wynosi od 8,0 do 15,0%.

P i a s k i i ż w i r y w o d n o l o d o w c o w e (górne) wyznaczają szlaki odpływu wód fluwioglacjalnych w czasie recesji lądolodu zlodowacenia Sanu 2. Piaski i żwiry wodnolodowcowe, o miąższości od kilku do kilkunastu metrów, występują w rejonie miejscowości Policzna, Podtelów, Garbatka-Podlas, gdzie dokumentują je otwory wiertnicze 9, 31, 33 i 37 (przekrój geologiczny A–B). Utwory te wypełniają nieduże obniżenie erozyjne wycięte w piaskach miocenu. Piaski wodnolodowcowe stwierdzono również w kilku innych otworach w Policznej.

W Bartodziejach (otw. 104) nawiercono warstwę piasków drobnoziarnistych o miąższości 1,5 m. Ziarna kwarcu są średnio obtoczone ($R = 0,36$). W składzie minerałów ciężkich dominują granaty – 35,7%, przy udziale staurolitu – 10,8% oraz topazu i amfiboli – po 6,0%. Dominacja minerałów odpornych na niszczenie wskazuje na daleki transport osadów od czoła lądolodu.

W Wilczowoli (otw. 49) stwierdzono poziom piasków, o miąższości 4,5 m, ze żwirami w części spagowej. W składzie minerałów ciężkich także dominują granaty, przy niewielkim udziale amfiboli (6,5%).

M u ł k i i p i a s k i z a s t o i s k o w e kończą sekwencję osadów zlodowacenia Sanu 2. Stwierdzono je w otworach kartograficznych: Podtetłów (otw. 26), Niwki (otw. 69) i Bartodzieje (otw. 104) (przekrój geologiczny A–B). Ponadto mułki i piaski, o miąższości 16,5 m, zostały udokumentowane w otworze Policzna (otw. 34). Utwory te wypełniają nieduże kopalne zastoiska.

W Podtetlowie (otw. 26), na głębokości 14,4–24,1 m, stwierdzono warstwowane poziomo piaski pyłowate i drobnoziarniste. Dominuje w nich frakcja pyłowa i piaskowa. Zawartość węgla wapnia wynosi od 0,28 do 2,66% w spagu. Ziarna kwarcu cechują się słabym obtoczeniem. Wśród minerałów ciężkich dominują granaty (23,2–25,9%) i amfibole (14,2–18,1%). Minerale nieprzezroczyste stanowią od 26,6 do 30,5%. Taki skład minerałów ciężkich jest charakterystyczny dla środowiska glacialnego.

W Niwkach (otw. 69) nawiercono poziom piasków pyłowatych, o miąższości 2,5 m, laminowanych warstwowanymi poziomo piaskami drobnoziarnistymi. Utwory te znajdują się pomiędzy glinami zwałowymi zlodowaceń Sanu 2 i Liwca. Skład minerałów ciężkich jest podobny do uzyskanego w Podtetlowie. Granaty stanowią 31,2%, a amfibole – 13,9% wszystkich minerałów ciężkich. Ziarna kwarcu są słabo obtoczone ($R = 0,90$). Utwory te są bezwapniste.

W Bartodziejach (otw. 104) zastoiskowe piaski pyłowate i drobnoziarniste z przewarstwieniami mułków, o miąższości 8,7 m, stwierdzono na głębokości 30,0–38,7 m. Znajdują się one nad piaskami i żwirami wodnolodowcowymi Sanu 2, a pod piaskami i żwirami rzecznyymi interglacjału mazowieckiego. Wśród minerałów ciężkich dominują granaty – 27,0%, przy wysokim udziale amfiboli – 12,0% i staurolitu – 12,3%. Zawartość minerałów nieprzezroczystych wynosi 23,0%. Obtoczenie ziaren kwarcu jest średnie ($R = 0,54$).

Interglacjał wielki

Interglacjał mazowiecki

Piaski i żwiry rzeczne zostały stwierdzone w Podźebroku (otw. 40, 41). Miąższość tych osadów wynosi 27,0–28,0 m. Znajdują się one na linii uskoku tektonicznego, pod piaskami i żwirami wodnolodowcowymi oraz glinami zwałowymi zlodowacenia Odry (przekrój geologiczny A–B). Na podstawie analizy półszczegółowego zdjęcia grawimetrycznego można przypuszczać, że przebieg kopalnej doliny kontynuuje się w kierunku zachodnim. Piaski i żwiry rzeczne interglacjału mazowieckiego stwierdzono też w Zwoleniu (otw. 98) i Grabowie (otw. 94). Miąższość osadów wynosi tam odpowiednio 20,0 i 6,0 m. Znajdują się one w osi kopalnej doliny, która kontynuuje się na obszarze arkusza Ciepiałów. W miejscowości Miodne (otw. 72) udokumentowano serię piasków różnoziarnistych, o miąższości 24,0 m, jednak pozycja stratygraficzna tych osadów nie jest pewna. We wschodniej części obszaru arkusza, w Mieczysławowie (otw. 68) i Władysławowie (otw. 57), wyróżniono piaski i żwiry o miąższości odpowiednio 7,5 i 19,5 m. Stanowią one dowód na istnienie dobrze rozwiniętej sieci rzecznej kopalnej doliny Wisły, udokumentowanej na terenach sąsiednich arkuszy (Żarski, 2002). Do osadów rzecznych interglacjału mazowieckiego zaliczono też serie rzeczne w Żytkowicach (otw. 5, 20), Ponikwie (otw. 17), Anielówce (otw. 29) i Garbatce-Letnisku (otw. 19).

W Bartodziejach (otw. 104) stwierdzono 2-metrową warstwę piasków i żwirów na głębokości 28,0–30,0 m. W składzie minerałów ciężkich dominują granaty – 39,6% nad staurolitem – 8,5%, turmalinami – 7,7% i amfibolami – 6,0%. Zawartość minerałów nieprzezroczystych wynosi 19,1%. Współczynnik obtoczenia ziaren $R = 0,27$. Wszystkie te cechy świadczą o rzecznej genezie opisywanych osadów.

Osadów jeziornych interglacjału mazowieckiego na obszarze arkusza nie stwierdzono. Są one znane z terenów sąsiednich arkuszy Ciepiałów (Złonkiewicz, 2001, 2002), Pionki (Kucharska, 2009), Radom (Jaśkowski i in., 1992) i Wierzbica (Barcicki, 1988, 1990). Zostały udokumentowane palinologicznie jedynie w Bielinach na obszarze arkusza Pionki (Kucharska, 2009).

Zlodowacenie Liwca

Zasięg występowania utworów zlodowacenia Liwca ogranicza się do strefy doliny Wisły. Osady tego zlodowacenia występują również na terenie arkusza Kozienice (Żarski, 1996a, b). Na obszarze

arkusza Zwoleń są reprezentowane przez piaski i żwiry wodnolodowcowe, piaski i mułki zastoiskowe oraz gliny zwałowe.

P i a s k i i ż w i r y w o d n o l o d o w c o w e odsłaniają się na powierzchni terenu, na łagodnym stoku doliny Wisły, pomiędzy miejscowościami Kociołek–Bąkowiec–Garbatka-Długa. Osiągają miąższość od kilku do 10,0 m i występują na wysokości 130,0–140,0 m n.p.m. W składzie osadów wodnolodowcowych przeważają piaski średnio- i drobnoziarniste. Utwory te zostały udokumentowane licznymi sondami ręcznymi i mechanicznymi. Wschodnie piasków i żwirów kontynuują się w kierunku północnym na terenie arkusza Kozienice. Utwory wodnolodowcowe zostały stwierdzone w północnej części obszaru arkusza koło Garbatki-Podlas (otw. 4, 8, 9, punkty dok. 1, 2, 3 — przekrój geologiczny A–B).

W Garbatce-Podlas (otw. 4) wyróżniono słabo wysortowaną serię piasków i żwirów o miąższości 8,2 m (głęb. 8,8–17,0 m). Utwory te znajdują się pod osadami zastoiskowymi zlodowacenia Liwca, a nad utworami wodnolodowcowymi zlodowacenia Sanu 2. W składzie minerałów ciężkich dominują amfibole – 31,6%, przy udziale granatów – 18% i staurolitu – 8,3%. Taki skład minerałów wskazuje na powstanie osadów w środowisku fluwioglacjalnym. Ziarna kwarcu są dobrze obtoczone.

W Bartodziejach (otw. 104), w przedziale głębokości 25,0–28,0 m, wyróżniono 3-metrową serię piasków różnoziarnistych ze żwirami. W składzie minerałów ciężkich dominują amfibole – 45,0%, przy udziale topazu – 16,9% i granatów – 8,9%. Wysoki udział amfiboli wskazuje na bardzo bliski transport wód z lądolodu. Ziarna kwarcu są dobrze obtoczone. Osady wodnolodowcowe są bezwapniste.

P i a s k i i m u ł k i z a s t o i s k o w e nie odsłaniają się na powierzchni terenu. Stwierdzono je jedynie w północnej części obszaru arkusza. Mułki z przewarstwieniami piasków pyłowych zostały udokumentowane w otworze kartograficznym Garbatka-Podlas (otw. 4), a także w dwóch otworach archiwalnych: Garbatka-Letnisko (otw. 1) i Garbatka (otw. 3) .

Osady zastoiskowe w Garbatce-Podlas (otw. 4) stwierdzono na głębokości 4,6–8,8 m. Ich strop znajduje się na wysokości około 147,4 m n.p.m. Utwory te występują się bezpośrednio pod glinami zwałowymi zlodowacenia Liwca. W składzie minerałów ciężkich dominują granaty – 33,2%, przy udziale amfiboli – 13,3% i staurolitu – 9,3%. Minerale nieprzezroczyste stanowią około 26% wszystkich minerałów ciężkich. Skład minerałów ciężkich potwierdza ich genezę związaną ze środowiskiem glacialimicznym. Wśród ziaren kwarcu są ziarna zarówno dobrze obtoczone, jak i nieobtoczone – $R = 0,38-2,09$.

W otworze Bóbek (ark. Kozienice), tuż przy północnej granicy terenu arkusza Zwoleń, Butrym (1992) określił wiek osadów zastoiskowych, o miąższości 1,0 m, na 372 ± 55 tys. lat BP.

G l i n y z w a ł o w e odsłaniają się na powierzchni omawianego obszaru w łagodnej krawędzi doliny Wisły, między Zawadą Nową a Garbatką-Długą i kontynuują się w kierunku północnym na terenie arkusza Kozienice. Wschodnie gliny występują wypow. Przykryte są piaskami i żwirami wod-

nolodowcowymi zlodowacenia Odry, których miąższość nie przekracza 2,0 m. Strop tych osadów występuje przeważnie na wysokości około 145 m n.p.m. Ponadto gliny zwałowe wyróżniono w dolinie Zagożdżonki koło Janusznia i jej bocznym dopływie w Trupieniu. Gliny zwałowe stwierdzone w otworach w Garbatce-Długiej (otw. 5, 6), na głębokości od 4,5 do 6,0 m, osiągają maksymalne miąższości 10,0 m. Na wysoczyznach strop tych osadów znajduje się przeważnie na głębokości kilkunastu metrów (Żytkowice, otw. 17, 22, 25). W Garbatce-Podlas (otw. 1, 4, 8; punkt dok. 2) gliny zwałowe zostały zredukowane i ich miąższość nie przekracza 2,0 m (przekrój geologiczny A–B).

W Garbatce-Podlas (otw. 4) stwierdzono silnie zwietrzałe gliny z przewarstwieniami piasków pyłowych ze żwirami. Osady te nie nadawały się do badań petrograficznych ze względu na niewielką miąższość. Występują one pod piaskami i żwirami wodnolodowcowymi zlodowacenia Odry, a na utworach zastoiskowych zlodowacenia Liwca.

W Niwkach (otw. 69), na głębokości 17,5 m, nawiercono poziom reagujących z HCl szarych glin zwałowych o miąższości 0,5 m. Ich strop jest położony na wysokości 154,5 m n.p.m. – o kilka metrów wyżej niż w Garbatce-Podlas. Ze względu na małą miąższość nie pobrano z nich próbki do badań petrograficznych. Gliny te stanowią drugi, po glinach zlodowacenia Odry, poziom glacialny w tym otworze.

Gliny zwałowe w otworze Bóbek (ark. Kozienice), tuż przy północnej granicy terenu arkusza Zwoleń, były datowane metodą termoluminescencji (TL) – ich wiek określono na 354 ± 53 tys. lat BP.

Interglacja Zbójna

P i a s k i i ż w i r y r z e c z n e stwierdzono w otworze kartograficznym Bartodzieje (otw. 104). Utwory te występują tu na głębokości 22,0–25,0 m. Piaski są laminowe humusem. Znajdują się one pomiędzy piaskami i żwirami wodnolodowcowymi zlodowaceń Odry i Liwca. W składzie minerałów ciężkich dominują granaty – 45,3%, przy udziale amfiboli – 7,9% i staurolitu – 5,7%. Minerale odporne na wietrzenie przeważają 8-krotnie nad minerałami nieodpornymi, co świadczy o długim transporcie osadów.

Rzeczne osady interglacjału Zbójna zostały również stwierdzone w otworze w Kajzerówce (ark. Kozienice), tuż przy północnej granicy obszaru arkusza Zwoleń. Występują tam piaski, żwiry i mułki o kilkunastometrowej miąższości.

Zlodowacenia środkowopolskie

Utwory zlodowaceń środkowopolskich są najbardziej powszechne na obszarze omawianego arkusza, gdzie budują jego przypowierzchniową strefę.

Zlodowacenie Odry

Osady zlodowacenia Odry są reprezentowane przez utwory zastoiskowe i wodnolodowcowe, gliny zwałowe oraz osady moren martwego lodu, ozów i kemów. Miąższość kompleksu utworów zlodowacenia Odry dochodzi do 30 m.

Piaski z domieszką piasków pyłowatych wodnolodowcowe odsłaniają się w krawędzi doliny Wisły i jej dopływów w okolicach Bierdzieży, Zawady Starej i Garbatki-Dziwiątki. Miąższość piasków wynosi kilkanaście metrów. Osady te były akumulowane w warunkach spokojnego przepływu.

Piaski i żwiry wodnolodowcowe (dolne) występują w większości otworów na obszarze arkusza Zwoleń. Są udokumentowane bardzo licznymi sondami ręcznymi i mechanicznymi oraz odsłonięciami. Występują zwykle pod glinami zwałowymi zlodowacenia Odry (przekrój geologiczny A–B). Piaski i żwiry odsłaniają się szeroką strefą wzdłuż doliny Strugi Polickiej, od Wólki Polickiej po Garbatkę-Zbyczyn, a także w łagodnej krawędzi doliny Wisły, w okolicy Zawady Nowej, Zawady Starej i Bierdzieża. Ponadto osady te występują w krawędzi doliny Zagożdżonki koło Januszna, Krypianki (Brzeźniczki) w Garbatce-Letnisku oraz na całej długości dolin Zwoleńki i Plewki. Miąższość utworów wodnolodowcowych dochodzi do 20,0 m. W Gródku Starym znajduje się odsłonięcie tych osadów (punkt dok. 7), reprezentujących dystalną strefę rzeki roztokowej. Miąższość warstwowych przekątnie piasków dochodzi tu do 7,0 m. Osady te zapadają pod kątem 20° w kierunku wschodnim. W Bierdzieżu (punkt dok. 9) odsłaniają się żwiry i piaski o miąższości 5,0 m. Reprezentują one głównie środowisko proglacialnej rzeki roztokowej. W Starej Zielonce (punkt dok. 41), w odkrywce usytuowanej w krawędzi doliny Zwoleńki, odsłaniają się piaski i żwiry, miejscami leżące pod glinami spływowymi zlodowacenia Odry.

Z odsłoneń w Gródku Starym i Starej Zielonce pobrano próbki do badań na oznaczenia wieku bezwzględnego metodą OSL. Z próbek w Gródku-Starym otrzymano wyniki 100 ± 64 i 132 ± 12 tys. lat BP (GdTL1062-1063²; Bluszcz, 2009), a w Starej Zielonce odpowiednio $95,9 \pm 44$ i $75,2 \pm 49$ tys. lat BP (GdTL 1065–1066). Otrzymane wyniki różnią się o około 100 tys. lat od powszechnie przyjmowanego wieku dla osadów zlodowacenia Odry. W trakcie prac wykopaliskowych na stanowisku archeologicznym w Zwoleniu (punkt dok. 36) do datowania bezwzględnego metodą TL zostały pobrane próbki z piasków wodnolodowcowych, odsłaniających się pod glinami zwałowymi zlodowacenia Odry (Sihld, 2005). Otrzymano dwa sprzeczne wyniki – 74 i 482 tys. lat BP. Na takie wartości wieku utworów, które są w sprzeczności z interpretacją geologiczną, mogły mieć wpływ procesy stokowe.

Zwartym obszarem występowania piasków i żwirów wodnolodowcowych jest rejon między Jedlanką a Niwkami oraz teren pomiędzy Ostrowami a Bartodziejami (przekrój geologiczny A–B). Piaski i żwiry wodnolodowcowe stwierdzono też w otworach kartograficznych: Garbatka-Podlas (otw. 4), Podtętlów (otw. 26), Niwki (otw. 69) i Bartodzieje (otw. 104).

² Numer laboratoryjny próbki.

W Garbatce-Podlas (otw. 4) piaski i żwiry występują na powierzchni terenu. Ich miąższość wynosi 2,0 m. Wśród minerałów ciężkich dominują granaty – 35,3%, przy udziale amfiboli – 13,3% i staurolitu – 6,3%. Współczynnik obtoczenia ziaren $R = 0,57$. Wszystkie te cechy wskazują na akumulację w środowisku dystalnej części rzeki fluwioglacjalnej.

W Podtetlowie (otw. 26) miąższość osadów wodnolodowcowych wynosi kilka metrów. Osady te występują pod utworami zastoiskowymi i glinami zwałowymi zlodowacenia Odry. Utwory wodnolodowcowe kontynuują się aż do Policznej i Wilczowoli.

