

Analiza rozwoju leja depresji odkrywki węgla brunatnego Tomisławice w latach 2009–2019 i jego wpływu na stosunki gruntowo-wodne Pojezierza Kujawskiego

Jan Przybyłek¹



Analysis of the development of the depression cone of the Tomisławice lignite open pit mine in 2009–2019 and its impact on the soil and water relations of the Kujawy Lakeland. Prz. Geol., 70: 527–542; doi: 10.7306/2022.18

A b s t r a c t. The Tomisławice lignite deposit is located in the Kujawy Lakeland (central Poland), on the watershed between the Noteć River (including Gopło Lake) and the Zgłowiączka River (including Lake Głuszyńskie) catchment areas. The dewatering began in January 2009. In June 2011, the lignite seam was uncovered. The deposit was formed in a local Mesozoic depression within a tectonic structure, composed of Upper Cretaceous fractured marls. The average thickness of the lignite seam is about 7 m. All the boundaries of the Tomisławice deposit are erosional. The top of the lignite seam, which is lowered to the north is at the average depth of between 38.3 m and

46.8 m. In the study area of the Kujawy Lakeland, groundwater with mineralization of up to $1\text{g}/\text{dm}^3$ occurs down to a depth of 200 m in the Quaternary, Neogene-Paleogene, Cretaceous and Jurassic aquifers in the SE part of the area. The paper provides an analysis of the mine dewatering impact on aquifers within the cone of depression, over 270 km^2 in area, and the mine water drainage rate up to $90\text{ m}^3/\text{min}$. It is based on the data from the monitoring of the soil and water environment from 2008–2019 (groundwater, lakes). The analysis showed a particular mine dewatering impact of the development of the Upper Cretaceous aquifer on the large-scale cone of depression around the Tomisławice open pit mine. The described situation caused the mass drying up of farm wells and wetlands over a distance of up to 9 km from the open pit. The groundwater level on the moraine plateau has been almost completely drained and only to a small extent can it be periodically restored after longer periods of heavy rainfall.

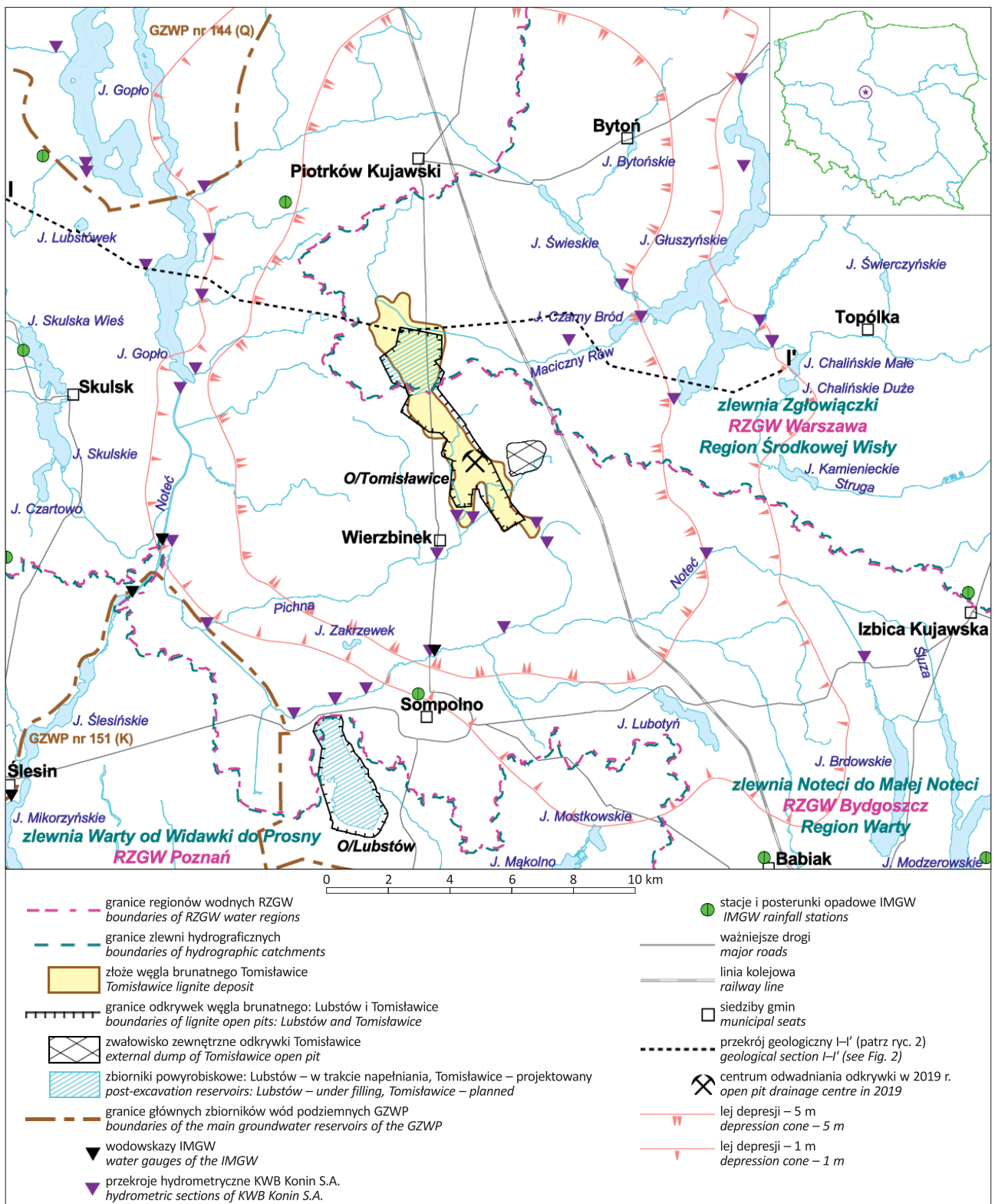
Keyword: lignite deposit, groundwater, mine dewatering, Kujawy Lakeland

Złoże węgla brunatnego Tomisławice znajduje się na Pojezierzu Kujawskim (Kondracki, 1994), na głównym dziale wodnym pomiędzy dorzeczem Odry ze zlewnią rzeki Noteć wraz z jeziorem Gopło oraz dorzeczem Wisły ze zlewnią rzeki Zgłowiączki wraz z Jeziorem Głuszyńskim (ryc. 1). Na rycinie 1 umieszczono podział obszaru na hydrograficzne zlewnie bilansowe, wodowskazy i postęrniki opadowe Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW), przekroje hydrometryczne PAK Kopalni Węgla Brunatnego Konin oraz symbolikę głównych zbiorników wód podziemnych GZWP nr 144 (Q) i GZWP nr 151 (K). W granicach odkrywki Tomisławice zaznaczono centrum jej odwodnienia w miejscu lokalizacji pompowni spągowej w 2019 r. Pompownia była przemieszczana kilkakrotnie, ogółem o ponad 2 km w stosunku do wyjściowej pozycji wkopu otwierającego eksploatację pokładu węgla brunatnego w rejonie wsi Boguszyce k. Wierzbinka. Elementami ilustrującymi rozmiary leja depresji w 2019 r. są: izolonia $s = 5\text{ m}$ podstawowego jego zasięgu wpływu górniczego oraz izolonia depresji $s = 1\text{ m}$, wskazująca na maksymalny zasięg leja depresji w poziomie kredowo-jurajskim, przy uwzględnieniu możliwości udziału innych składników oddziaływania (lokalne ujęcia wody, występowanie niedoboru wody w latach suchych). W pierwszych latach odwadniania odkrywki Tomisławice jej rozwijający się na południe lej depresji zazębiał się w dolinie Noteci z lejem depresji odkrywki Lubstów (ryc. 1). Podstawowe informacje z monitoringu środowiska wodnego rejonu odkrywki węgla brunatnego Tomisławice autor uzyskał po zapoznaniu się z kolejnymi tomami raportów rocznych z lat hydrologicznych 2009–2020 w Dziale Mierniczo-Geologicznym

PAK KWB Konin S.A. w Kleczewie (Poltegor-projekt sp. z o.o. 2009–2021). Autor jest również współautorem i był redaktorem prowadzącym opracowania pt. *Ekspertyza obejmująca analizę aktualnego stanu środowiska gruntowo-wodnego oraz wód powierzchniowych, ich bilansu wodnego, elementów bilansu wodnego sztucznego drenażu oraz bilansu klimatycznego w obszarze oddziaływania eksploatowanej odkrywki węgla brunatnego Tomisławice i rekultywowanej odkrywki węgla brunatnego Lubstów*, wykonanej w firmie Hydroconsult Sp. z o.o. w Poznaniu na zlecenie Regionalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska w Poznaniu (Przybyłek i in., 2021). Ryciny zamieszczone w niniejszej publikacji przygotowano z wykorzystaniem treści przedstawionych w tej ekspertyzie oraz jej załącznikach.