W Niwkach (otw. 69), na głębokości 14,0 m, stwierdzono warstwę piasków wodnolodowcowych o miąższości 3,5 m. Minimalny uzysk rdzenia nie pozwolił na wykonanie podstawowych badań litologiczno-mineralogicznych.

W Bartodziejach (otw. 104) piaski i żwiry wodnolodowcowe, o miąższości 6,0 m, znajdują się pod 16-metrowym kompleksem glin zwałowych zlodowacenia Odry. Wśród piasków przeważają piaski średnioziarniste, które stanowią około 50% całości utworów. Osady te są bezwapniste. Ziarna kwarcu są dobrze obtoczone – $R = 0,14-0,16$. Nie jest wykluczone, że osady te były akumulowane przez rzekę w warunkach peryglacjalnych.

Iły i mułki zastoiskowe na powierzchni obszaru arkusza Zwoleń odsłaniają się we wschodniej części badanego terenu, w krawędzi doliny Zwolanki, w okolicach Tartaku. Osady te kontynuują się na terenie arkusza Puławy, gdzie wypełniają rozległe kilkunastokilometrowe kopalne zastoisko. Iły zastoiskowe występują poniżej glin zwałowych we wschodniej części obszaru arkusza, w Czarnolesie (otw. 42, 44), Wojciechówce (otw. 52), Strykowicach Górnych (otw. 65) i Zwoleniu (otw. 74). Miąższość iłó w i mułków zastoiskowych wynosi od 1,0 m do 6,0 m.

Piaski pyłowate i piaski zastoiskowe są równowiekowe z iłami i mułkami zastoiskowymi. Różnice wykształcenia utworów wynikają z odmiennych warunków sedymentacji. Do zastoisk transportowana była większa ilość materiału terygenicznego. Piaski zastoiskowe odsłaniają się na powierzchni terenu wzdłuż doliny Strugi Polickiej, a także w krawędzi dopływu Zwolanki, w okolicach Piątkowa. Osady zastoiskowe zostały udokumentowane sondami ręcznymi w obniżeniu dolinnym w Bóbkę. W okolicach Januszną występują pod osadami rezydualnymi glin zwałowych zlodowacenia Odry.

Piaski zastoiskowe stwierdzono w ponad 30 otworach na obszarze arkusza Zwoleń. Utwory te występują zwykle pod glinami zwałowymi, tworząc zwarte powierzchnie. Stwierdzono je m.in. w pięciu otworach wiertniczych w Zwoleniu (otw. 67, 72, 74, 83, 85). Miąższości piasków są zróżnicowane i wynoszą od kilku do 17,0 m (otw. 67). W odsłonięciach stwierdzono także występowanie piasków zastoiskowych pod piaskami i żwirami wodnolodowcowymi. Ponadto serię piasków zastoiskowych, o miąższości 23,0 m, stwierdzono w otworach we wschodniej części badanego terenu, w Jabłonowie (otw. 56), Władysławowie (otw. 57), Wojciechówce (otw. 52) i Wygodzie (otw. 45). W zachodniej

części terenu arkusza utwory zastoiskowe są słabiej udokumentowane, prawdopodobnie z powodu mniejszej ilości wykonanych otworów wiertniczych. Piaski zastoiskowe stwierdzono też w otworach kartograficznych: Podtetłów (otw. 26), Helenówka (otw. 55) i Motarzyny (otw. 58).

W Podtetłowie (otw. 26), na głębokości 9,5 m, stwierdzono piaski pyłowate, które na głębokości 10,8 m przechodzą w piaski drobnoziarniste z domieszką piasków pyłowatych. Osady te nie reagują z HCl. Spąg serii znajduje się na głębokości 12,7 m. Ziarna kwarcu cechują się słabym obtoczeniem ($R = 1,21-1,44$). Zawartość węglanów wapnia jest znikoma i wynosi 0,95%.

W Helenówce (otw. 55) piaski pyłowate i drobnoziarniste osiąają miąższość 7,3 m i znajdują się w przedziale głębokości 17,4–23,7 m. Ziarna kwarcu są nieobtroczone. Zawartość węglanu wapnia wynosi 0,44%. Wśród minerałów ciężkich dominują amfibole – 29,7 %, przy udziale granatów – 17,5 % i dystenu – 4,2 %. Skład minerałów ciężkich wskazuje, że sedymentacja piasków odbywała się w bliskiej odległości od czoła lądolodu. Piaski zastoiskowe w tym rejonie rozciągają się szeroką strefą pomiędzy Wilczowolą, Helenówką, Motarzynami i Jedlanką (przekrój geologiczny A–B).

W Motarzynach (otw. 58) piaski pyłowate, o miąższości 5,1 m, rozdzielają gliny zwałowe zlodowaceń Odry i Sanu 2. Osady te mają charakterystyczny zielonkawoszary odcień, wynikający z domieszek glaukonitu (powyżej 1,3% składu minerałów ciężkich) i chlorytów (12,5–13,9% składu minerałów ciężkich). Podobnie jak w Helenówce dominują tu amfibole – od 33,8 do 44,4%. Występuje także od 6,3 do 8,9% biotyту. Taki skład minerałów sugeruje zastoiskową genezę osadów.

Gliny zwałowe odsłaniają się na całej powierzchni terenu arkusza Zwoleń, z wyjątkiem części zachodniej, gdzie znajdują się pod przykryciem piasków eolicznych bądź wodnolodowcowych. Na mapie geologicznej w miejscach, gdzie ich miąższość nie przekracza 2,0 m przedstawione są jako leżące na piaskach i żwirach wodnolodowcowych oraz na piaskach pyłowatych i piaskach zastoiskowych zlodowacenia Odry. Gliny zwałowe zostały udokumentowane bardzo licznymi sondami ręcznymi i mechanicznymi, a także rozpoznane w prawie wszystkich otworach archiwalnych i kartograficznych. Stanowią one najważniejszy poziom glacialny. Na obszarze sąsiedniego arkusza Puławy (Żarski, 1998a, b) wydzielono dwa poziomy glin zwałowych zlodowacenia Odry – dolny i górny. Na terenie arkusza Zwoleń nie ma podstaw do ich rozdzielenia. Miąższość glin zwałowych wynosi przeważnie 10,0–12,0 m, a maksymalnie dochodzi do 22,0 m w Grabowie (otw. 94) i 20,5 m we Władysławowie (otw. 61). Podczas prowadzonych wykopalisk archeologicznych w krawędzi doliny Zwolenki w Zwoleniu były wykonane datowania wieku bezwzględne metodą TL trzech próbek glin zwałowych z głębokości około 1 m (Schild, 2006) – punkt dokumentacyjny 36. Wiek tych próbek wahał się pomiędzy 436 a 485 tys. lat BP i odbiegał od powszechnie przyjmowanego dla tego okresu. W związku z powyższym nie można wykluczyć, że są to gliny Sanu 2.

W Podtetlowie (otw. 26) miąższość brązowych glin zwałowych wynosi 9,5 m. Z poziomu tego pobrano trzy próbki do badań petrograficznych. Dwie próbki z górnej części profilu wykazały duże podobieństwo, wyrażające się przewagą wapiennych skał północnych nad skałami krystalicznymi i kwarcem. Próbka z dolnej części charakteryzowała się dużą przewagą skał krystalicznych i redukcją skał węglanowych. Średnie współczynniki petrograficzne obliczone z dwóch próbek wynoszą: $O/K = 1,84$; $K/W = 0,55$; $A/B = 1,84$ i są zbliżone do litotypu glin zwałowych zlodowacenia Odry określonego przez Lisickiego (2003), lecz nieco odbiegają od charakterystyki petrograficznej według Żarskiego (2002). Zawartość węglanu wapnia w glinach wynosi od 3,0 do 14,5%.

W Wilczowoli (otw. 49) gliny, o miąższości 13,2 m, znajdują się pod piaskami wodnolodowcowymi i eolicznymi. Charakteryzują się one dużą jednorodnością petrograficzną, z wyjątkiem próbki stropowej i spągowej. Średnie wartości współczynników petrograficznych przedstawiają się następująco: $O/K = 2,22$; $K/W = 0,48$; $A/B = 2,04$ (współczynniki ze zwietrzałych glin w obliczaniu średnich zostały pominięte) i dobrze korelują się z wynikami badań dla rejonu dorzecza Wisły (Lisicki, 2003). Zawartość węglanu wapnia w tych osadach wynosi 12,5%.

Gliny zwałowe z Helenówki (otw. 55) zostały stwierdzone na głębokości 2,5–17,4 m. Na głębokości od 13,2 m do 14,9 m występuje wkładka osadów zastoiskowych. Pod względem petrograficznym w glinach zaznacza się przewaga wapieni i dolomitów paleozoicznych nad skałami krystalicznymi i kwarcem. Średnie wartości współczynników petrograficznych tych glin: $O/K = 1,76$; $K/W = 0,72$; $A/B = 1,60$ nieco odbiegają od stwierdzonych w dwóch poprzednich otworach.

Gliny zwałowe w Motarzynach (otw. 58), Niwkach (otw. 69) i Bartodziejach (otw. 104) cechują się bardzo zbliżonymi do siebie współczynnikami petrograficznymi. Wynoszą one: $O/K = 1,49$; $K/W = 0,72$; $A/B = 1,42$ w Motarzynach, $O/K = 1,64$; $K/W = 0,67$; $A/B = 1,48$ w Niwkach i $O/K = 1,68$; $K/W = 0,68$; $A/B = 1,59$ w Bartodziejach. W glinach tych zaznacza się przewaga północnych skał wapiennych nad skałami krystalicznymi. Wskaźniki petrograficzne z Motarzyn, Niwek i Bartodziejów nieco się różnią od wyników z Podtelowa i Wilczowoli, a tym samym od litotypu glin zwałowych zlodowacenia Odry określonego przez Lisickiego (2003), ale są podobne do wyników badań petrograficznych uzyskanych z otworów na terenie arkusza Puławy (Żarski, 1998a, b). W Motarzynach (otw. 58) gliny osiągają miąższość 5,6 m i występują pod piaskami eolicznymi i wodnolodowcowymi o grubości 4,5 m. W Niwkach (otw. 69) gliny zwałowe o miąższości 10,0 m i są przykryte 4-metrową warstwą piasków i żwirów wodnolodowcowych. W Bartodziejach (otw. 104) gliny osiągają miąższość 15,0 m. Nad glinami znajduje się cienka (1,0 m) warstwa piasków zwietrzelinowych.

P i a s k i i ż w i r y o z ó w. Z piasków i żwirów jest zbudowana podłużna forma znajdująca się w osi doliny Plewki. Powstała ona w wyniku akumulacji osadów piaszczysto-żwirowych w szczelinie lodowej, w łądolodzie zlodowacenia Odry. Jest to podłużne wzgórze o długości ponad 300 m, szerokości do 50 m i wysokości względnej kilku metrów. W niedużej odkrywce, od głębokości 1,0 m, odsłaniają się

żwiry o masywnej strukturze, przykryte piaskami drobnoziarnistymi z pyłami. W drugim odsłonięciu stwierdzono przekątnie warstwowane piaski drobnoziarniste, o miąższości 1,7 m, ze żwirami w stropie.

P i a s k i i m u ł k i k e m ó w stwierdzono koło Łagowa, na granicy z obszarem arkusza Puławy. Jest to niewielki pagórek zbudowany głównie z piasków drobnoziarnistych, z mułkami w spągu.

Ż w i r y, p i a s k i i g ł a z y m o r e n m a r t w e g o l o d u budują 23 wzniesienia na obszarze całego arkusza Zwolen. W największej tego typu formie w Janusznie (osiągającej 10 m wysokości) piaski różnoziarniste ze żwirami mają miąższość 6,0 m. Miejscami osady piaszczyste są przykryte glinami zwałowymi o miąższości 4,0 m. Nie wykluczone, że akumulacja piasków i żwirów odbywała się w szczelinie, która następnie została wypełniona martwym lodem. Na powierzchni występują bardzo liczne głazy ze Skandynawii. Miąższość piasków różnoziarnistych ze żwirami, budujących morenę martwego lodu w Garbatce-Zbyczynie, wynosi 2,2 m. Poniżej występują piaski drobnoziarniste. Na południe od Zwolenia, w niedużym odsłonięciu, udokumentowano głazy ze żwirami i piaskami różnoziarnistymi o strukturze masywnej i miąższości 1,3 m. Poniżej tej głębokości stwierdzono gliny zwałowe. W Niwkach występują żwiry, piaski i gliny oraz piaski pyłowate ze żwirami. Skład litologiczny pozostałych moren martwego lodu jest podobny – przeważa materiał żwirowo-piaszczysty o strukturze masywnej, z głazami na powierzchni.

P i a s k i p y ł o w a t e i m u ł k i z a s t o i s k o w e zostały stwierdzone w południowej części obszaru arkusza, w rejonie Zwolenia, Paciorkowej Woli, Starego Grabowa, Nowego Grabowa, Starego Zamościa i Karczonek Łagowskich. Utwory te zostały udokumentowane sondami ręcznymi. Piaski pyłowate przeważnie osiągają miąższość około 1 m i zalegają na mułkach. Utwory te zostały przewiercone w Starym Grabowie, gdzie występują na glinach zwałowych zlodowacenia Odry. Miąższość osadów zastoiskowych może dochodzić do kilku metrów. Pola piasków i mułków zajmują nieduże powierzchnie. Ich akumulacja odbywała się w niewielkich zagłębieniach terenu podczas deglacjacji lądolodu. Większość z nich jest położona na glinach zwałowych zlodowacenia Odry. Jedynie koło Zwolenia utwory zastoiskowe występują na piaskach wodnolodowcowych.

P i a s k i w o d n o l o d o w c o w e, głównie drobno- i średnioziarniste, dokumentują litofację piaskodennej rzeki roztokowej, która odprowadzała wody z odległego lądolodu – najbliższa niezniszczona morena czołowa została stwierdzona na obszarze arkusza Kozienice, kilkanaście km na północ od badanego terenu. Piaski te mają złożoną genezę. Pierwotnie powstały w warunkach peryglacjalnych, następnie były intensywnie przewiewane, po czym wtórnie akumulowane w korytach rzek roztokowych. Piaski drobnoziarniste stwierdzono na południu obszaru arkusza Zwolen, w okolicach Osin, na południowym wschodzie, koło Wólki Zamojskiej, Michalina, Władysławowa i Jabłonowa, a także w centralnej części terenu badań, między Wojciechówką a Jadwinowem. Ponadto piaski wodnolodowcowe występują w zachodniej części obszaru arkusza, koło Koszar i Trupienia, oraz północno-zachodniej – od Patkowa po Anielówkę.

Mięszczość piasków wodnolodowcowych wynosi najczęściej kilka metrów. W miejscach gdzie nie przekracza ona 2,0 m osady te są przedstawione na mapie geologicznej jako leżące na glinach zwałowych zlodowacenia Odry (okolice Osin, Wólki Zamojskiej, Michalina, Władysławowa, Wojciechówki i Trupienia). W okolicach Koszar występują pod cienką (do 2,0 m) warstwą piasków eolicznych.

W Wilczowoli (otw. 49) piaski wodnolodowcowe znajdują się na głębokości 3,1–4,5 m. Powyżej znajdują się piaski eoliczne. W piaskach wodnolodowcowych przeważa frakcja piaskowa o wielkości ziaren w przedziale 0,50–0,25 mm (średnioziarnista) – 44,4%, przy udziale frakcji 0,25–0,10 mm (drobnoziarnistej) – 29,8%. Ziarna kwarcu są średnio obtoczone ($R = 0,57$). W składzie minerałów ciężkich dominują granaty – 36,0%, przy wysokim udziale amfiboli – 22,6% i domieszce staurolitu. Taki skład minerałów ciężkich sugeruje powstawanie osadów w środowisku fluwioglacjalnym.

W Motarzynach (otw. 58) pod piaskami eolicznymi, na głębokości od 2,5 do 4,5, stwierdzono piaski wodnolodowcowe. Zawartość węgla wapnia w tych utworach jest znikoma i wynosi 0,42%. W składzie minerałów ciężkich dominują granaty – 36,2%, przy udziale amfiboli – 8,3% i domieszkach turmalinów, cyrkonów i granatów – po 5,6%. W wyniku długiego transportu osadów nastąpiła znaczna redukcja minerałów nieodpornych na niszczenie.

Próbki do badań litologiczno-petrograficznych i mineralogicznych pobrano z piasków odsłaniających się na powierzchni terenu, z wierceń wykonanych sondą ręczną oraz odkrywek. Piaski średnio- i drobnoziarniste przeważają w dwóch próbkach pobranych z okolic Anielówki, w zachodniej części obszaru arkusza. Wśród minerałów ciężkich dominują granaty – 40,0%, przy udziale amfiboli – 10,0–15,0% i cyrkonów – 9,5–12,7%. W próbkach z Patkowa dominują piaski średnio- i drobnoziarniste, przy udziale piasków pyłowych (6,0–24,0%). W składzie minerałów ciężkich przeważają granaty – 53,0%, przy niewielkim udziale amfiboli – 6,0–7,0%. Mięszczość piasków wynosi tu 6,5 m. Analiza składu minerałów ciężkich wskazuje na daleki transport osadów, podczas którego zachowały się głównie minerały odporne na niszczenie. Osady te prawdopodobnie były przewiewane, a następnie transportowane przez wody glacialne. Skład minerałów ciężkich pomiędzy utworami wodnolodowcowymi a eolicznymi nie wykazuje zasadniczych różnic.