Poniżej nakreślono krótką charakterystykę formalno-prawną związaną z udostępnieniem złoża Tomisławice. Udokumentowane zasoby węgla brunatnego zostały określone na 41,92 mln t, wg stanu na 31.12.2005 r. Średnia miąższość pokładu węgla wynosi 6,2 m. W 2006 r. sporządzono raport o oddziaływaniu odkrywki Tomisławice na środowisko, a w 2007 r. Wójt gminy Wierzbinek wydał decyzję środowiskową. Koncesja nr 2/2008 na wydobywanie węgla i kopaliny towarzyszących ze złoża Tomisławice została udzielona KWB Konin w Kleczewie S.A. przez Ministra Środowiska dn. 6 lutego 2008 r. Określono w niej m.in. granice terenu i obszaru górniczego. W związku z projektowanym odwodnieniem w 2008 r. przez Ministra Środowiska została przyjęta dokumentacja hydrogeologiczna (Szczepiński i in., 2007). Odwodnienie wkopu rozpoczęto w styczniu 2009 r. W czerwcu 2011 r. odsłonięto pokład węgla brunatnego.

¹ Instytut Geologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. Bogumiła Krygowskiego 12, 61-680 Poznań; janex@amu.edu.pl

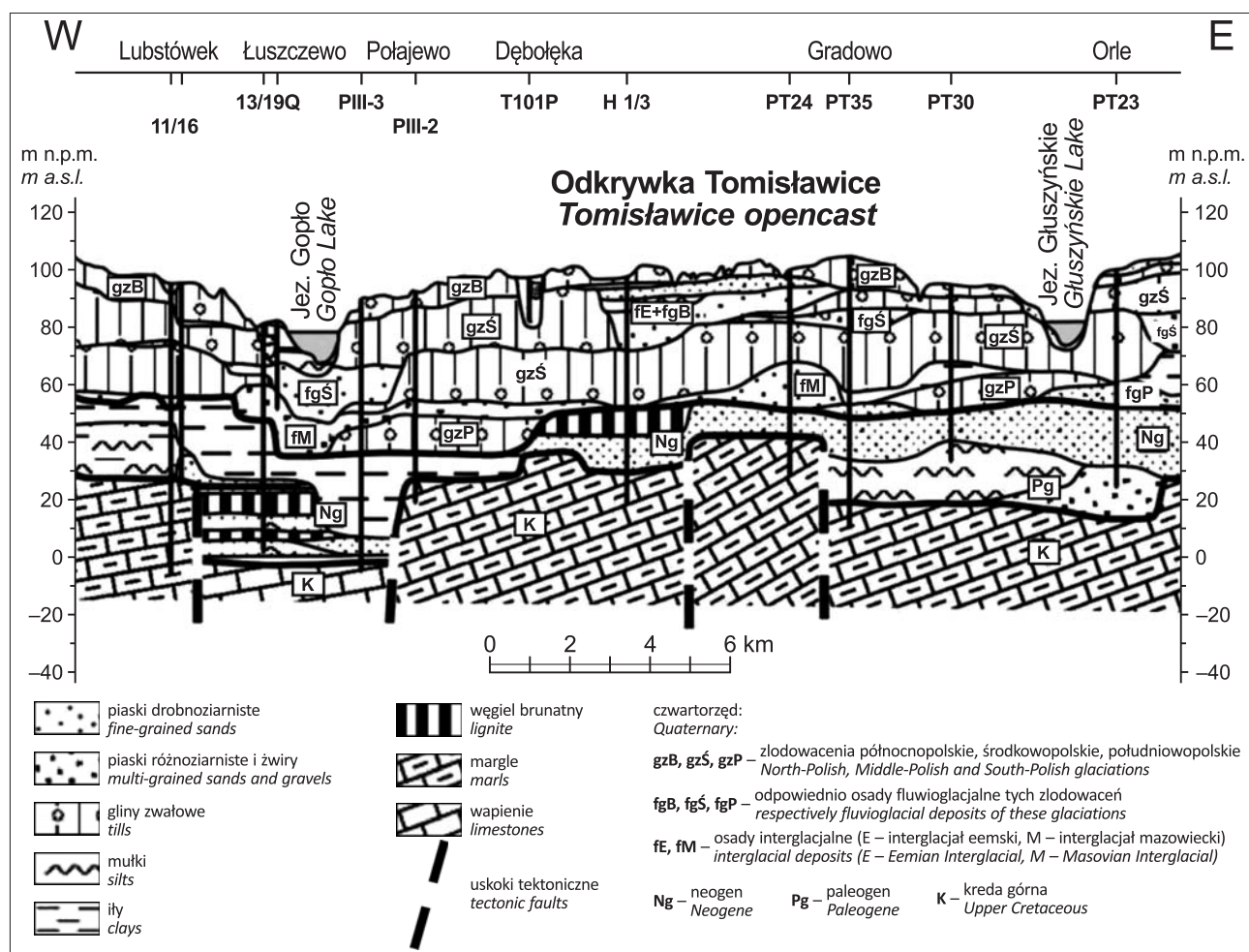


Ryc. 1. Mapa hydrograficzna Pojezierza Kujawskiego z odkrywkami węgla brunatnego PAK KWB Konin S.A.
Fig. 1. Hydrographic map of the Kujawy Lakeland District showing PAK KWB Konin S.A. lignite open pits

OPIS FIZJOGRAFICZNY POJEZIERZA KUJAWSKIEGO

Obszar Pojezierza Kujawskiego znajduje się w zasięgu zlodowacenia Wisły (Mrózek, 1969; Molewski, 1997, 2007). Naturalnymi granicami rejonu, na którym występuje złożo węgla brunatnego Tomisławice (ryc. 1) i do którego można odnieść orientacyjny zasięg leja depresji przy odwadnianiu

odkrywki, są w układzie południkowym dwa jeziora: od zachodu Gopło wraz z Kanałem Ślesińskim (Warta–Gopło) w biegu Noteci oraz od wschodu Jezioro Głuszyńskie (ryc. 2). Od południowego zachodu i od południa orientacyjną granicę stanowi Notec z rozległym polem sandrowym (ryc. 3). Jedyne na północy nie ma jednoznacznej granicy hydrodynamicznej ani strukturalnej dla rozwoju górniczego leja depresji. Przez złożo



Ryc. 2. Przekrój geologiczny Pojezierza Kujawskiego w rejonie odkrywki węgla brunatnego Tomisławice (wg Dąbrowskiego i in., 2015)

Fig. 2. Geological cross-section of the Kujawy Lakeland District in the area of the Tomisławice lignite mine (after to Dąbrowski et al., 2015)