Piaski i żwiry wodnolodowcowe odsłaniają się na powierzchni w południowo-zachodniej części obszaru arkusza, pomiędzy Zwoleniem a Hutą, a także na południowym wschodzie, w okolicach Wólki Zamojskiej, i północnym zachodzie, koło Lasek. Piaski i żwiry zostały udokumentowane licznymi sondami ręcznymi, pojedynczymi sondami mechanicznymi i nielicznymi odkrywkami. W okolicach Huty piaski i żwiry wykazują duże zapylenie w części stropowej. W niedużej odkrywce w Linowie (punkt dok. 29) odsłaniają się warstwowe horyzontalnie żwiry i piaski różnoziarniste. W składzie mineralno-petrograficznym frakcji piaskowej 1,0–0,5 mm (gruboziarnistej) znajduje się 76,8% kwarcu i 22,0% skał krystalicznych (Kenig, 2009). Większość ziaren ma po-

wierzchnię matową. Notuje się wysoką zawartość ziaren kanciastych. Taka charakterystyka osadów wskazuje na ich fluwioglacjalne pochodzenie. W utworach tych są rozwinięte kliny mrozowe dokumentujące ochłodzenia, prawdopodobnie zlodowacenia Warty lub Wisły. Osady wypełniające te kliny charakteryzują się bardzo słabym obtoczeniem ziaren kwarcu, wykazującym cechy wietrzenia mrozowego. W okolicy Wólki Zamojskiej, w niedużych odsłonięciach, znajdują się piaski średnio- i drobnoziarniste z pojedynczymi żwirami (do 2,5 cm średnicy). Generalnie przeważają jednak piaski średnioziarniste, miejscami różnoziarniste ze żwirami. W okolicach Lasek utwory wodnolodowcowe, o miąższości poniżej 2,0 m, leżą na glinach zwałowych zlodowacenia Odry. Piaski i żwiry wodnolodowcowe zostały udokumentowane w otworze kartograficznym Niwki (otw. 69), a także w punktach dokumentacyjnych 30 i 31 (przekrój geologiczny A–B). W punkcie dokumentacyjnym 31 stwierdzono warstwę piasków drobno- i średnioziarnistych ze żwirami o miąższości 4,8 m.

W Niwkach (otw. 69) stwierdzono 4-metrowy poziom słabo przemytych, bezwapnistych piasków różnoziarnistych ze żwirami. Granulometrycznie w utworach tych przeważają piaski średnioziarniste, z ponad 20-procentowym udziałem piasków drobno- i gruboziarnistych oraz domieszką żwirów (do 10%). Ziarna kwarcu są nieobtroczone ($R = 1,38$).

Zlodowacenie Warty

Doliny rzek na obszarze arkusza Zwoleń, poza doliną Wisły, prawdopodobnie zaczęły tworzyć się w czasie recesji zlodowacenia Warty. Podczas prac wykopaliskowych w krawędzi doliny Zwolenki (punkt dok. 36) zostały wyróżnione piaski, piaski pyłowe, żwiry i piaski ze żwirami rzeczno-peryglacjalne. Piaski i piaski pyłowe były deponowane w warunkach wolnego przepływu, natomiast żwiry i piaski ze żwirami – w czasie przepływów wysokoenergetycznych. W tym okresie zachodziły także intensywne procesy erozji. W osadach tych stwierdzono liczne kliny mrozowe. Dla piasków wykonano datowania wieku bezwzględnego metodą TL i otrzymano wyniki od 207 do 153 tys. lat BP. Większość wyników oscylowała jednak wokół wartości 150 tys. lat BP (Shild, 2006). Utworów tych w czasie kartowania geologicznego nie stwierdzono na powierzchni terenu.

*

* *

Piaski i żwiry wodnolodowcowe występują przy granicy z obszarem arkusza Kozienice, gdzie zajmują większą część powierzchni Puszczy Kozienickiej. Osiągają miąższość od kilku do kilkunastu metrów. Są to prawdopodobnie tak samo wykształcone piaski i żwiry zlodowaceń Odry i Warty. Piaski i żwiry wodnolodowcowe na obszarze sąsiedniego arkusza Kozienice występują na glinach zwałowych zlodowacenia Odry. Ich pozycja może sugerować, że były one akumulowane w cza-

się recesji lądolodu tego zlodowacenia. Również podczas zlodowacenia Warty w dolinach rzek zachodziła akumulacja osadów piaszczystych.

W dolinie Krypianki (Brzeźniczki), w jej przełomowym odcinku w Garbatce-Letnisku, określono wiek stropu piasków wodnolodowcowych metodą TL na 111 ± 24 tys. lat BP (Jaśkowski, 1998a, b). Odslaniające się u podnóża skarpy, leżące pod piaskami wodnolodowcowymi, mułki zastoiskowe również poddano badaniom TL i otrzymano wynik 163 ± 65 tys. lat BP (Jaśkowski, 1998a, b). Uzyskane daty są bliższe okresowi zlodowacenia Warty, lecz nie można wykluczyć ich odmłodzenia procesami wietrzeniowymi.

Interglacjał eemski

Interglacjał eemski na badanym terenie jest reprezentowany przez mułki i torfy jeziore. Na obszarze arkusza Zwoleń rozpoznano sześć nowych stanowisk interglacjału eemskiego, które mają dokumentację palinologiczną.

W Łuczynowie (punkt dok. 24), położonym na południowy zachód od Czarnolasu, wykonano dwa otwory w zagłębieniu bezodpływowym. Pod warstwą piasków drobnoziarnistych z humusem, o miąższości 1,20–1,50 m, stwierdzono ciemnoszare mułki ilaste z dużą ilością substancji organicznej, przechodzące na głębokości 2,60–3,35 m w dobrze rozłożone torfy. Poniżej torfów, na głębokości 4,65–4,90 m, nawiercono ciemnoszare mułki z substancją organiczną, występujące do głębokości 6,00–6,40 m. Poniżej stwierdzono piaski pyłowate i gliny zwałowe. Z osadów organicznych pobrano próbki do badań palinologicznych. Na podstawie wykonanych analiz Krupiński (2007c) stwierdził występowanie sukcesji pyłkowej interglacjału eemskiego, w której wyróżnił osiem lokalnych poziomów pyłkowych. Sukcesję roślinną w Łuczynowie rozpoczyna bór sosnowy przechodzący w las mieszany z dębem, leszczyną, a następnie z lipą, wiązem i jesionem. W następnym poziomie dominuje las świerko-jodłowy z grabem przechodzący w las sosnowy i zbiorowiska parkowe z dominującymi roślinami zielnymi. Ten poziom jest korelowany z początkiem zlodowacenia Wisły. Geneza zagłębienia bezodpływowego w Łuczynowie ma charakter wytopiskowy.

Podobny charakter ma zagłębienie we Florianowie (punkt dok. 21) położonym 5 km na wschód od stanowiska w Łuczynowie. Pod holocenijskimi torfami, o miąższości 0,5 m, i mułkami, o miąższości 1,0 m, na głębokości 1,5 m stwierdzono organiczne mułki o miąższości 3,9 m, miejscami z przewarstwieniami torfów. Poniżej występują zielonkawe i szare mułki, o miąższości 2,9 m, związane ze schyłkiem zlodowacenia Warty. Na głębokości 9,0 m stwierdzono gliny zwałowe. Badaniom palinologicznym poddano sześć próbek z przedziału głębokości 2,5–3,5 m (Krupiński, 2007a). Wyniki badań są charakterystyczne dla optimum klimatycznego interglacjału eemskiego. Pyłek dębu stanowi do 35,0%, leszczyny – do 40,0%, a grabu – do 20,0%. Autor opracowania nie wyróżnił lokalnych poziomów pyłkowych.

Stanowisko w Nowym Zamościu (punkt dok. 35) jest położone w południowo-zachodniej części obszaru arkusza, w częściowo zmienionym antropogenicznie zagłębieniu bezodpływowym. Seria je-

ziorna – mułki z torfami, torfy i namuły torfiaste, o miąższości 4,15 m, została stwierdzona w przedziale głębokości 1,40–5,55 m. Przykrywają ją mułki i piaski reprezentujące zlodowacenie Wisły i holocen. Poniżej serii jeziornej znajdują się piaski wodnolodowcowe, piaski zastoiskowe i gliny zwałowe zlodowacenia Odry. W sondach wykonanych na brzegach zagłębienia stwierdzono gliny zwałowe o miąższości co najmniej 10,0 m. Badania palinologiczne wykonano na 26 próbkach, określając na ich podstawie wiek sukcesji roślinnej jako interglacjał eemski. Wyróżniono 11 lokalnych zespołów pyłkowych, które charakteryzują okres od schyłku zlodowacenia Warty, przez interglacjał eemski aż do początku zlodowacenia Wisły. Sukcesja pyłkowa została przedstawiona na diagramie pyłkowym, którego obraz jest charakterystyczny dla interglacjału eemskiego. Kolejno dominuje dąb, leszczyna, lipa, grab oraz jodła z świerkiem.

Stanowisko Mirków (punkt dok. 40) znajduje się w południowo-wschodniej części obszaru arkusza Zwoleń. Jest położone w kotlinowatym rozszerzeniu dolinki o charakterze zbiornika bezodpływowego, okresowo wypełnionego wodą. Jest to zagłębienie wytopiskowe, prawdopodobnie po bryle martwego lodu. Po obu stronach zagłębienia znajdują się gliny zwałowe o miąższości kilkunastu metrów. Seria biogeniczna w tym miejscu osiąga 10,8 m i jest reprezentowana przez mułki, torfy i gytie. Poniżej nawiercono gliny zwałowe zlodowacenia Odry. Na gytiach stwierdzono torfy i mułki jeziorne zlodowacenia Wisły oraz piaski z humusem i torfy o łącznej miąższości 6,0 m. Analizy palinologiczne wykonał Krupiński (2009b), który w badanych próbkach określił sukcesje roślinne typowe dla interglacjału eemskiego oraz ochłodzenia związanego ze zlodowaceniem Wisły. W interglacjał eemskim wyróżniono dziewięć lokalnych zespołów pyłkowych. Zespoły od trzeciego do szóstego reprezentują optimum klimatyczne interglacjału eemskiego, w którym dominował głównie las dębowy i grabowy z domieszką lipy, leszczyny, wiązu i jesionu. Nieco dalej na południe w tej samej dolince zostało udokumentowane stanowisko interglacjału eemskiego w Babinie (ark. Ciepiałów; Winter, 1990).

Stanowisko w Ponikwie (punkt dok. 12) usytuowane jest w zagłębieniu bezodpływowym w obrębie szerokiej doliny Krypianki (Brzeźniczki). Miąższość serii biogenicznej wynosi 13,0 m (głęb. 3,0–16,0 m). Powyżej znajdują się osady piaszczysto-pyłowe zlodowacenia Wisły i torfy holocenu. Poniżej serii biogenicznej nawiercono piaski i gliny zwałowe zlodowacenia Odry. Krupiński (2008b) na podstawie ekspertyzowej analizy palinologicznej jednej próbki określił jej wiek na interglacjał eemski.

W Policznej (punkt dok. 8), w górnej części doliny Strugi Polickiej, stwierdzono torfy, gytie i mułki ilaste interglacjału eemskiego o miąższości 2,6 m. Powyżej serii jeziornej występują osady piaszczysto-pyłowe zaliczone do zlodowacenia Wisły oraz namuły torfiaste holocenu. Poniżej serii organicznej stwierdzono piaski i gliny zwałowe zlodowacenia Odry. Badaniom palinologicznym poddano 10 próbek (Krupiński, 2009a). Wyróżnił on cztery poziomy pyłkowe. W czasie optimum klimatycznego (4. poziom pyłkowy) panował las grabowy, który jest charakterystyczny dla eemskiej sukcesji roślinnej.

Stanowiska interglacjału eemskiego w zagłębieniach bezodpływowych na wysoczyźnie zbudowanej z glin zwałowych mają duże znaczenie stratygraficzne. Powstały one głównie po wytopieniu brył martwego lodu zlodowacenia Odry. W przeszłości powszechnie uważało się, że tego typu zagłębienia były związane z recesją lądolodu zlodowacenia Warty. Torfy, gytie i mułki z okresu interglacjału eemskiego zostały również udokumentowane badaniami pyłkowymi na obszarach sąsiednich arkuszy: w Makowie, Czarnej Roli i Adolfinie (ark. Pionki), Kletni Starej (ark. Dęblin) oraz Sławnie (ark. Radom; Tołpa, 1961). Ponadto osady interglacjału eemskiego występują prawdopodobnie we Franciszkowie (ark. Radom), Łączanach (ark. Wierzbica), Kijankach i Okrężnicy (ark. Ciepiałów) oraz Rózkach (ark. Jedlińsk).

P i a s k i i ż w i r y r z e c z n e interglacjału eemskiego znajdują się w dolinie Wisły, poniżej osadów holocenu i utworów zlodowacenia Wisły (Żarski, 2002). Na terenie arkusza Zwoleń osady te występują prawdopodobnie w rejonie Wólki Bachańskiej. Taka interpretacja wynika z korelacji przestrzennej osadów rzecznych interglacjału eemskiego na przekrojach geologicznych (Żarski, 2002). Stwierdzono je w wielu otworach archiwalnych, wykonanych w obrębie współczesnej doliny Wisły, poza obszarem arkusza Zwoleń. Na obszarze arkusza Puławy, 4 km na wschód od Wólki Bachańskiej, w otworach wiertniczych w Oleksowie, Gniewoszowie i Regowie Nowym przewiercono warstwę piasków i żwirów interglacjału eemskiego o miąższości kilkunastu metrów (Żarski, 1998a, b).

*

* *

P i a s k i i ż w i r y r z e c z n e i w o d n o l o d o w c o w e t a r a s ó w n a d z a l e w o w y c h 18,0–22,0 m n.p. rzeki (Wisły) stwierdzono przy północnej granicy obszaru arkusza Zwoleń, w okolicy Bąkowca. Osady te kontynuują się na obszarze arkusza Kozienice. Silna erozja rzeczna przyczyniła się do odsłonięcia piasków i żwirów wodnolodowcowych oraz glin zwałowych zlodowacenia Sanu 2.

Zlodowacenia północnopolskie

Zlodowacenie Wisły

Obszar arkusza Zwoleń pozostawał poza zasięgiem lądolodu zlodowacenia Wisły. W tym czasie w dolinach rzek były akumulowane osady piaszczysto-żwirowe, a w zagłębieniach terenu – osady mineralne i organiczne. U podstaw stoków powstawały osady deluwialne. W warunkach klimatu peryglacialnego następowało wietrzenie osadów, które u schyłku zlodowacenia Wisły były intensywnie przewiewane. W stropie osadów rzeczno-peryglacialnych zlodowacenia Warty, w przełomowym odcinku doliny Krypianki (Brzeźniczki), Jaśkowski (1998a, b) udokumentował cienki, 30-centymetrowy, poziom lessopodobnych mułków, których wiek określił na $21,5 \pm 3$ tys. lat BP (zlodowacenie Wisły). Ze względu na małą miąższość nie przedstawiono ich na mapie.

Torfy i mułki jeziorne, o miąższości 4,7 m, stwierdzono w Mirkowie (punkt dok. 40). Osady te znajdują się nad torfami interglacjału eemskiego, a przykryte są piaskami i torfami holocenu o miąższości 1,3 m. Krupiński (2009b) wyróżnił w nich sześć lokalnych zespołów pyłkowych, które rejestrują dwa ochłodzenia klimatu i jedno ocieplenie. Ocieplenie jest korelowane z interstadią Brørup, w którym dominował las sosnowo-brzozowy.

Piaski i żwiry rzeczne tarasów nadzalewowych 9,5–14,0 m n.p. rzeki (Wisły) występują w północno-wschodniej części obszaru arkusza, w okolicy Wólki Bachańskiej, i kontynuują się w kierunku wschodnim na terenie arkusza Puławy. Tarasy te odpowiadają tarasowi otwockiemu wyróżnionemu w okolicach Warszawy (Baraniecka, Konecka–Betley, 1987). Miąższość piasków i żwirów dochodzi do 16,0 m. Miejscami osady rzeczne występują pod przykryciem mułków rzeczno-jeziornych i torfów holocenu.

Piaski i żwiry rzeczne tarasów nadzalewowych 5,5–8,5 m n.p. rzeki (Wisły) występują w północno-wschodniej części badanego terenu, koło Wólki Bachańskiej i Bąkowca. Tarasy te odpowiadają tarasowi praskiemu z okolic Warszawy (Baraniecka, Konecka–Betley, 1987). Przeważnie miąższość osadów rzecznych wynosi około 10 m, ale może dochodzić do 15 m. Miejscami piaski i żwiry występują pod przykryciem mułków rzeczno-jeziornych i torfów holocenu. Tarasy te kontynuują się na obszarach arkuszy Puławy i Kozienice.

Piaski, żwiry i mułki rzeczne stwierdzono wzdłuż dolin mniejszych rzek w postaci wąskich tarasów wznoszących się ponad koryta rzeczne. Występują one w dolinach Strugi Polickiej koło Garbatki-Zbyczyna, Zagożdżonki koło Januszna, Mireńki koło Suchej, a także cienkimi listwami wzdłuż dolin Zwoleńki i Plewki. Osady te zostały stwierdzone sondami ręcznymi i mechanicznymi. Doliny rzek na obszarze arkusza Zwoleń powstały po recesji lądolodu zlodowacenia Odry i zostały przemodelowane w czasie zlodowacenia Warty oraz podczas interglacjału eemskiego i zlodowacenia Wisły. Piaski z domieszką żwirów i mułków, występujące pod osadami organicznymi i mineralnymi holocenu, stwierdzono w sondach mechanicznych w Strykowicach Górnych, Paciorkowej Woli, Borzenczyznach w dolinie Zwoleńki i jej dopływach, Ludwinowie w dolinie Plewki, Grzywaczu w dolinie Zwolanki oraz Gródku w dolinie Strugi Polickiej. Miąższość piasków i żwirów wynosi najczęściej kilka metrów.