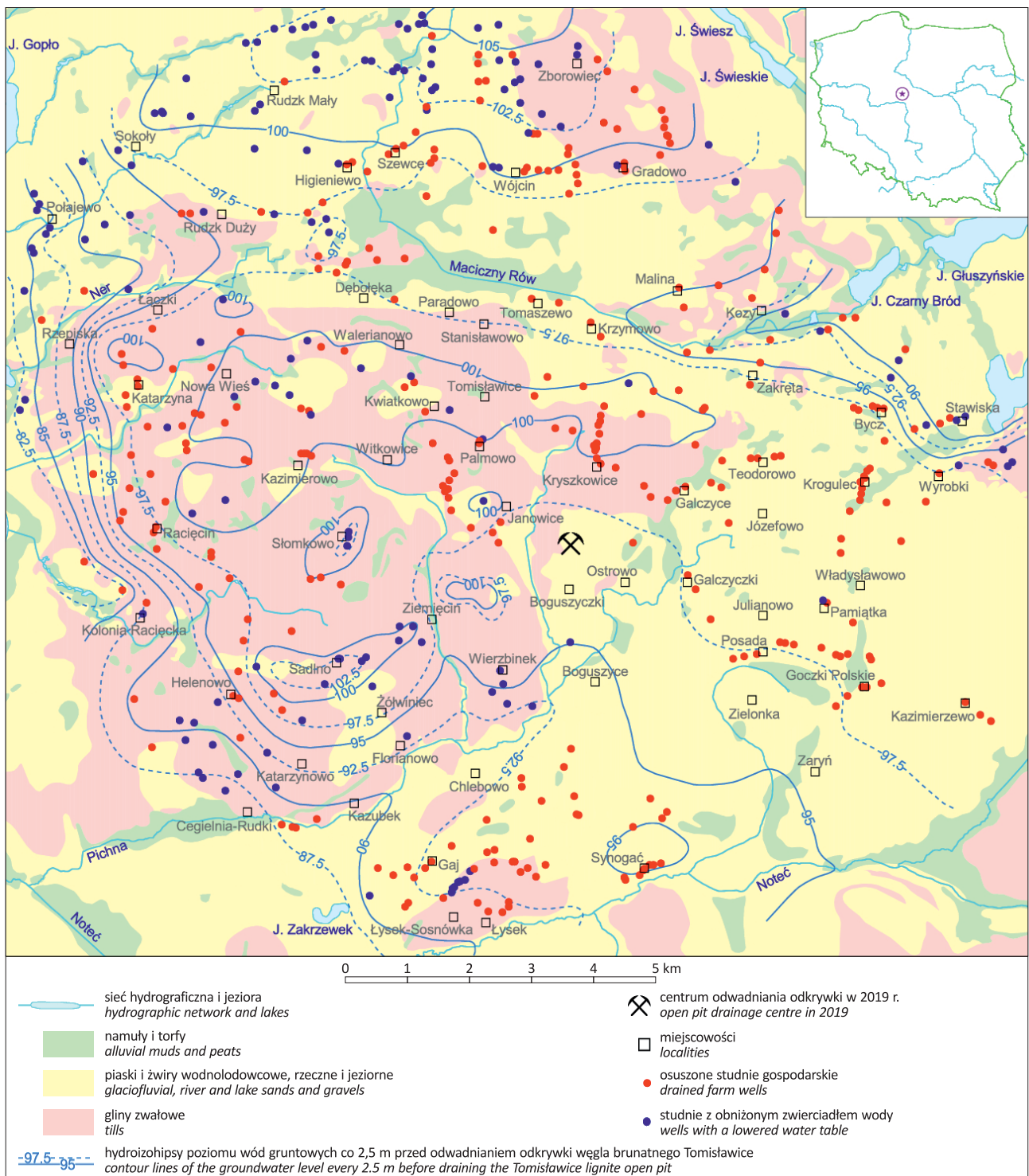
Tomisławice przebiega dział wodny pierwszego rzędu, oddzielający dorzecza Odry i Wisły (Czarnecka, 2005). Przeważająca część złoza znajduje się w dorzeczu Odry, w obrębie zlewni Noteci w rejonie wodnym Warty (ryc. 1). Z obszaru złoza wody są odprowadzane rowami melioracyjnymi do środkowego odcinka biegu Noteci oraz do źródłowego odcinka Pichny, prawobrzeżnego dopływu Noteci. Obszar na północy i na wschód od złoza Tomisławice znajduje się w zlewni drugiego rzędu rzeki Zgłowiączki (Dąbrowski i in., 2015), do której wody są doprowadzane przez lokalne ciek i mniejsze systemy jeziorne związane z Jeziorem Głuszyńskim (ryc. 1, 3). Dolinę Noteci i doliny jej lokalnych dopływów stanowią płaskie obszary w przewadze zajęte pod uprawy rolne i porośnięte łąkami i krzewami. Występują tu małe jeziora, stawy, bagna, rozlewiska, które okazały się bardzo podatne na skutki wywołane procesami odwodnienia górniczego. Reperowym przykładem tego typu degradacyjnego oddziaływania jest płytkie jezioro Zakrzewek, położone na płaskim międzyrzeczu Noteci i Pichny (ryc. 1, 3). Charakterystycznymi obiektami w strefie wododziałowej na wysoczyźnie morenowej są bezodpływowe zagłębienia ewapotranspiracyjne, również bardzo podatne na presję odwodnieniową. W trakcie odwadniania odkrywki Tomisławice gleby hydrofilne na tego typu obszarach zostały zdegradowane na wysoczyźnie morenowej w stronę jeziora Czarny Bród oraz w lokalnej zlewni Macicznego Rowu (ryc. 1, 3).