Podczas prac wykopaliskowych (punkt dok. 36) prowadzonych w krawędzi doliny Zwoleńki w Zwoleniu osady zlodowacenia Wisły zostały dokładnie rozdzielone. W utworach tych wyraźnie zaznaczają się okresy akumulacji związane z ochłodzeniami i okresy erozji towarzyszące interstadią ociepleniom. Osady wczesnego zlodowacenia Wisły są reprezentowane przez piaski, piaski pyłowate i piaski ze żwirami. Schild (2006) określił ich wiek metodą TL na 117–97 tys. lat BP. Występują tu także koryta wypełnione żwirami. Piaski ze żwirami, o miąższości kilku metrów, reprezentują środkową część zlodowacenia Wisły i są datowane metodą TL na 79–62 tys. lat BP. Odpowiadają one okresowi chłodnemu, w którym dominowała

akumulacja. Z drugą fazą erozji są związane osady piaszczysto-żwirowe, których wiek określono metodą TL na 77–57 tys. lat BP. Maksymalną fazę zlodowacenia Wisły (leszczyńsko-pomorską) reprezentują piaski żwirowate. Ich wiek został ustalony na 21 tys. lat BP. W osadach związanych z pierwszą fazą erozji znaleziono artefakty (narzędzia krzemienne) ze środkowego paleolitu, reprezentujące dolny poziom kulturowy, natomiast w osadach piaszczysto-żwirowych związanych z drugą fazą erozji – artefakty ze środkowego paleolitu, reprezentujące górny poziom kulturowy. W stanowisku w Zwoleniu znaleziono bardzo liczne szczątki koni, mamutów, nosorożców, a także zabytki krzemienne charakterystyczne dla środkowego paleolitu, w którym żył i polował człowiek neandertalski.

b. Czwartorzęd nierozdzielony

Głazy, żwiry i piaski rezydualne są pozostałością po glinach zwałowych. Składają się na nie niewarstwowane piaski i żwiry, często z warstwami glin i poziomami bruku morenowego. Na powierzchni terenu występuje duża ilość głazów polodowcowych, które są świadectwem intensywnych procesów erozyjnych. Miąższość tych osadów jest niewielka – nie przekracza 0,7 m, a często wynosi mniej niż 0,5 m, są one jednak tak odmienne od osadów znajdujących się poniżej, że zdecydowano się na ich wyróżnienie. Osady rezydualne w północno-zachodniej części terenu badań, w rejonie Januszna, leżą na piaskach pyłowatych i piaskach zastoiskowych zlodowacenia Odry. W okolicach miejscowości Bóbek utwory te występują na piaskach i żwirach plejstocenu dolnego (preglacjału).

Piaski pyłowe i piaski zwietrzelinowe występują w kilkunastu izolowanych polach na powierzchni obszaru arkusza. Ich miąższość przeważnie nie przekracza 2,0 m i na mapie w większości są przedstawione jako leżące na glinach zwałowych zlodowaceń Odry i Sanu 2. Są to piaski pyłowe o strukturze masywnej, słabo wysortowane, miejscami z glinami, powstałe w wyniku procesów wietrzenia glin zwałowych w warunkach peryglacialnych. Nieduże pola piasków, o miąższości przekraczającej 2,0 m, występują w północno-wschodniej części obszaru arkusza, w okolicach Zawady Starej, w północno-zachodnim narożu terenu badań, w okolicach Januszna, a także na południu obszaru arkusza, w okolicach Józefowa, Grabowa i Łągowa. Pola piasków zwietrzelinowych, o miąższości mniejszej niż 2,0 m, leżące na glinach zlodowacenia Sanu 2, znajdują się na wschodzie terenu arkusza, w okolicach Kociołka, Tartaku i Piątkowa. Piaski pyłowe, leżące na glinach zwałowych zlodowacenia Odry, wyróżniono w południowo-zachodniej części terenu badań, koło Garbatki-Letniska, Linowa i Koszar, a także w południowo-wschodniej części obszaru arkusza, koło Florianowa i Kulczyna.

Piaski zwietrzelinowe na badanym terenie osiągają miąższość mniejszą niż dwa metry i występują tylko na glinach zwałowych zlodowacenia Odry. Są to głównie piaski średnio- i drobnoziarniste, miejscami pyłowe, powstałe w wyniku wietrzenia glin zwałowych. Na powierzchni sporadycznie występują żwiry i głaziki, a w spągu dość często spotyka się poziom bruku. Piaski te mogły być lokalnie przewiewane. Największe pola tych piasków występują w okolicy Garbatki-Let-

niska, Ponikwy, Brzustowa, Linowa i Kuszłowa. Nieduże pola piasków zwietrzelinowych występują na całej powierzchni arkusza.

W Helenówce (otw. 55) stwierdzono piaski drobnoziarniste z domieszką piasków pyłowych. W spągu występuje poziom piasków różnoziarnistych, o miąższości 0,5 m, z domieszką żwirów o średnicy 2–3 cm. Zawartość węglanu wapnia jest znikoma i wynosi od 0,18 do 0,25%. Ziarna kwarcu są bardzo dobrze obtoczone ($R = 0,13-0,21$). W składzie minerałów ciężkich przeważają granaty (do 59,0%), przy niskim udziale amfiboli – od 5,3 do 6,9%. Nie można wykluczyć częściowego przewianania osadów.

P i a s k i d e l u w i a l n e występują u podnóży stoków dolin rzecznych w północno-wschodniej części obszaru arkusza, koło Zawady Starej i Zawady Nowej. Wypełniają one suchą część doliny Krypianki (Brzeźniczki) w okolicy Ponikwy oraz znajdują się u podnóża stoków okalających obniżenie koło Linowa, w południowo-zachodniej części obszaru badań. Piaski deluwialne przeważnie są warstwowane horyzontalnie. Miejscami występują w nich przewarstwienia piasków z humusem. W okolicach Kociołka, w północno-wschodniej części badanego terenu, piaski deluwialne o miąższości mniejszej niż 2,0 m występują na glinach zwałowych Sanu 2, a koło Bąkowca i Garbatki-Długiej – na piaskach i żwirach wodnolodowcowych zlodowacenia Liwca. W Zawadzie Starej osady deluwialne leżą na glinach zwałowych zlodowacenia Liwca, a w okolicach Lasek, na północnym zachodzie obszaru arkusza, na glinach zwałowych zlodowacenia Odry.

P i a s k i e o l i c z n e zajmują prawie całą zachodnią część obszaru arkusza Zwoleń, od okolic Garbatki-Letniska na północy po Jedłankę na południu. Ponadto piaski te zajmują nieduże zwarte obszary w południowo-wschodniej części badanego terenu, w okolicach Górek, Władysławowa i Nowego Zamościa. Poza tym piaski eoliczne występują wyspowo na całym obszarze badań. Budują nieduże wzniesienia na powierzchni wysoczyzny. Miąższość piasków wynosi kilka metrów, a maksymalnie dochodzi do 5,0 m. W Brzustowie (otw. 12) stwierdzono serię piasków eolicznych o grubości 4,7 m. Odślaniają się one w pobliskiej odkrywce. Pobrano z nich próbki na badania mineralogiczne i uziarnienia. W zachodniej części obszaru arkusza próbki pobrano z okolic Krasnej Dąbrowy, Brzustowa, Okólnego Ługu i Jedłanki, a ponadto z izolowanych pól piasków eolicznych znajdujących się na powierzchni wysoczyzny w Podtetlowie, Ponikwie, Wilczowoli, Józefowie i Starej Zielonce. Pod względem granulometrycznym w osadach tych dominuje frakcja piaskowa średnioziarnista (ok. 50%) nad drobnoziarnistą (do 30%) i domieszkami frakcji pyłowej (do 10%) oraz piaskowej gruboziarnistej (około 1%, miejscami do 4%). Utwory te pozbawione są frakcji żwirowej. W składzie minerałów ciężkich dominują minerały przezroczyste (ok. 85%) nad nieprzezroczystymi (ok. 15%). Wśród minerałów przezroczystych przeważają granaty, których przeciętna zawartość wynosi około 50%. Amfibole stanowią około 7%, cyrkony i staurolit – około 6%, a turmaliny – około 5%. Ogólnie zawartość minerałów odpornych na wietrzenie kilkakrotnie przeważa nad minerałami nieodpornymi. Ziarna

minerałów ciężkich wykazują dobre obtoczenie. Wszystkie te cechy wskazują na dobrą selekcję minerałów odpornych na wietrzenie, zachodzącą podczas intensywnego przewiewania osadów. W odsłonięciu w Linowie (punkt dok. 29) ponad piaskami i żwirami wodnolodowcowymi znajdują się piaski eoliczne o miąższości 1,5 m. Wśród ziaren kwarcu dominują ziarna częściowo obtoczone i matowe wskazujące na obróbkę eoliczną (Kenig, 2009). W Górkach (punkt dok. 23) w próbce pobranej z osłonięcia, z głębokości 2,0 m, stwierdzono 66,0% okrągłych i matowych ziaren kwarcu, z 30-procentowym udziałem ziaren półmatowych. Są to typowe osady eoliczne. Podobne wyniki badań litologicznych otrzymano z próbki pobranej z odsłonięcia w Nowym Zamościu (punkt dok. 37). Piaski eoliczne, o miąższości mniejszej niż 2,0 m, występują na glinach zwałowych zlodowacenia Odry w okolicach Anielówki, Suchej i Koszar oraz na mniejszych polach na obszarze całego arkusza. W zachodniej części badanego terenu, m.in. koło Jedlanki, Linowa i Józefowa, piaski eoliczne przykrywają utwory wodnolodowcowe zlodowacenia Odry. Skład minerałów ciężkich z piasków eolicznych koło Linowa charakteryzuje się dużą przewagą granatów, przy domieszce amfiboli. Ziarna kwarcu są dobrze obtoczone i matowe.

W Motarzynach (otw. 58) stwierdzono piaski eoliczne o miąższości 2,5 m. Są to piaski drobno- i średnioziarniste. Ziarna kwarcu są dobrze obtoczone ($R = 0,31$) i matowe. Zawartość węgla wapnia jest minimalna i wynosi 0,43%. W składzie minerałów ciężkich 6-krotnie przeważają minerały odporne na wietrzenie nad nieodpornymi. Zawartość granatów wynosi 38,4%, a amfiboli – 9,3%.

Dla próbki pobranej ze spągu piasków eolicznych odsłaniających się w krawędzi doliny Krypianki (Brzeźniczki) wykonano datowania metodą TL i otrzymano wynik $19,7 \pm 4,8$ tys. lat BP (Jaśkowski, 1998a, b). Data ta wyznacza początek sedymentacji osadów eolicznych w tym rejonie. Głównym materiałem źródłowym dla osadów eolicznych były piaski wodnolodowcowe piaskodennych rzek roztokowych.

P i a s k i e o l i c z n e w w y d m a c h występują głównie w zachodniej części badanego terenu, przeważnie w obrębie pól piasków przewianych. Pojedyncze wydmy znajdują się we wschodniej części obszaru arkusza. Miąższość piasków budujących najwyższe wydmy dochodzi do 20,0 m. W odkrywce w Brzustowie, na głębokości 2,5–3,0 m, zaobserwowano poziom próchniczny gleb kopalnych, który dzieli piaski eoliczne na dwie części. Gleby te prawdopodobnie reprezentują ocieplenie interstadialne w schyłkowym okresie zlodowacenia Wisły. Z wydmy tej, z głębokości 1,3 i 2,0 m, pobrano próbki do badań litologiczno-petrograficznych i mineralogicznych. Pod względem granulometrycznym w piaskach przeważa frakcja piaskowa średnioziarnista nad drobnoziarnistą, z niewielkim udziałem frakcji piaskowej gruboziarnistej i pyłowej. Skład minerałów ciężkich nie odbiega od składu w pokrywowych piaskach eolicznych, w których dominują granaty (ponad 50%) i minerały odporne na wietrzenie. Udział minerałów ciężkich odpornych na wietrzenie jest 8–11-krotnie większy niż udział minerałów nieodpornych. Piaski w tej wydmie są warstwowane przekątnie.

c. Holocen

Piaski rzeczne stwierdzono w bocznej dolinie ciekę będącego dopływem rzeki Zagożdżonki koło Trupienia, a także w bocznych dolinkach uchodzących do Piątkowego Stoku i dopływu Zwoleńki, w rejonie Jedlanki. Są to różnoziarniste piaski korytowe o miąższości do 3,0 m.

Mułki rzeczno-jeziorne powstawały głównie w odciętych korytach rzek. Mają niebieską barwę i zawierają liczne makroszczałki roślinne. Stwierdzono je w dolinach Strugi Polickiej i Plewki oraz w dopływach Zwoleńki i Zwolanki. Ich miąższość dochodzi do 3,5 m. Miejscami mułki występują pod torfami. Często miąższość mułków jest mniejsza niż 2,0 m. W dolinie Wisły i wciętej w nią dolinie Zwolanki mułki występują na piaskach i żwirach tarasów nadzalewowych Wisły. W okolicy Świetlikowej Woli mułki leżą na piaskach zlodowacenia Wisły, a koło Wygody – na glinach zwałowych zlodowacenia Odry.

Piaski i mułki zagłębień bezodpływowych występują w zachodniej części terenu arkusza, w licznych zagłębieniach deflacyjnych na obszarach piasków eolicznych. Wypełniają także większość zagłębień bezodpływowych na wysoczyźnie polodowcowej. Zagłębienia te mają genezę wytopiskową. Miąższość piasków i mułków sięga do 2,5 m. Piaski akumulowane w obniżeniach deflacyjnych mają pierwotną genezę eoliczną, dlatego ich skład granulometryczny, a także skład minerałów ciężkich, jest podobny do składu otaczających je piasków eolicznych. W piaskach i mułkach zagłębień bezodpływowych występują domieszki humusu. Miąższość osadów na wysoczyźnie morenowej często nie przekracza 2,0 m. W większości zagłębień leżą one na glinach zwałowych zlodowacenia Odry. Piaski i mułki zagłębień bezodpływowych koło Koszar występują na piaskach wodnolodowcowych zlodowacenia Odry, a w Łuczynowie (punkt dok. 24), Nowym Zamościu (punkt dok. 35) i Florianowie (punkt dok. 21) przykrywają mułki i torfy jeziorne interglacjału eemskiego. W profilach tych, nad osadami interglacjału eemskiego, występują wkładki utworów zlodowacenia Wisły, jednak ze względu na ich małą miąższość pominięto je, pokazując osady interglacjału eemskiego, jako ważniejsze z punktu widzenia geologicznego.

Namuły piaszczyste i pyłowate den dolinnych w większości wypełniają dna bocznych dolinek, które łączą się z dolinami Zwoleńki, Zwolanki, Plewki, Mireńki, Strugi Polickiej, Krypianki (Brzeźniczki) i Zagożdżonki. Stwierdzono je w rejonie miejscowości Bóbek, Mieczysławów, Mirków, Bierdzież, Osiny i Trupień. Są to głównie piaski i piaski pyłowate z przewarstwieniami mułków. Utwory te były akumulowane przez ciekę płynące tymi dolinami, a także podczas okresowych deluwialnych spływów wodnych do dolin rzecznych. Przeciętna miąższość osadów wynosi nieznacznie ponad 2,0 m, często jednak nie osiąga tej wartości. Na obszarze arkusza namuły występują na glinach zwałowych, utworach zastoiskowych i wodnolodowcowych zlodowacenia Odry oraz osadach rzecznych zlodowacenia Wisły i holocenu.

Namuly torfiaste wypełniają fragment dna doliny Plewki koło Ludwinowa. Miąższość tych osadów nieznacznie przekracza 2,0 m. Są to czarne utwory torfiaste z przewarstwieniami piasków i mułków. Osady te składają się z substancji organicznych i mineralnych. W dnie bocznego dopływu Zwolenki koło Grabowa nad Wisłą namuly torfiaste, o miąższości poniżej 2,0 m, przykrywają piaski i żwiry rzeczne zlodowacenia Wisły.

Torfy wypełniają doliny Zwolenki, Zwolanki i ich dopływów, a także Plewki, Mireńki, Zagożdżonki oraz górną część doliny Strugi Polickiej. Są to torfowiska niskie, charakterystyczne dla dolin rzecznych. Ponadto torfy wypełniają zagłębienia deflacyjne na terenie Puszczy Kozienskiej w Dębowskim Ługu i Okólnym Ługu. Są to torfowiska wysokie i przejściowe. Maksymalne miąższości torfów w górnej części doliny Zwolenki, w okolicach Strykowic Górnych (punkt dok. 26), dochodzą do 5,0 m. W Okólnym Ługu miąższość torfów przekracza 2,0 m. Próbkę pobrane z torfów były datowane metodą ^{14}C . W dolinie Zwolenki, we wspomnianych wcześniej Strykowicach Górnych (punkt dok. 26), pobrano dwie próbki z głębokości 4,8–5,0 m (spąg torfów) i 3,8–4,0 m, które są datowane na 7410 ± 65 lat BP (GdS-580) i 7550 ± 65 lat BP (GdS-577) (Pazdur, 2008). Zaznacza się niewielka, rzędu 140 lat, inwersja dat. Daty te odpowiadają wczesnemu okresowi atlantyckiemu. Z okresem atlantyckim należy wiązać okres akumulacji torfów w Helenówce (punkt dok. 19), gdzie torfy o miąższości 1,4 m zostały stwierdzone na głębokości 1,6 m. Przykrywają je piaski zagłębienia bezodpływowych okalające zbiornik wodny. Z głębokości 3,0 m pobrano próbkę w celu zbadania wieku bezwzględnego metodą ^{14}C i otrzymano wynik 6510 ± 60 lat BP (GdS-579; Pazdur, 2008). Bardzo podobny wynik – 6790 ± 160 lat BP (Gd-30150; Pazdur, 2007) otrzymano z datowania torfów z głębokości 3,0 m w Paciorekowej Woli (punkt dok. 27). Torfy te o miąższości 3,3 m wypełniają dolinę bocznego ciekę wpadającego do Zwolenki. W Zwoleniu (punkt dok. 32), w miejscu połączenia bocznej dolinki z doliną Zwolenki, torfy stwierdzono na głębokości 1,75–5,05 m. Z próbki pobranej z głębokości 3,8–4,0 m wykonano datowanie wieku bezwzględnego metodą ^{14}C i otrzymano wynik 4180 ± 70 lat BP (GdS-578). Data ta wskazuje na okres subborealny. Z pobranych próbek torfów wykonano osiem analiz palinologicznych. Wyniki badań świadczą o występowaniu w tym okresie lasu północnego – borealnego, w którym dominowała sosna z domieszką brzozy i nielicznym świerkiem (Krupiński, 2008a). W Czarnolesie stwierdzono torfy na głębokości od 1,2–2,0 m do 1,6–3,0 m. Powyżej znajdują się mułki rzeczno-jeziorne. W próbce pobranej z głębokości 1,8 m nie stwierdzono materiału pyłkowego (Krupiński, 2007d). Reasumując torfy wypełniające doliny rzeczne na obszarze arkusza Zwoleni zaczęły się tworzyć we wczesnym okresie atlantyckim.

B. TEKTONIKA I RZEŹBA PODŁOŻA CZWARTORZĘDU

Badany obszar leży w strefie Teisseyre'a-Tornquista (T-T) (Znosko, 1962). Strefa ta oddziela dwie odrębne struktury: na wschodzie – platformę prekambryjską, a na zachodzie – system różnych paleozoicz-

nych i mezozoicznych struktur fałdowych. Strefa T-T składa się z szeregu równoległych do siebie uskoków. Jednym z większych jest uskoki Grójec–Kazimierz, przebiegający przy wschodnich granicach opracowywanego obszaru (Żelichowski, 1974). W strefie T-T skały platformy krystalicznej gwałtownie zapadają szeregiem stopni w kierunku południowo-zachodnim. Obecnie uważa się, że krawędź cokołu krystalicznego przebiega wzdłuż linii Nowe Miasto nad Pilicą–Ostrowiec Świętokrzyski.

Intensywne ruchy tektoniczne na badanym obszarze zachodziły w młodszym paleozoiku, w fazie bretońskiej i asturyjskiej fałdowań hercyńskich. Przyczyniły się one do powstania dwóch dużych jednostek tektonicznych: niecki nadbużańskiej (Stupnicka, 2007) określanej też jako niecka lubelska (Żelichowski, 1974) i podniesienia radomsko-kraśnickiego znajdującego się na zachód od uskoku Grójca. Niecka nadbużańska wypełniona jest skałami karbońskimi i dewońskimi. Dzieli się ona na dwie części: podniesienie łukowsko-hrubieszowskie i rów mazowiecko-lubelski. Większość badanego terenu znajduje się w obrębie podniesienia radomsko-kraśnickiego, a północna część – w obrębie rowu mazowiecko-lubelskiego. Strefa ta charakteryzuje się bardzo mięszymi osadami morskimi dewonu (4000 m; Stupnicka, 2007), przy braku skał karbońskich. W fazie bretońskiej orogenezy hercyńskiej osady te zostały sfałdowane, powodując powstanie łagodnie nachylonych fałdów. Rozpoznanych zostało kilka antyklinali: Pionki–Opole Lubelskie, Ciepiałów i Rachów–Bałtów oraz dwie synkliny: Zwolenia i Rachowej (Żelichowski, 1974). W podłożu podniesienia radomsko-kraśnickiego występują sfałdowane utwory piętra młodokaledońskiego. Ich północno-wschodni zasięg znajduje się wzdłuż linii Pionki–Opole Lubelskie (Żelichowski, 1974). Obszar ten podlegał zdyslokowaniom w wyniku ruchów przesuwczych (Pożaryski, 1997). Przez południową część badanego terenu przebiega dyslokacja Radomia o kierunku równoleżnikowym. Na północ od niej znajdują się uskoki o kierunku E–W: Łągów–Radom i Policzna–Lisów (Pożaryski, 1997), a na południe – uskoki biegnący do Opola Lubelskiego. Uskok dochodzący do południowych granic badanego terenu w rejonie Kazimierzowa ma kierunek prostopadły do kierunków poprzednich uskoków.

Na tle starszych struktur wykształciła się tzw. niecka brzeźna (Pożaryski, 1957, 1969; Znosko, 1966). Jest ona strukturą tektoniczną powstałą w czasie fazy laramijskiej fałdowań alpejskich. Badany obszar należy do tzw. niecki lubelskiej, tuż przy granicy z niecką warszawską. Kierunek osi niecki biegnie wzdłuż linii SE–NW. Depresja ta jest wypełniona osadami kredy górnej i paleocenu dolnego, które odsłaniają się na powierzchni terenu w okolicach Kazimierza Dolnego i Puław. Od północnego wschodu niecka lubelska jest ograniczona strukturą zrębową podlasko-lubelską, zaś od południowego zachodu do niecki przylega, pocięta licznymi dyslokacjami, strefa obrzeżenia antyklinorium środkowopolskiego. Dalej na południe nieckę ograniczają Góry Świętokrzyskie (Pożaryski, 1974). Przez centralną część badanego terenu przebiega synklina Kozienice–Puławy. Na zachód od osi synkliny skały kompleksu są wyraźnie zaburzone tektonicznie. Od okolic Opola Lubelskiego przez Zwolen i Pionki przebiega elewa-

cja o kierunku SE–NW (Pozarski, 1974). Składa się ona z trzech równoległych antyklin o małej amplitudzie. Wysokość fałdów wynosi od 100 do 400 m. Antyklina Pionek osiąga kulminacje w okolicach miejscowości Pionki i Zwoleń (Pozaryski, 1974). Antyklina Zwoleń–Opole Lubelskie ma kręty przebieg i jest ustawiona kulisowo do antykliny Pionek. Obszar niecki lubelskiej, jak i całej niecki brzeźnej, przez cały mezozoik podlegał zróżnicowanej subsydencji, szczególnie nasilonej w kredzie górnej. Po ruchach wypiętrzających wału środkowopolskiego nastąpiło spłylenie zbiornika morskiego, który w neogenie stał się akwenem śródlądowym z centrum koło Warszawy (Różycki, 1972a). Ważniejsze uskoki w kompleksie mezozoicznym o kierunku SSW–NNW to Iłża–Zwoleń oraz uskok w południowo-zachodniej części sąsiedniego obszaru arkusza Pionki. Na północny wschód od badanego terenu przebiegają uskoki o kierunku SSE–NNW, przechodzące przez Kozienice (Żelichowski, Kozłowski, 1983). Na Mapie Geologicznej Polski 1:200 000, arkusz Radom (wyd. A i B, Makowska, 1969, 1972), w skałach kredy zaznaczony jest uskok Zwoleń–Pionki o kierunku SSE–NNW.

Na podstawie analizy mapy fotogeologicznej Polski (Bażyński i in., 1984) oraz map liniowych elementów strukturalnych Polski (Graniczny i in., 1995) na badanym terenie wyróżniono wiele lineamentów, które mogą pokrywać się z prawdopodobnymi uskokami. Na mapie fotogeologicznej Polski zaznaczają się trzy kierunki fotolineamentów: SE–NW i SW–NE oraz zbliżony do W–E. Lineamenty o kierunku SE–NW to Łągów–Czarnolas–Garbatka i Zielonka–Zwoleń–Pionki, natomiast lineament Zwoleń–Kajetanów ma kierunek SW–NE. Analiza profili otworów wiertniczych na przekroju geologicznym, wykonane badania elektrooporowe wzdłuż linii przekroju geologicznego, a także analiza półszczegółowego zdjęcia grawimetrycznego, częściowo potwierdziły istnienie rzeczywistych i przypuszczalnych uskoku, które przebiegają zgodnie z wyróżnionymi lineamentami.

Uskoki tektoniczne zaobserwowano w skałach mastrychtu górnego, paleocenu dolnego, eocenu dolnego oraz miocenu (tabl. III). Prawdopodobnie duża aktywność tektoniczna miała też miejsce w eocenie górnym lub dolnym. Nie wyklucza się również ruchów neotektonicznych spowodowanych transgresją lądolodów plejstocenijskich. Uskoki zaobserwowano w okolicach Policznej, gdzie można wyróżnić struktury zrębowe i nieduży rów tektoniczny. Koło Wilczowoli amplituda zrzucanych skał przekracza 30 m. Pomiędzy Wilczowolą a Niwkami zaobserwowano szereg niedużych, niesięgających stropu podłoża czwartorzędu, uskoku o kierunkach SE–NW, o amplitudzie kilkunastu metrów. Prawdopodobnie wzdłuż uskoku rozwinęły się doliny Zwolenki i Plewki, a także dopływ Zwolanki. Według Złonkiewicza (2001, 2002) współczesne i kopalne doliny rzeczne powstały w strefach uskoku o założeniach waryscyj-skich lub kaledońskich, które odnowione zostały w czasie fałdowań alpejskich. Według niego mniejsze dolinki rozwinęły się wzdłuż spękań ciosowych. Przypuszczalne uskoki o kierunkach W–E i SW–NE stwierdzono w okolicach Zielonki i Zawady Starej.

W części południowej zaznacza się depresja o kierunku SE–NW, w której skały mastrychtu górnego znajdują się poniżej 120 m n.p.m. Jest to potwierdzona zdjęciem grawimetrycznym strefa uskokowa, którą obecnie wykorzystuje dolina rzeki Zwolenki. Działalność erozyjna rzeki przyczyniła się do zniszczenia dużego kompleksu skał plejstoceniowych. W rejonie doliny Plewki skały mastrychtu górnego stwierdzono na głębokości poniżej 120 m n.p.m. Poza tymi obniżeniami powierzchnia podłoża osadów czwartorzędowych znajduje się tu na wysokości 140,0–150,0 m n.p.m., a miejscami także wyżej.

Druga strefa obniżen o kierunku SE–NW, zaznaczona na mapie zdjęcia grawimetrycznego od Załaz do Mirenia, nie została w pełni zweryfikowana otworami geologicznymi. Między Helenówką a Garbatką-Letniskiem, a także Januszem osady podłoża czwartorzędowego przeciętnie znajdują się na wysokości 130,0–140,0 m n.p.m. Cechą charakterystyczną dla tego obszaru są nieduże obniżenia i wyniesienia podłoża czwartorzędowego o amplitudach od 110,0 do 160,0 m n.p.m. spowodowane uskokami tektonicznymi i zaburzeniami glacitektonicznymi. Spiętrzenie osadów mioceniowych, a częściowo także czwartorzędowych, zaobserwowano koło Wilczowoli. Obniżenia o charakterze prawdopodobnych depresji glacitektonicznych występują koło Podtętlowa i Lasek. W dolinie Wisły skały podłoża czwartorzędowego znajdują się na wysokości poniżej 100 m n.p.m, a w głębokim obniżeniu koło Garbatki-Letniska – poniżej 90 m n.p.m. Deniwelacja osadów podłoża czwartorzędowego pomiędzy miejscem najwyższym położonym – 166,5 m n.p.m. (otw. 46 — Wilczowola), a najniższym – 82,0 m n.p.m. (otw. 1 — Garbatka-Podlas) wynosi 84,5 m n.p.m. Jest to o 11,0 m więcej niż deniwelacja współczesnej powierzchni terenu.

C. ROZWÓJ BUDOWY GEOLOGICZNEJ

Najstarszymi skałami rozpoznanymi na terenie arkusza Zwoleni są piaskowce dewońskie, które powstały z osadów akumulowanych przez rzeki. Obszar ten pod koniec dewonu i na początku karbonu został wydźwignięty tektonicznie. Jest on określany jako podniesienie radomsko-kraśnickie. Mułowce i piaskowce karbonu tworzyły się w zbiorniku morskim w zachodniej części rowu mazowiecko-lubelskiego. Waryscyjskie (hercyńskie) ruchy tektoniczne przyczyniły się do sfałdowania skał dewonu i karbonu. Powstały liczne synkliny i antykliny oraz uskoki. Po ruchach wypiętrzających orogenezy waryscyjskiej morze wycofało się i nastąpiła intensywna erozja. Morskie osady permu zachowały się szczątkowo. Mułowce i piaskowce triasu były akumulowane w zbiorniku morskim. W jurze nastąpiła transgresja morska, której świadectwem są wapienie. Na przełomie jury i kredy badany obszar został wynurzony. W kredzie panowały warunki morskie. Zasięg morza wyznacza obszar niecki brzeżnej. Powstawały wapienie, opoki i margle. Pod koniec mastrychtu górnego na badanym terenie, w warunkach bardzo ciepłego klimatu, tworzyły się margle (tab. 2). Na przełomie kredy i paleogenu w wyniku ruchów wypiętrzających fazy laramijskiej orogenezy alpejskiej nastąpiło spłylenie zbiornika i wynurzenie terenu. Osady kredy zostały sfałdowane. Erozja spowodowała częściowe zniszczenie

TABELA LITOLOGICZNO-STRATYGRAFICZNA

Stratygrafia				Utwory (opis litologiczny)	Procesy geologiczne		
System	Oddział	Piętro				Podpiętro	
d ę z r	H o l o c e n			Torfy — ${}_t Q_h$ Namuly torfiaste — ${}_{nr} Q_h$ Namuly piaszczyste i pyłowate den dolinnych — ${}_{np} Q_h$ Piaski i mułki zagłębień bezodpływowych — ${}_{pm} Q_h$ Mułki rzeczno-jeziorne — ${}_{m}^{f-li} Q_h$ Piaski rzeczne — ${}_{p}^f Q_h$	Akumulacja organiczna w dnach dolin i w obniżeniach terenu Akumulacja organiczno-mineralna w dnach dolin i obniżeniach terenu Akumulacja organiczno-mineralna w dnach dolin i erozja w dolinach Akumulacja mineralna w zagłębieniach bezodpływowych Akumulacja organiczno-mineralna w starorzeczach i jeziorach Akumulacja i erozja w dnach dolin rzecznych		
				Piaski eoliczne w wydmach — ${}_{p}^e Q^{\text{w}}$ Piaski eoliczne — ${}_{p}^e Q$ Piaski deluwialne — ${}_{p}^d Q$ Piaski zwietrzelinowe — ${}_{p}^z Q$ Piaski pyłowate i piaski zwietrzelinowe — ${}_{ppyp}^z Q$ Głazy, żwiry i piaski rezydualne — ${}_{glzp}^r Q$	Akumulacja eoliczna — tworzenie wydm Akumulacja eoliczna — powstawanie pól piasków przewianych Spęływanie i zmywanie osadów ze zboczy Wietrzenie mechaniczne w klimacie peryglacjalnym, miejscami przewiewanie osadów Wietrzenie mechaniczne, akumulacja w zagłębieniach terenu osadów pyłowatych Wietrzenie mechaniczne w klimacie peryglacjalnym z odprowadzeniem osadów z niszczenia przez wody i procesy eoliczne		
		Zlodowacenia północnopolskie		Zlodowacenie Wisły	Piaski, żwiry i mułki rzeczne — ${}_{pż}^g Q_{p^4}^B$ Piaski i żwiry rzeczne tarasów nadzalewowych 5,5–8,5 m n.p. rzeki (Wisły) — ${}_{pż}^f Q_{p^4}^{B(III)}$ Piaski i żwiry rzeczne tarasów nadzalewowych 9,5–14,0 m n.p. rzeki (Wisły) — ${}_{pż}^f Q_{p^4}^{B(III)}$ Torfy i mułki jeziorne — ${}_{tm}^{li} Q_{p^4}^B$	Akumulacja i erozja rzeczna Akumulacja jeziorna	
					Piaski i żwiry rzeczne i wodnolodowcowe tarasów nadzalewowych 18,0–22,0 m n.p. rzeki (Wisły) — ${}_{pż}^{f-fg} Q_{p^4}^{B(III)}$	Akumulacja i erozja rzeczna i wodnolodowcowa	
		Interglacjał eemski			Piaski i żwiry rzeczne — ${}_{pż}^f Q_{p^{3-4}}$ Mułki i torfy jeziorne — ${}_{mt}^{li} Q_{p^{3-4}}$	Akumulacja i erozja rzeczna Akumulacja jeziorna	
					Piaski i żwiry wodnolodowcowe — ${}_{pż}^{fg} Q_{p^3}$	Akumulacja i erozja wodnolodowcowa	
				Zlodowacenie Warty	Piaski, piaski pyłowate, żwiry i piaski ze żwirami rzeczno-peryglacjalne — ${}_{p}^{f-pg} Q_{p^3}^W$	Akumulacja i erozja rzeczna w warunkach klimatu peryglacjalnego	
				Zlodowacenie Odry	Piaski i żwiry wodnolodowcowe (górne) — ${}_{pż2}^{fg} Q_{p^3}^O$ Piaski wodnolodowcowe — ${}_{p}^{fg} Q_{p^3}^O$ Piaski pyłowate i mułki zastoiskowe — ${}_{ppym}^b Q_{p^3}^O$ Żwiry, piaski i głazy moren martwego lodu — ${}_{żpgl}^{gm} Q_{p^3}^O$ Piaski i mułki kemów — ${}_{pm}^k Q_{p^3}^O$ Piaski i żwiry ozów — ${}_{pż}^o Q_{p^3}^O$ Gliny zwałowe — ${}_{gzw}^g Q_{p^3}^O$ Piaski pyłowate i piaski zastoiskowe — ${}_{ppyp}^b Q_{p^3}^O$ Iły i mułki zastoiskowe — ${}_{im}^b Q_{p^3}^O$	Akumulacja i erozja wodnolodowcowa przed czołem cofającego się lądolodu Akumulacja zastoiskowa przed czołem cofającego się lądolodu Akumulacja w obrębie brył lodowych Akumulacja w przetainach martwego lodu Akumulacja w szczelinach lodowych Akumulacja i egzaracja lodowcowa, zaburzenia glaciektoniczne Akumulacja zastoiskowa przed czołem transgredującego lądolodu	