W otoczeniu złoza węgla brunatnego Tomisławice występują następujące jednostki morfogenetyczne:

– subglacjalna rynna Gopła (Molewski, 2012) o przebiegu południkowym, częściowo dwudzielna (ryc. 1). Jej obecne dno, nie uwzględniając części zajętej przez jezioro, występuje ok. 25 m poniżej otaczających wysoczyzn morenowych (ryc. 2). Szerokość rynny jest zmienna i waha się w granicach 1–3 km. Maksymalna głębokość jeziora wynosi 16,6 m, średnia – 3,6 m (Paślowski, Błaszczuk, 1970), a miąższość wypełniających je osadów biogenicznych osiąga 15 m. Średni poziom zwierciadła wody w Gopole wynosi 76,9 m n.p.m. (ryc. 8). W wielu miejscach rynny goplańskiej występują w strefie brzegowej jeziora Gopła równiny torfowe;

– wysoczyzna moreny falistej (Molewski, 2012) na E od Gopła, która jest rozwinięta w stronę złoza Tomisławice i Jeziora Głuszyńskiego (ryc. 2). Na wschód od granicy złoza wysoczyzna morenowa rozprzestrzenia się w przedziale rzędnych od 100 m n.p.m. do miejscami nawet 110 m n.p.m. Znajdujące się w pobliskiej niecce Jezioro Głuszyńskie ma zwierciadło wody na rzędnej ok. 80,2 m n.p.m. (ryc. 8). Jego głębokość maksymalnie wynosi 36,5 m, przy średniej 9,2 m. Wododziałowy charakter wysoczyzny był i jest decydujący dla kształtowania się leja depresji przy odwadnianiu odkrywki w latach 2009–2019 i nadal;

– równina wodnolodowcowa (Kozydra, 2013; Kozydra, Brzeziński, 2013) rozwinięta na SE i S od złoza, obejm-



Ryc. 3. Mapa hydroizohips poziomu wód gruntowych w rejonie złoża węgla brunatnego Tomislawice w 2008 r. i zakres osuszenia studni gospodarskich w wyniku odwadniania odkrywki w latach 2009–2019

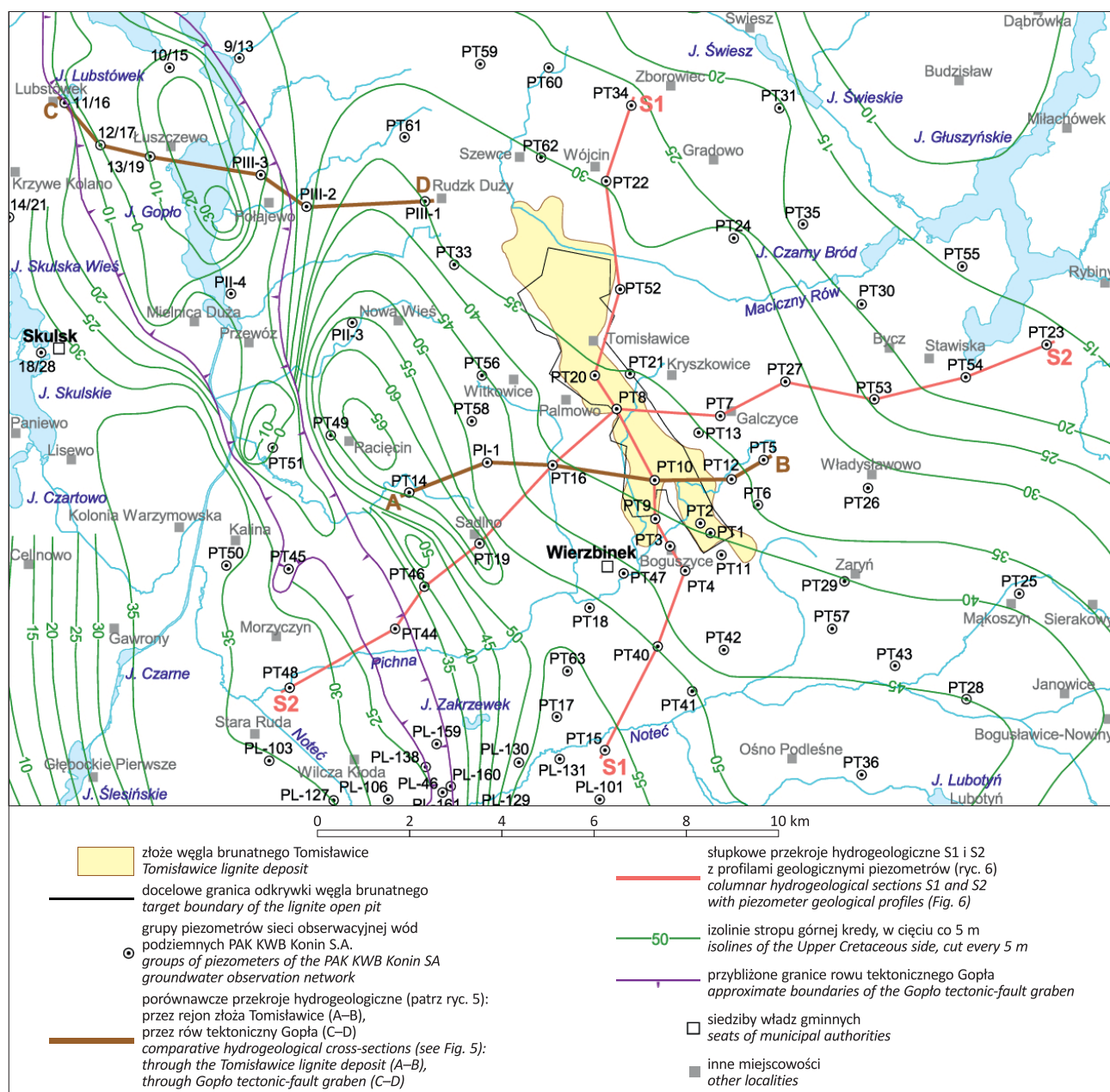
Fig. 3. Map of contour lines of the groundwater table in the area of the Tomislawice lignite open pit in 2008 and the scope of drainage of farm wells as a result of open pit drainage in 2009–2019