C z w a r t o r z e n i e	P l e j s t o c e n	Z l o d o w a c e n i a p o ł n o d n o w o p o l s k i e	Zlodowacenia środkowopolskie	Zlodowacenie Odry	Piaski i żwiry wodnolodowcowe (dolne) — $fg \overset{O}{Q}_{p^3}$ Piaski z domieszką piasków pyłowatych wodnolodowcowe — $pppy \overset{O}{Q}_{p^3}$	Akumulacja i erozja wodnolodowcowa przed czołem transgredującego lądolodu	
			Interglacjał wielki	Interglacjał Zbójna	Piaski i żwiry rzeczne — $f \overset{Z}{Q}_{p^{2-3}}$	Akumulacja i erozja rzeczna	
				Zlodowacenie Liwca	Gliny zwałowe — $g \overset{C}{Q}_{p^{2-3}}$ Piaski i mułki zastoiskowe — $b \overset{C}{Q}_{p^{2-3}}$ Piaski i żwiry wodnolodowcowe — $fg \overset{C}{Q}_{p^{2-3}}$	Akumulacja i egzaracja lodowcowa Akumulacja zastoiskowa przed czołem transgredującego lądolodu Akumulacja i erozja wodnolodowcowa przed czołem transgredującego lądolodu	
					Interglacjał mazowiecki	Piaski i żwiry rzeczne — $f \overset{M}{Q}_{p^{2-3}}$	Akumulacja i erozja rzeczna
			Zlodowacenie Sanu 2	Zlodowacenie Sanu 2	Mułki i piaski zastoiskowe — $b \overset{G}{Q}_{p^2}$ Piaski i żwiry wodnolodowcowe (górne) — $fg \overset{G}{Q}_{p^2}$ Gliny zwałowe — $g \overset{G}{Q}_{p^2}$ Piaski i żwiry wodnolodowcowe (dolne) — $fg \overset{G}{Q}_{p^2}$ Mułki, piaski i ropy zastoiskowe — $b \overset{G}{Q}_{p^2}$	Akumulacja zastoiskowa przed czołem cofającego się lądolodu Akumulacja i erozja wodnolodowcowa przed czołem cofającego się lądolodu Akumulacja i egzaracja lodowcowa, zaburzenia glacictektoniczne Akumulacja i erozja wodnolodowcowa przed czołem transgredującego lądolodu Akumulacja zastoiskowa przed czołem transgredującego lądolodu	
					Interglacjał ferdynandowski	Piaski i żwiry rzeczne — $f \overset{F}{Q}_{p^2}$	Akumulacja i erozja rzeczna
					Zlodowacenie Sanu 1	Gliny zwałowe — $g \overset{S}{Q}_{p^2}$ Piaski, mułki i ropy zastoiskowe — $b \overset{S}{Q}_{p^2}$ Piaski i żwiry wodnolodowcowe — $fg \overset{S}{Q}_{p^2}$	Akumulacja i egzaracja lodowcowa Akumulacja zastoiskowa przed czołem transgredującego lądolodu Akumulacja i erozja wodnolodowcowa przed czołem transgredującego lądolodu
						Interglacjał małopolski	Piaski rzeczne — $f \overset{K}{Q}_{p^2}$
				Zlodowacenie Nidy	Zlodowacenie Nidy	Iły i mułki zastoiskowe — $b \overset{N}{Q}_{p^2}$ Gliny zwałowe — $g \overset{N}{Q}_{p^2}$ Piaski i żwiry wodnolodowcowe — $fg \overset{N}{Q}_{p^2}$	Akumulacja zastoiskowa przed czołem cofającego się lądolodu Akumulacja i egzaracja lodowcowa Akumulacja i erozja wodnolodowcowa przed czołem transgredującego lądolodu
						Plejstocen dolny	Piaski, żwiry, piaski pyłowate i mułki rzeczne — $f \overset{0}{Q}_{p^0}$
			N e o g e n	M i o c e n	Miocen górny		Akumulacja jeziorzyskowa
						Piaski kwarcowe, mułki i ropy — $pQ_m M$	Akumulacja w zbiorniku śródlądowym
				O l i g o c e n	Oligocen dolny	Piaski kwarcowe, mułki i ropy — $pQ_m OI_1$	Akumulacja morska, transport materiału terygenicznego do zbiornika
E o c e n	Eocen środkowy	Mułki i ropy — $mi E_2$			Akumulacja morska		
	Eocen dolny	Piaski, mułki i ropy z wkładkami węgla brunatnego — $pmi E_1$			Akumulacja morska, jeziorzyskowa, transport materiału terygenicznego do zbiornika morskiego		
P a l e o c e n	Paleocen dolny	Gezy, ropy, mułki i piaski — $ge PC_1$ Margle — $me PC_1$	Akumulacja morska Transgresja morska Ruchy tektoniczne (wypiętrzające)				
K r e d a	Kreda górna	Mastrycht górny	Margle — $me Cr_{m3}$	Ruchy tektoniczne (wypiętrzające) Akumulacja morska Transgresja morska			

osadów mastrychtu górnego. W paleocenie dolnym klimat nieco się ochłodził. Po okresie lądowym nastąpiła kolejna transgresja morska. Bliskość strefy brzegowej sprzyjała dostawie do morza materiału terygenicznego. W tym czasie odbywała się akumulacja margli, geł, ilów, mułków i piasków. Podczas eocenu klimat był tylko nieznacznie chłodniejszy niż w paleocenie. Obszar arkusza w dalszym ciągu zajmowało morze, w którym osadzały się piaski, mułki i ily z wkładkami węgla brunatnego. Świadczy to o bliskości strefy brzegowej, a także spłyceniu zbiornika, który miejscami przekształcił się w jeziorzysko. Z obumierającej w nim roślinności, wskutek procesów diagenety, powstały węgle brunatne. W eocenie środkowym morze uległo ponownemu pogłębieniu. Powstawały wtedy mułki i ily. W oligocenie klimat się ochłodził. Obszar arkusza Zwoleń nadal znajdował się w obrębie zasięgu morza, ale bliskość strefy brzegowej powodowała dostarczanie do zbiornika dużych ilości materiału terygenicznego. Efektem tych procesów była akumulacja piasków, mułków i ilów. W miocenie obszar arkusza znajdował się w obrębie śródlądowego zbiornika, w którym osadzał się materiał detrytyczny i organiczny. Powstawały piaski, mułki i ily, miejscami węgle brunatne. Następowo niszczenie starszych ogniw paleogenu. Rzeki dostarczały materiał do istniejącego zbiornika. W miocenie górnym oziębienie klimatu spowodowało zmianę charakteru deponowania osadów w zbiorniku, który według Różyckiego (1972a) był okresowo wysychającym jeziorzyskiem. Na badanym terenie nie stwierdzono charakterystycznych różnokolorowych ilów miocenu górnego.

Częste wahania klimatu są charakterystyczne dla okresu całego plejstocenu i holocenu. Młodsza część ogniwa preglacjału – tzw. glacjału otwockiego i interglacjału celestynowskiego jest związana z plejstocenem. W plejstocenie dolnym (preglacjałe) akumulacja piasków, żwirów, piasków pyłowatych i mułków odbywała się rzekami płynącymi ogólnie z kierunku południowego. Osady plejstocenu dolnego na obszarze arkusza występują w formie stożków napływowych. Należą one do tzw. poziomu kozienickiego wyróżnionego przez Kosmowską-Ceranowicz (1966). Cechą charakterystyczną tych osadów jest cykliczność świadcząca o zmianach klimatycznych. W tym okresie zachodziły także procesy erozyjne. Pierwsze znane w Polsce glacialne ochłodzenie klimatu spowodowało transgresję zlodowacenia Narwi, które nie zostało udokumentowane na badanym obszarze. Po tym okresie nastąpiło ocieplenie klimatu związane z interglacjałem podlaskim (augustowskim). Także osady interglacjału podlaskiego nie zostały rozpoznane na obszarze arkusza. Ponowne wielkie oziębienie klimatu spowodowało transgresję lądolodu zlodowacenia Nidy, które jest najstarszym zlodowaceniem południowopolskim. Przed czołem transgredującego lądolodu rzeki akumulowały piaski i żwiry wodnolodowcowe. Lądolód deponował gliny zwałowe. Na przedpolach uwolnionych z lodu tworzyły się zastoiska, w których osadzały się ily i mułki. W kolejnym okresie ciepłym – interglacjałe małopolskim – w dolinach rzecznych zachodziły procesy erozji i akumulacji rzecznej. Na badanym terenie były akumulowane piaski. Ochłodzenie klimatu spowodowało transgresję lądolodu zlodowacenia Sanu 1. Przed jego czołem tworzyły się pola sandrowe oraz zastoiska,

w których osadzały się piaski i żwiry wodnolodowcowe oraz piaski, mułki i ropy zastoiskowe, o miąższości od kilku do kilkunastu metrów. Pozostałością po lądolodzie są gliny zwałowe. Po całkowitym wycofaniu się lądolodu klimat w interglacjale ferdynandowskim bardzo się ocieplił. Rozwinęła się sieć rzeczna. W dolinach rzek zachodziły procesy erozji i akumulacji piasków i żwirów. W obniżeniach terenu i starorzeczach odbywała się akumulacja osadów biogenicznych, których na obszarze arkusza Zwoleń nie rozpoznano. W tym czasie teren był pokryty zwartymi lasami liściastymi. Oziębienie klimatu spowodowało transgresję lądolodu zlodowacenia Sanu 2. Przed czołem lądolodu w zastoiskach były akumulowane mułki, piaski i ropy. W korytach rzek glacialnych odbywała się sedymentacja piasków i żwirów. Lądolód pozostawił po sobie poziom glin zwałowych. Wody z cofającego lądolodu deponowały piaski i żwiry wodnolodowcowe. W zastoiskach powstawały mułki i piaski.

Kolejnym okresem ocieplenia klimatu był interglacjał mazowiecki. Sieć rzeczna w tym okresie bardzo się rozwinęła. W dolinach rzecznych zachodziła erozja wgłębna i boczna oraz akumulacja piasków i żwirów. W zagłębieniach terenu tworzyły się osady jeziorne, które nie zostały rozpoznane na obszarze arkusza. W optimum klimatycznym badany obszar był pokryty zwartymi lasami mieszanymi. Kolejne ochłodzenie klimatu spowodowało transgresję lądolodu zlodowacenia Liwca, którego zasięg ograniczał się do strefy doliny Wisły. Przed czołem lądolodu tworzyły się wówczas pola piasków i żwirów fluwioglacialnych oraz zastoiska, w których były akumulowane piaski i mułki. Lądolód pozostawił po sobie kilkumetrowy, maksymalnie 10-metrowy, poziom glin zwałowych najlepiej zachowany w południowo-zachodniej części badanego terenu. Ponowne ocieplenie klimatu związane było z interglacjałem Zbójna, podczas którego na obszarze arkusza powstawały piaski i żwiry rzeczne. Oprócz akumulacji w okresie tym zachodziły procesy erozji.

Duże ochłodzenie klimatu spowodowało transgresję zlodowacenia Odry. Lądolód objął swym zasięgiem cały badany teren. Na dalekim przedpolu transgredującego lądolodu tworzyły się pola wodnolodowcowych piasków z domieszką piasków pyłowych, a w bliższej odległości – piaski i żwiry. W zastoiskach tworzyły się ropy i mułki oraz piaski pyłowe i piaski. Często sekwencja depozycji była odwrotna, czyli tworzyły się zastoiska, które potem były zasypywane przez utwory wodnolodowcowe.

Podczas transgresji lądolodu zachodziły procesy akumulacji i egzaracji lodowcowej, a także procesy glacitektoniczne. Lądolód pozostawił po sobie kilkunastometrowy poziom glin zwałowych. W szczelinach lodowych następowała akumulacja piasków i żwirów, czego efektem było powstanie ozów. Pośród brył martwego lodu w przetainach były akumulowane piaski i mułki kemów. Z brył martwego lodu wytapiał się i pływał materiał żwirowo-piaszczysto-gliniasty, tworząc moreny martwego lodu. Przed czołem cofającego lądolodu w zastoiskach osadzały się piaski pyłowe i mułki, a w rzekach odbywała się akumulacja wodnolodowcowych piasków oraz piasków i żwirów.

Ocieplenie klimatu między zlodowaceniem Odry i Warty było prawdopodobnie niewielkie i spowodowało wycofanie się lądolodu na północ od badanego terenu. Ponowne ochłodzenie klimatu spowodowało transgresję lądolodu zlodowacenia Warty, który nie dotarł do omawianego terenu. W warunkach klimatu peryglacjalnego powstawały rzeczne piaski, piaski pyłowate, żwiry i piaski ze żwirami. Obecnie uważa się, że zlodowacenie to było jedynie fazą recesyjną zlodowacenia Odry. Prawdopodobnie na obszarze Puszczy Kozienickiej, na piaskach i żwirach wodnolodowcowych zlodowacenia Odry, były deponowane osady fluwioglacjalne zlodowacenia Warty.

W interglacjale eemskim panował ciepły klimat, który sprzyjał rozwojowi zwartych lasów liściastych z dominującym dębem i grabem. W zbiornikach bezodpływowych, powstałych po wytopieniu brył martwego lodu, były akumulowane mułki i torfy jeziorne. W dolinach rzecznych zachodziły intensywne procesy erozji wgłębnej, a w dolinie Wisły – także erozji bocznej. Obecna dolina pokrywa się z doliną z okresu interglacjału eemskiego. Po etapie erozji nastąpiła akumulacja piasków i żwirów rzecznych.

Po interglacjale eemskim klimat się ochłodził. Powstały wtedy piaski i żwiry rzeczne i wodnolodowcowe budujące najwyższy – erozyjno-akumulacyjny taras nadzalewowy Wisły. Lądolód zlodowacenia Wisły nie dotarł na badany teren. W tym czasie w dolinach rzek zachodziły procesy erozji i akumulacji. Rzeki gromadziły osady mineralne, głównie piaski i żwiry. Okres zlodowacenia Wisły trwał prawie 100 tysięcy lat. W tym okresie, przed fazą główną, odnotowuje się co najmniej dwa ochłodzenia glacialne, które prawdopodobnie objęły swym zasięgiem tereny na północy Polski. W okresach zimnych następowała akumulacja osadów, a w cieplejszych – erozja. W fazie głównej zlodowacenia Wisły powstały torfy i mułki jeziorne oraz dwa tarasy nadzalewowe Wisły zbudowane z piasków i żwirów rzecznych. W dolinach mniejszych rzek tworzyły się piaski, żwiry i mułki. W trakcie cofania lądolodu zlodowacenia Wisły na jego przedpolu panował klimat peryglacjalny. Rozwijały się kliny mrozowe i gleby poligonalne. W wyniku intensywnego niszczenia glin zwałowych powstały osady rezydualne: głązy, żwiry i piaski. Procesy te zachodziły prawdopodobnie także u schyłku zlodowacenia Warty, interglacjału eemskiego, a także i w holocenie. Na powierzchni terenu, w wyniku procesów wietrzeniowych glin zwałowych, powstały piaski pyłowate i piaski zwietrzelinowe. Podobnie jak w przypadku osadów rezydualnych procesy te mogły się rozpocząć już w czasie zlodowacenia Warty. W czasie ochłodzeń podczas zlodowacenia Warty i Wisły zachodziły procesy soliflukcyjne. U podstawy stoków akumulowane były piaski deluwialne. Do powstania deluwii przyczyniły się spływy powierzchniowe wody, które zachodziły również w holocenie. Powierzchnia wysoczyzny była intensywnie niszczona procesami denudacyjnymi, które trwały w mniejszej skali również w holocenie. W klimacie peryglacjalnym miały miejsce intensywne procesy eoliczne, które sporadycznie były kontynuowane w holocenie. Powstały liczne pola piasków przewianych i bardzo dobrze rozwinięte wydmy.

W holocenie klimat się ocieplił. W dolinach rzecznych były osadzone piaski. Zachodziły tam procesy erozji i akumulacji. W jeziorach i odciętych starorzeczach powstawały mułki z substancją organiczną. W zagłębieniach bezodpływowych na wysoczyźnie, a także na polach piasków przewianych, były akumulowane piaski i mułki, a w dolinach rzek tworzyły się namuły piaszczyste i pyłowate. Na początku okresu atlantyckiego w dolinach rzek, a także w zarastających zbiornikach na powierzchni wysoczyzny oraz w zagłębieniach deflacyjnych zaczęły powstawać torfy, które tworzyły się poprzez cały okres holocenu, aż do chwili obecnej.

IV. PODSUMOWANIE

Efektom przeprowadzonych prac kartograficznych jest szczegółowa mapa geologiczna.

Problemy geologiczne, z którymi zetknięto się podczas opracowania arkusza Zwoleń okazały się bardzo istotne dla poznania budowy geologicznej tego regionu. W niniejszym opracowaniu szczegółowo przedstawiono budowę geologiczną utworów czwartorzędu.

Badania litologiczno-petrograficzne, palinologiczne oraz oznaczenia wieku bezwzględnego metodami ^{14}C , TL i OSL próbek pobranych z otworów wiertniczych, sond mechanicznych i ręcznych, a także odsłoneń pozwoliły na określenie wieku i genezy badanych utworów.

Do interpretacji podłoża czwartorzędu, a także do prześledzenia głównych poziomów litostratigraficznych wykorzystano badania geoelektryczne i analizę grawimetrycznego zdjęcia półszeregowego. Podłożem osadów czwartorzędowych są utwory mastrychtu górnego, paleocenu dolnego, eocenu dolnego i środkowego, oligocenu i miocenu. Rozpoznano, nieopisywane dotychczas na badanym terenie, osady eocenu dolnego, które do tej pory były uważane za utwory oligocenu. Uściślono granice występowania osadów paleocenu dolnego i mastrychtu górnego. Rozpoznano ukształtowanie podłoża czwartorzędu, charakteryzujące się występowaniem wyniesień i depresji. Stwierdzono występowanie wielu uskoków. Wykazano powiązanie elementów tektoniki głębszego podłoża z budową geologiczną czwartorzędu, a także większych form morfologicznych na powierzchni terenu.

Na badanym terenie zidentyfikowano rzeczne osady plejstocenu dolnego (preglacjału) reprezentujące najstarsze ogniwo plejstocenu. Rozpoznano lodowcowe osady zlodowaceń południowopolskich: Nidy, Sanu 1, Sanu 2, zlodowaceń środkowopolskich – Odry, a także zlodowacenia Liwca. Określono skład petrograficzny glin w otworach wiertniczych, dzięki czemu możliwa była korelacja poziomów glin zwałowych na przekrojach geologicznych. Na podstawie badań litologicznych osadów piaszczysto-pyłowych określono genezę badanych utworów. Rozpoznano osady wodnolodowcowe, zastoiskowe, jeziorne, rzeczne, eoliczne, deluwialne i zwietrzelinowe.