mująca od południa pasem osadów piaszczystych wysokością morenową ze złożem Tomislawice, jest odwadniana przez rzeki Noteć i Pichna (ryc. 3).

ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ

Złoże węgla brunatnego Tomislawice znajduje się w wschodniej części niecki mogileńsko-lódzkiej na północno-zachodnim skłonie struktury solnej, wyróżnianej w podziale tektonicznym jako antyklina Gopła (Dadlez i in.,

2000). Złoże powstało w lokalnym obniżeniu mezozoiku w obrębie zrębu tektonicznego, zbudowanego ze spękanych margli kredy górnej (ryc. 2, 5A, B). Na wschód i na zachód od tego zrębu powierzchnia mezozoiku jest znacznie obniżona pod strefami występowania jezior rynnowych zaznaczonych na przekroju geologicznym (ryc. 2). Wyimiarą wyróżnia się w szczególności zapadlisko stropu kredy górnej pod jeziorem Gopło, w postaci rowu tektonicznego zgodnego z biegiem rynny Gopła. Geologiczna geneza rynny jeziora Gopła była już analizowana w publikacji

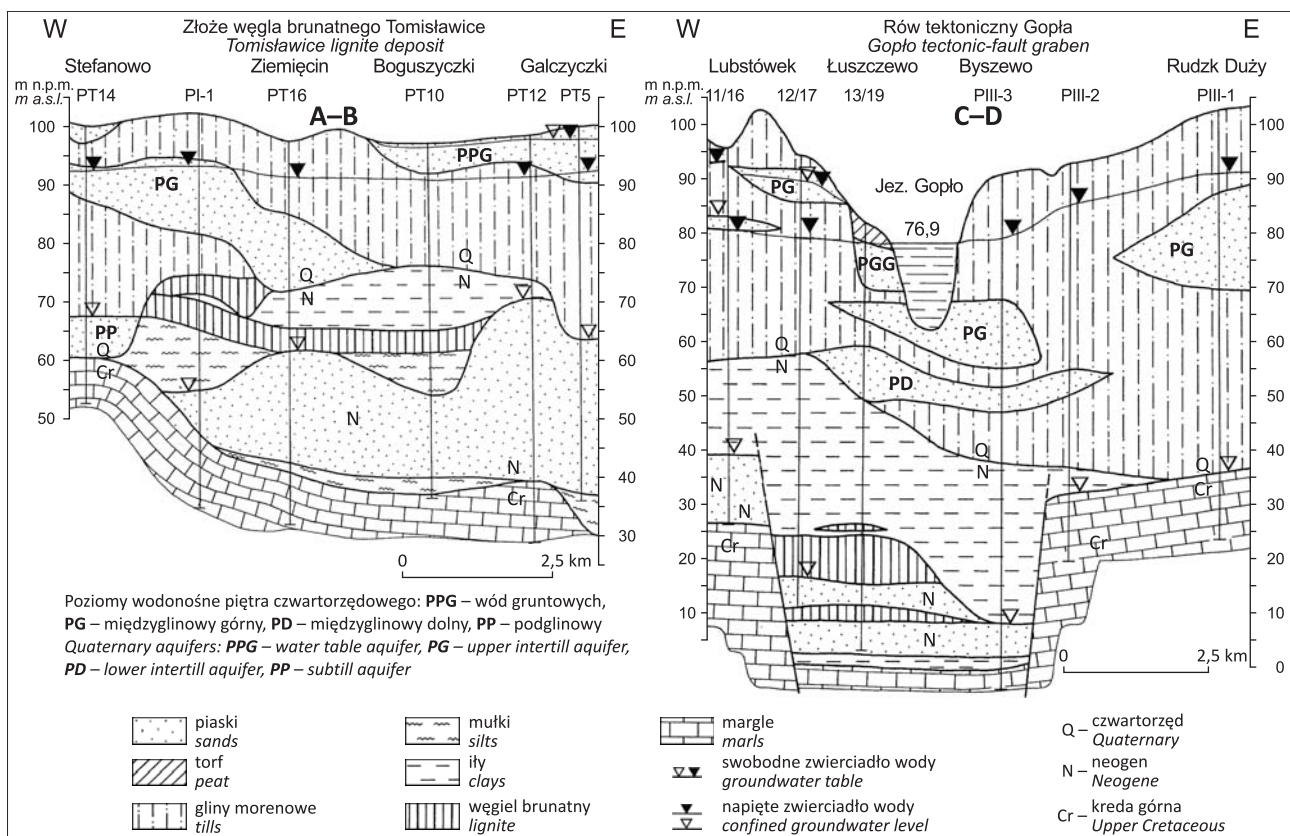


Ryc. 4. Mapa rozmieszczenia punktów sieci obserwacyjnej wód podziemnych w rejonie złoża węgla brunatnego Tomislawice na tle morfologii stropu osadów formacji wodonośnej górnej kredy

Fig. 4. Map of the distribution of points of the groundwater observation network in the area of the Tomislawice lignite deposit against the background of the morphology of the Upper Cretaceous aquifer sediments