Na badanym obszarze udokumentowano badaniami palinologicznymi sześć stanowisk interglacjału eemskiego, w większości usytuowanych w zagłębieniach bezodpływowych na obszarze wysoczyzny morenowej. Na podstawie badań palinologicznych odtworzono historię zmian klimatycznych.

Osady zlodowacenia Odry budują większość powierzchni arkusza Zwoleń. Na powierzchni terenu rozpoznano moreny martwego lodu, pojedyncze ozy i kemy.

Na obszarze arkusza badaniami mineralogiczno-litologicznymi zostały udokumentowane osady eoliczne. Na podstawie monografii archeologicznej opisano sytuację geologiczną stanowiska archeologicznego ze środkowego paleolitu w Zwoleniu. Ustalono również, że akumulacja torfów wypełniających głównie doliny rzeczne rozpoczęła się na początku okresu atlantyckiego, a także subborealnego.

Dalszych badań wymaga nie do końca wyjaśniony zasięg osadów paleocenu dolnego. Dokładne określenie wieku tych osadów może być ustalone tylko na podstawie badań próbek pobranych z otworów wiertniczych. Do tej pory uważano, że zasięg osadów paleocenu sięgał jedynie środkowej części badanego terenu. Uściślenia wymaga także granica występowania osadów eocenu, których bez badań palinologicznych nie sposób jest rozdzielić od utworów oligocenu. Nie do końca wyjaśniony jest również problem zasięgu występowania i rangi stratygraficznej osadów zlodowacenia Liwca oraz rangi stratygraficznej zlodowacenia Warty.

Opracowano
w Państwowym Instytucie Geologicznym
Państwowym Instytucie Badawczym
w Warszawie

Zakład Kartografii Geologicznej
Struktur Płytkich
Państwowego Instytutu Geologicznego
Państwowego Instytutu Badawczego
w Warszawie

Warszawa, 2009

LITERATURA

- Baraniecka M. D., Makowska A., Mojski E., Nowak J., Sarnacka Z., Skompski S., 1978 — Stratygrafia osadów czwartorzędowych Niziny Mazowieckiej oraz jej południowego i zachodniego obrzeżenia. *Biul. Inst. Geol.*, 306: 5–84.
- Baraniecka M. D., 1975 — Znaczenie profilu z Ponurzyca dla badań genezy i wieku preglacjału Mazowsza. *Kwart. Geol.*, 19, 3: 651–662.
- Baraniecka M. D., 1991 — Profil Różce na tle podstawowych profili osadów preglacjałnych na południowym Mazowszu. *Prz. Geol.*, 39, 5–6: 254–257.
- Baraniecka M. D., Konecka-Betley K., 1987 — Fluvial sediments of the Vistulian and Holocene in the Warsaw Basin. *Geogr. Stud. Special Issue*, 4: 151–189.
- Barcicki M., 1988 — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000, ark. Wierzbica (743). Państw. Inst. Geol., Warszawa.

- Barcicki M., 1990 — Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000, ark. Wierzbica (743). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- Bażyński J., Doktor S., Graniczny M., 1984 — Mapa fotogeologiczna Polski 1:1 000 000. Inst. Geol., Warszawa.
- Bluszcz A., 2009 — Wyniki oznaczeń wieku bezwzględnego metodą OSL. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- Bujak Ł., 2007a — Cechy teksturalne piaszczystych osadów preglacjalnych i warunki ich sedymentacji na przykładzie stanowisk Stanisławice k. Kozienic i Niwa Babicka k. Ryk. *Prz. Geol.*, **55**, 6: 485–492.
- Bujak Ł., 2007b — Środowisko preglacjału południowej części Niziny Mazowieckiej – zapis w cechach teksturalnych i strukturalnych osadów. Maszynopis pracy doktorskiej. Arch. WGiSR UW, Warszawa.
- Butrym J., 1992 — Wyniki datowań TL próbek osadów czwartorzędowych. Temat: SMGP 1:50 000, ark. Kozienice (673). Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- Dowgiałło W.D., 1982 — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000, ark. Kazimierz Dolny (746). Inst. Geol., Warszawa.
- Galon R., 1937 — Sprawozdanie z badań nad stratygrafią dyluwium wzdłuż Wisły pomiędzy Warszawą a Dęblinem. *Spraw. Pozn. Tow. Przyj. Nauk.*, **11**, 30: 144–149.
- Graniczny M., Doktor S., Kucharski R., 1995 — Mapy liniowych elementów strukturalnych Polski 1:200 000 i 1:500 000 na podstawie kompleksowej analizy zdjęć geofizycznych i teledetekcyjnych, ark. Gniezno. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- Janczyk-Kopikowa Z., 1991 — Interglacja Ferdynandowska w Polsce. *Kwart. Geol.*, **35**, 1: 71–79.
- Janiec J., 1995 — Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000, ark. Skaryszew (744). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- Janiec J., 2000 — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1: 50 000, ark. Skaryszew (744). Państw. Inst. Geol., Warszawa. [dokument elektroniczny]
- Jaśkowski B., 1998a — Geneza i wiek przełomu Brzeźniczki przez pole wydymowe Puszczy Kozienickiej w rejonie Garbatki. *W: Główny kierunki badań geomorfologicznych w Polsce – stan aktualny i perspektywy* (K. Pękala, red.): 315–318. 4. Zjazd Geomorf. Polskich. Lublin 3–6 czerwca 1998 roku. Referaty i Komunikaty. Wyd. UMCS, Lublin.
- Jaśkowski B., 1998b — Geneza i wiek przełomu Brzeźniczki przez pole wydymowe Puszczy Kozienickiej w rejonie Garbatki w świetle datowań TL. *W: Mat. 6. Konf. „Metody Chronologii Bezwzględnej.”* Inst. Fiz. PŚl., Gliwice-Rudy: 37–38.
- Jaśkowski B., 1999 — Związek późnowistuliańskich procesów wydymotwórczych w regionie świętokrzyskim z neotektoniczną aktywnością podłoża. *Prz. Geol.*, **47**, 11: 1032–1038.
- Jaśkowski B., 2000 — The role of aeolian processes in the formation of the drainage pattern in the area of Kozienice Forest. *W: Aeolian processes in different landscape zones* (R. Dulias, J. Pełka-Gościniak, red.): 89–105, University of Silesia, Sosnowiec.
- Jaśkowski B., Jurkiewicz H., Kowalski B., 1992 — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000, ark. Radom (707) (wraz z Objaśnieniami). Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- Kenig K., 2009 — Ekspertyzowe opracowanie osadów piaszczystych z odsłonięcia Linów, Górki i Nowy Zamość oraz z klina mrozowego. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- Kondracki J., 2009 — Geografia fizyczna Polski. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.

- Kosmowska-Ceranowicz B., 1966 — Osady preglacjalne dorzecza środkowej Wisły. *Pr. Muz. Ziemi*, **9**: 223–286.
- Krupiński M., 2007a — Opracowanie paleobotaniczne wybranych próbek z otworu wiertniczego Florianów (FL. 1/06). Temat: SMGP 1:50 000, ark. Zwoleń (709). Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- Krupiński M., 2007b — Opracowanie paleobotaniczne wybranych próbek z otworu wiertniczego Nowy Zamość (ZA. 2/06). Temat: Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000, ark. Zwoleń (709). Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- Krupiński M., 2007c — Opracowanie paleobotaniczne wybranych próbek z otworu wiertniczego Łuczynów (LU. 2/06). Temat: Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000, ark. Zwoleń (709). Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- Krupiński M., 2007d — Opinia dotycząca zawartości próbki torfu z otworu wiertniczego Czarnolas. Temat: Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000, ark. Zwoleń (709). Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- Krupiński M., 2008a — Opracowanie paleobotaniczne wybranych próbek z otworu wiertniczego Zwoleń 1165 i Zwoleń WH 45. Temat: Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000, ark. Zwoleń (709). Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- Krupiński M., 2008b — Opracowanie paleobotaniczne próbki szarego mułku z otworu wiertniczego Ponikwa 1414 (z głębokości 3,30 m). Temat: Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000, ark. Zwoleń (709). Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- Krupiński M., 2009a — Opracowanie paleobotaniczne wybranych próbek z otworu 104 w Policznej (Ponikwy). Temat: Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000, ark. Zwoleń (709). Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- Krupiński M., 2009b — Opracowanie paleobotaniczne wybranych próbek z otworu Mirków MIR 1/07. Temat: Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000, ark. Zwoleń (709). Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- Krygowski B., 1937 — Sprawozdanie z badań nad stratygrafią dyluwium w dolinie Wisły na odcinku Sandomierz–Puławy. *Spraw. Pozn. Tow. Przyj. Nauk.*, **3**: 157–163.
- Kucharska M., 2009 — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000, ark. Pionki (708) (wraz z Objasneniami). Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- Krisztafowicz N.J., 1896 — Posletreticzyja obrazowanija w okrestnosciah Nowo-Aleksandrii. *Zap. Nowo-Aleks. Inst.*, **9**.
- Lamparski Z., 1970 — Dynamika ruchu brzeżnej części lądolodu w czasie transgresji zlodowacenia środkowopolskiego na północno-wschodnie zbocze Gór Świętokrzyskich. *Acta. Geol. Pol.*, **20**, 3: 587–602.
- Lamparski Z., 1971 — Egzaracja lodowcowa w marginalnej strefie zlodowacenia środkowopolskiego. *Biul. Geol. Wydz. Geol. UW*, **13**: 5–86.
- Lencewicz S., 1921 — Węzeł wodny Kałuszyński (morfologia i hydrografia). *Kosmos*, **46**: 503–521.
- Lencewicz S., 1927 — Dyluwium i morfologia środkowego Powiśla. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, **2**, 2: 66–194.
- Lewiński J., 1929 — Dyluwium Polski i Danii. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, **6**.
- Lewiński J., Samsonowicz J., 1918 — Ukształtowanie powierzchni, skład i struktura podłoża dyluwium wschodniej części Nizy Północnoeuropejskiego. *Pr. Tow. Nauk. Warsz.*, **31**.
- Lindner L., 1970a — Czwartorzęd północno-zachodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich. *Acta Geol. Pol.*, **20**, 3: 635–645.

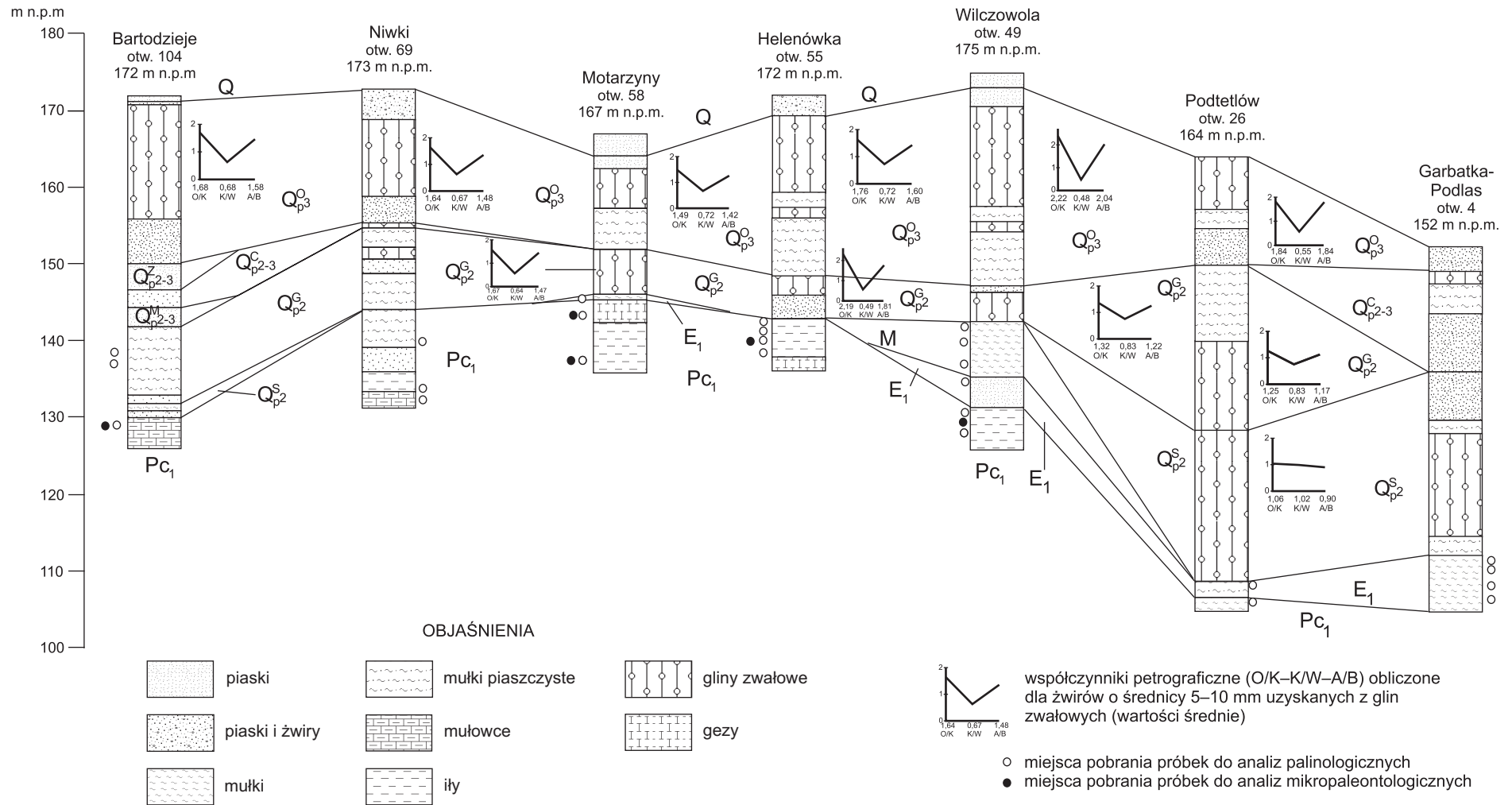
- Lindner L., 1970b — Glacialne terasy marginalne lądolodu zlodowacenia środkowopolskiego na północno-zachodnim obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich. *Acta Geol. Pol.*, **20**, 3: 603–633.
- Lindner L., 1971 — Stratygrafia plejstocenu i paleogeomorfologia południowo-zachodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich. *Stud. Geol. Pol.*, **35**.
- Lindner L., 1977 — Zlodowacenia plejstoceńskie w zachodniej części Gór Świętokrzyskich. *Stud. Geol. Pol.*, **53**: 1–143.
- Lindner L., 1980 — Zarys chronostratygrafii czwartorzędu regionu świętokrzyskiego. *Kwart. Geol.*, **24**, 3: 689–710.
- Lisicki S., 2003 — Litotypy i litostratygrafia glin lodowcowych plejstocenu dorzecza Wisły. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, **177**.
- Makowska A., 1969 — Mapa Geologiczna Polski 1:200 000, ark. Radom, wyd. A. Inst. Geol., Warszawa.
- Makowska A., 1972 — Mapa Geologiczna Polski 1:200 000, ark. Radom, Wyd. B. Inst. Geol., Warszawa.
- Makowska A., 1976 — Staroplejstoceńskie osady organogeniczne w Ceteniu i ich związek z serią preglacialną południowego Mazowsza. *Kwart. Geol.*, **20**, 3: 597–622.
- Malinowski J., 1988 — Mapa Hydrogeologiczna Polski 1:200 000, ark. Radom. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- Małek M., Buczek K., 2009 — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000, ark. Głowaczów (672) (wraz z Objasneniami). Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- Mamakowa K., 1996 — Nowe dane palinologiczne z profilu Podgórze. Szczegółowa mapa geologiczna Polski, ark. Bałobrzegi. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- Marcinkowski B., Wyszomierski M., 2009 — Badania litologiczno-petrograficzne i mineralogiczne. Temat: Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000, ark. Zwolen (709). Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- Mżyk S., 2008 — Dokumentacja badań geoelektrycznych. Temat: Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000, ark. Zwolen (709). Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- Paruch-Kulczycka J., 2009 — Wyniki badań mikropaleontologicznych z otworów kartograficznych do arkusza Zwolen SMGP 1:50 000. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- Pazdur A., 2007 — Laboratory report 41/2007. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- Pazdur A., 2008 — Laboratory report 10/2008. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- Piwocki M., 1996 — Korelacyjny schemat wydzieleń litostratygraficznych neogenu Polski niżowej i krajów sąsiednich. *W: Budowa Geologiczna Polski. 1. Stratygrafia. 3a. Kenozoik — Paleogen i Neogen.* Wyd. Geol., Warszawa.
- Piwocki M., Ziemińska-Tworzydło M., 1995 — Litostratygrafia i poziomy sporowo-pyłkowe neogenu na Niżu Polskim. *Prz. Geol.*, **43**, 11: 916–927.
- Piwocki M., Ziemińska-Tworzydło M., 1997 — Neogene of the Polish Lowland Lithostratigraphy and pollen-spores zones. *Kwart. Geol.*, **41**, 1: 21–40.
- Pożaryska K., 1952 — Zagadnienia sedymentologiczne górnego mastrychtu i danu okolic Puław. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 81.
- Pożaryska K., 1967 — Badania warstw pogranicznych kredy i trzeciorzędu w Polsce pozakarpackiej. *Kwart. Geol.*, **11**, 3: 661–671.
- Pożaryski W., Mojski E., 1987 — Plejstocen przełomu Wisły środkowej w świetle nowej stratygrafii czwartorzędu. *Prz. Geol.*, **35**, 3: 117–123.
- Pożaryski W., 1938 — Stratygrafia senonu w przełomie Wisły między Rachowem i Puławami. *Biul. Inst. Geol.*, 6.
- Pożaryski W., 1948 — Jura i kreda między Radomiem, Zawichostem i Kraśnikiem. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 46.
- Pożaryski W., 1953 — Plejstocen w przełomie Wisły przez Wyżyny Południowe. *Pr. Inst. Geol.*, **9**.

- Pożaryski W., 1955 — Osady rzeczne w przełomie Wisły przez Wyżyny Południowe. *Pr. Inst. Geol.*: 1–96
- Pożaryski W., 1957 — Południowo-zachodnia krawędź Fennosarmacji. *Kwart. Geol.*, **1**, 3.
- Pożaryski W., 1969 — Podział obszaru Polski na jednostki tektoniczne. *Prz. Geol.*, **2**: 57–64.
- Pożaryski W., 1974 — Obszar świętokrzysko-lubelski. *W: Budowa geologiczna Polski*. **4**. Tektonika. 1. Niż Polski. Wyd. Geol., Warszawa.
- Pożaryski W., 1997 — Tektonika powaryscyjska obszaru świętokrzysko-lubelskiego na tle struktury podłoża. *Prz. Geol.*, **45**: 1265–1270.
- Pożaryski W., Kalicki T., 1995 — Evolution of the gap section of the Vistula Valley in the late glacial and Holocene. *Geogr. Stud. Special Issue*, **8**: 111–137.
- Pożaryski W., Maruszczak H., Lindner L., 1993 — Stratygrafia osadów plejstocenyjskich w przełomie Wisły przez wyżyny południowopolskie w świetle analiz termoluminescencyjnych (komunikat wstępny). *Prz. Geol.*, **41**, 2: 103–106.
- Pożaryski W., Maruszczak H., Lindner L., 1994a — Rozwój plejstocenyjskiej doliny Wisły środkowej ze szczególnym uwzględnieniem przełomu przez wyżyny południowopolskie. *Prz. Geol.*, **42**, 7: 523–531.
- Pożaryski W., Maruszczak H., Lindner L., 1994b — Chronostratygrafia osadów plejstocenyjskich i rozwój doliny Wisły środkowej ze szczególnym uwzględnieniem przełomu przez wyżyny południowopolskie. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, **147**: 1–58.
- Różycki S. Z., 1972a — Plejstocen Polski Środkowej. PWN, Warszawa.
- Różycki S. Z., 1972b — Nizina Mazowiecka. *W: Geomorfologia Polski*. **2**. Niż Polski. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Rühle E., 1955 — Przeglądowa Mapa Geologiczna Polski 1:300 000, ark. Radom, wyd. B. Inst. Geol., Warszawa.
- Samsonowicz J., 1922 — Zastoiska lodowcowe nad górną i środkową Wisłą. *Pos. Nauk. Państw. Inst. Geol.*, **1**: 373–393.
- Samsonowicz J., 1925 — O granicy zasięgu młodszego zlodowacenia między rzeką Iłżanką a Wisłą. *Pos. Nauk. Państw. Inst. Geol.*, **12**: 9–10.
- Samsonowicz J., 1927 — Sprawozdanie z badań geologicznych w rogu północno-wschodnim arkusza Opatów. *Pos. Nauk. Państw. Inst. Geol.*, **18**: 31–35.
- Sarnacka Z., 1978 — Plejstocen rejonu doliny Wisły między Magnuszewem i Górą Kalwarią. *Biul. Inst. Geol.*, 300: 5–96.
- Sarnacka Z., 1982 — Stratygrafia i charakterystyka litologiczna osadów czwartorzędowych rejonu doliny Wisły na południe od Warszawy. *Biul. Inst. Geol.*, 337: 143–198.
- Sarnacka Z., 1987 — Evolution of the Vistula valley between the outliers of Radomka and Swider riviers of the late Glacial and Holocene. *Geogr. Stud. Special Issue* **4**: 131–150.
- Sarnacka Z., 1988 — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000, ark. Łaskarzew (636). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- Sarnacka Z., 1990 — Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000, ark. Łaskarzew (636). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- Sarnacka Z., Kryowska-Iwaszkiewicz M., 1974 — Osady eoplejstocenyjskie okolic Magnuszewa na południowym Mazowszu. *Biul. Inst. Geol.*, 286: 165–188.
- Sawicki Ludomir, 1922 — Wiadomości o środkowopolskiej morenie czołowej. *Spraw. PAU.*, **2**.
- Sawicki Ludomir, 1925 — Przełom Wisły przez Średniogórze Polski. *Pr. Inst. Geogr. UJ*, **4**.

- Sawicki L., 1933 — Przyczynek do znajomości dyluwium oraz morfogenezy przełomu Wisły pod Puławami. *Prz. Geogr.*, **13**: 158–169.
- Sawicki L., 1954 — Stratygrafia wysokiego tarasu erozyjno-akumulacyjnego pra-Wisły w Górze Puławskiej. *Acta. Geol. Pol.*, **4**.
- Schild R., 2006 — The killing fields of Zwoleń. A Middle Paleolithic kill-butchery-site in central Poland. Inst. Archaeol. & Ethnol. PAN, Warszawa.
- Siemiradzki J., Dunikowski E., 1891 — Szkic geologiczny Królestwa Polskiego, Galicji i Krajów Przyległych. *Pam. Fizjogr.*, **11**.
- Sitrak J., 1937 — Dyluwium w przełomie Wisły od Sandomierza do Puław. *Spraw. Pozn. Tow. Przyj. Nauk.*, **11**, 3: 151–157.
- Słodkowska B., 1996 — Wyniki badań palinologicznych osadów trzeciorzędowych z profili: Kajetanów, Sarnów, Stare Ławeczko, Hamajdówka, Łaguzów, ark. Puławy. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- Słodkowska B., 2009 — Badania palinologiczne próbek osadów paleogenu i neogenu przeprowadzone na ark. SMGP Zwoleń (709) w profilach: Podtętlów, Garbatka-Podlas, Bartodziej, Niwki, Helenówka, Motorzyny i Wilczowola. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- Stupnicka E., 2007 — Geologia Regionalna Polski. Wyd. UW, Warszawa.
- Tołpa S., 1961 — Flora interglacjalna ze Sławna k. Radomia. *Biul. Inst. Geol.*, 169: 15–56.
- Twarogowski J., 2008 — Mapa grawimetryczna. Temat: Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000, ark. Zwoleń (709). Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- Winter H., 1990 — Opracowanie palinologiczne interglacjału eemskiego w wierceniach Babin — ark. Ciepiałów. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- Zaborski B., 1925 — O dyluwium zachodniej części Wyżyny Lubelskiej. *Prz. Geol.*, 16.
- Zaborski B., 1927 — Studia nad morfologią dyluwium Podlasia i terenów sąsiednich. *Prz. Geogr.*, **7**: 1–52.
- Złonkiewicz Z., 2001 — Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000, ark. Ciepiałów (745). Państw. Inst. Geol., Warszawa. [dokument elektroniczny]
- Złonkiewicz Z., 2002 — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000, ark. Ciepiałów (745). Państw. Inst. Geol., Warszawa. [dokument elektroniczny]
- Znosko J., 1962 — Obecny stan znajomości budowy geologicznej głębokiego podłoża pozakarpackiej Polski. *Kwart. Geol.*, **6**, 3: 485–509.
- Znosko J., 1966 — Jednostki geologiczne Polski i ich stanowisko w tektonice Europy. *Kwart. Geol.*, **10**, 3: 646–662.
- Żarski M., 1989 — Nowe stanowisko interglacjału eemskiego w okolicach Dębina. *Kwart. Geol.*, **33**, 2: 269–274.
- Żarski M., 1991 — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000, ark. Dęblin (674). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- Żarski M., 1993 — Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000, ark. Dęblin (674). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- Żarski M., 1996a — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000, ark. Koziernice (673). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- Żarski M., 1996b — Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000, ark. Koziernice (673). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- Żarski M., 1998a — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000, ark. Puławy (710). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- Żarski M., 1998b — Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000, ark. Puławy (710). Państw. Inst. Geol., Warszawa.

- Żarski M., 2002 — Pleistocene river valleys and ice sheet limits in the Southern Mazovian Lowland, Central Poland. *Geol. Quart.*, **46**, 2: 147–163.
- Żarski M., Janczyk-Kopikowa Z., 1995 — The Ferdynandów Interglacial at Stanisławice near Koźienice (central Poland). *Acta Paleobot.*, **35**, 1: 7–13.
- Żelichowski A.M., 1974 — Obszar radomsko-lubelski. *W: Budowa geologiczna Polski. 4. Tektonika. 1. Niż Polski.* Wyd. Geol., Warszawa.
- Żelichowski A.M., Kozłowski S. (red.), 1983 — Atlas geologiczno-surowcowy obszaru lubelskiego 1:500 000. Wyd. Geol., Warszawa.

ZESTAWIENIE PROFILI OTWORÓW BADAWCZYCH DLA SMGP (KARTOGRAFICZNYCH)

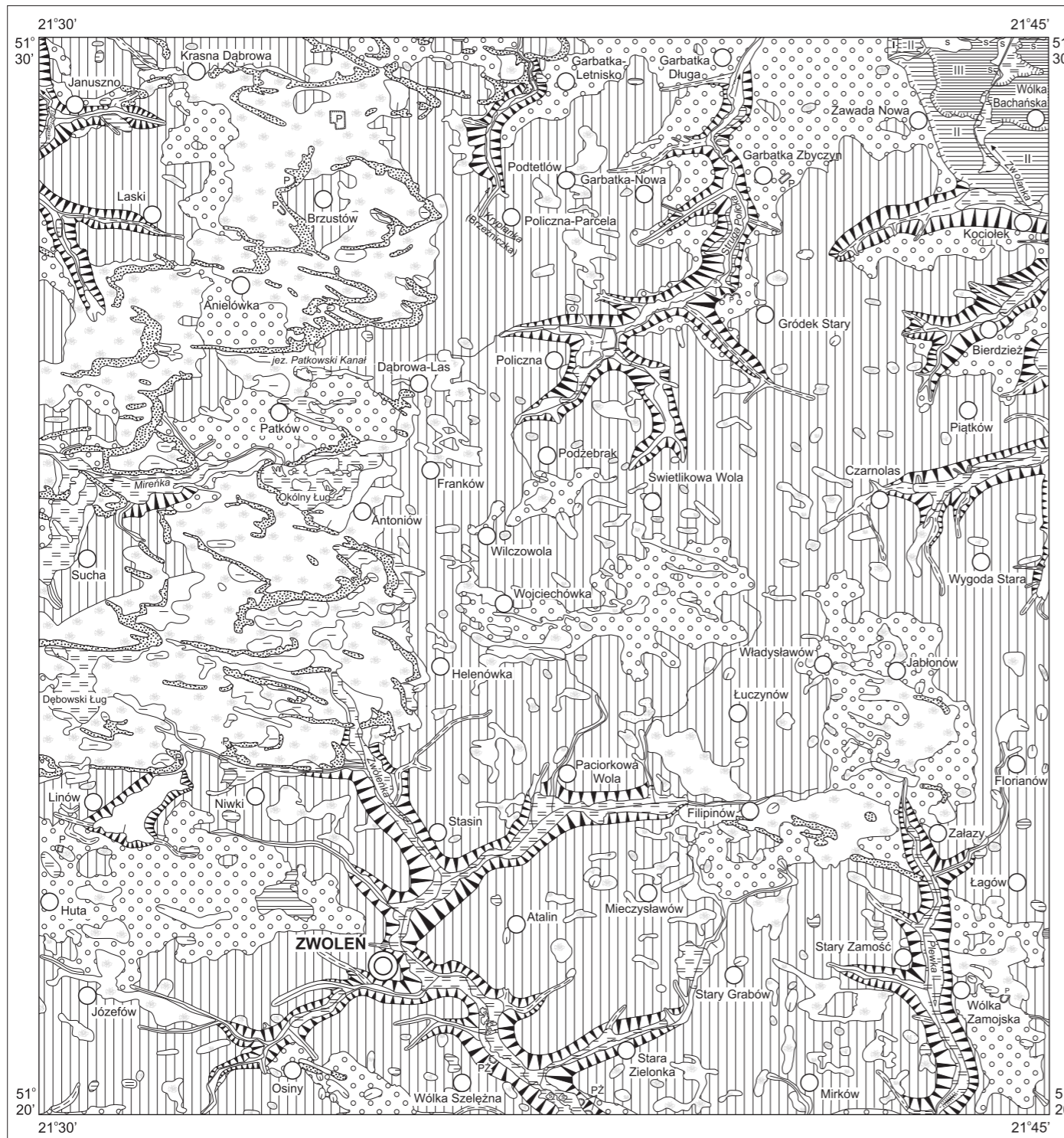


Opracował: M. ŻARSKI

Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000
Ark. Żwoleń (709)

SZKIC GEOMORFOLOGICZNY

Skala 1:100 000



Formy lodowcowe

Wysoczyzna morenowa płaska (wysokości względne do 2 m, nachylenie do 2°)

Formy utworzone w strefie martwego lodu

Moreny martwego lodu

Formy wodnolodowcowe

Równiny sandrowe i wodnolodowcowe w ogólności

Równiny zastoiskowe

Ozy

Kemy

Zagłębienia powstałe po martwym lodzie

Formy eoliczne

Wydmy

Równiny piasków przewianych

Zagłębienia deflacyjne

Formy rzeczne

Dna dolin rzecznych

Tarasy akumulacyjne w dolinach rzecznych

Krawędzie i stoki: a - wysoczyzny, b - tarasów

Dolinki w ogólności, nierozdzielone

Formy denudacyjne

Długie stoki

Stożki napływowe

Formy utworzone przez roślinność

Równiny torfowe

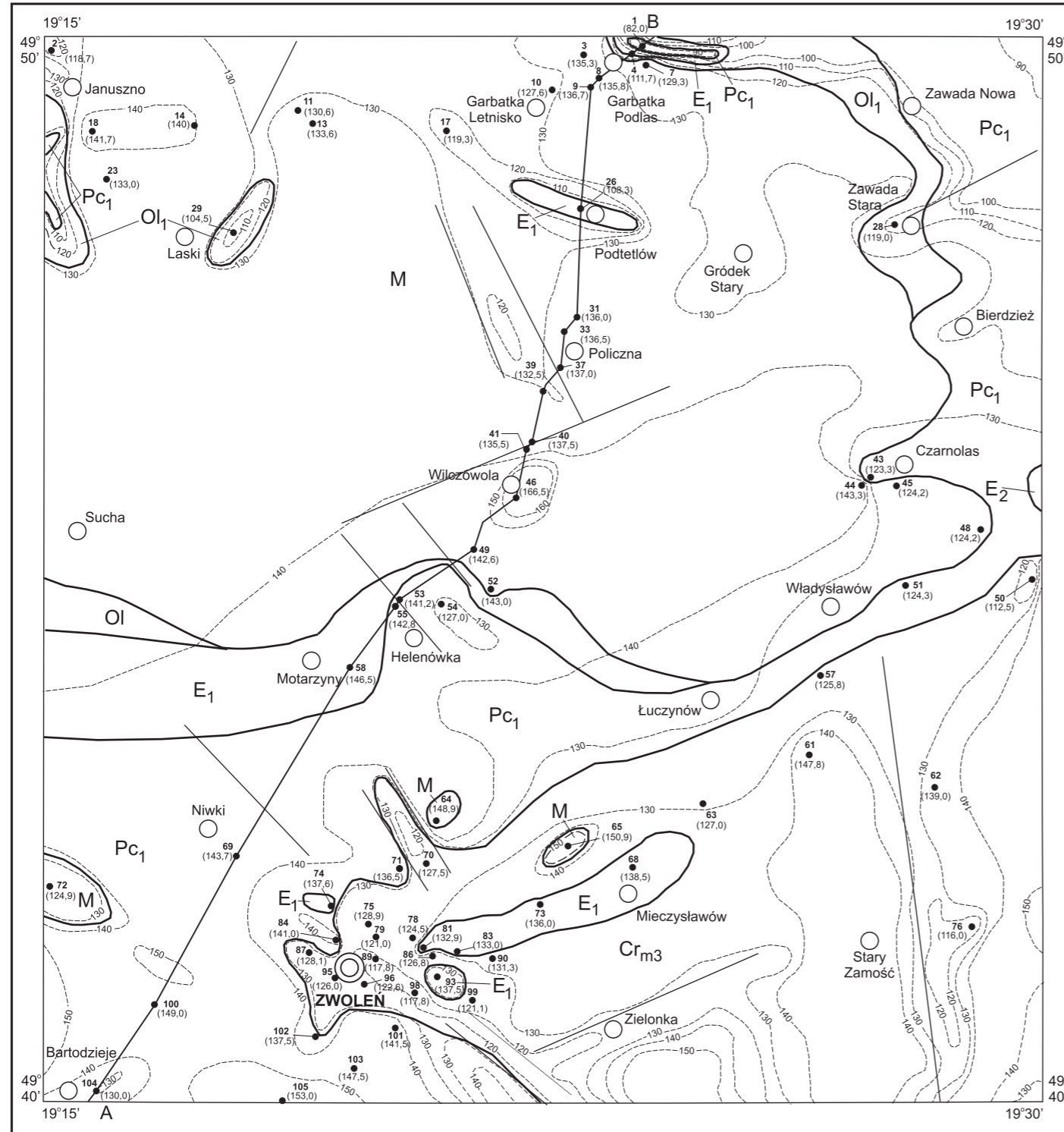
Formy antropogeniczne

Piaskownie, żwirownie (PŻ), piaskownie (P)

Dna stawów

Opracował: M. ŻARSKI, J. ZAJĄCZKOWSKI





Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000
Ark. Zwolen (709)

SZKIC GEOLOGICZNY ODKRYTY

Skala 1:100 000

NEOGEN	MIOCEN	M	Piaski kwarcowe, mułki i ility	
PALEOGEN	OLIGOCEN	Ol₁	Piaski kwarcowe i mułki	OLIGOCEN DOLNY
		EOCEN	E₂	Mułki i ility
	E₁		Piaski, mułki i ility z wkładkami węgla brunatnego	EOCEN DOLNY
	PALEOCEN	Pc₁	Margle	PALEOCEN DOLNY
KREDA	KREDA GÓRNA	Cr_{m3}	Margle	MASTRYCHT GÓRNY MASTRYCHT

— Granice geologiczne
 - - - 130 - - - Izohipsy stropu utworów podczwartorzędowych w m n.p.m.
 — Uskoki
 ● 51 (124,3) Wybrane otwory wiertnicze z numeracją według mapy geologicznej (liczba oznacza wysokość stropu utworów starszych od czwartorzędu w m n.p.m.)
 A — B Linia przekroju geologicznego na mapie geologicznej

Opracował: M. ŻARSKI