Mrozek (1969) oraz Piekarskiej (1982), a następnie rozwinęta przez Molewskiego (1999). W niniejszym artykule na podstawie kilkuset wierceń przedstawiono prawdopodobne granice rowu tektonicznego Gopła, jako elementu odgrywającego ważną rolę hydrogeologiczną w ograniczaniu rozwoju lejki depresji odkrywki Tomislawice w kierunku zachodnim. Rów tektoniczny Gopła jest północnym przedłużeniem rowu Lubstowa, opisanego w literaturze m.in. przez Widerę (1998, 2000). Powierzchnię stropu górnej kredy przedstawiono szczegółowo w cięciu izolinii co 5 m na mapie hipsometrycznej (ryc. 4) oraz zilustrowano na przekrojach (ryc. 2, 5 i 6). W rejonie złoża Tomislawice w stropie kredy górnej występują margle wapienste i piaszczyste oraz opoki datowane na kampan (Kozula, 1999; Widera, 2021). Skały kampanu są silnie spękanę, przez co stanowią ciągłą, podstawową formację wodonośną w tej części Pojezierza Kujawskiego. Jak już wspomniano,

widoczne na powierzchni górnej kredy oraz na przekrojach struktury tektoniczne mają duże znaczenie w kształtowaniu się lejki depresji przy odwadnianiu górnym. Elementem ekranującym dla rozwoju lejki depresji jest uskoki ze zrzutem ok. 60 m warstwy ilów serii poznańskiej miocenu w obrębie rowu tektonicznego Gopła po jego wschodniej stronie (ryc. 5, przekrój C–D). Natomiast ciągłość masywu wodonośnych margli kredy górnej w układzie południe–północ (ryc. 6, przekrój S1) sprzyja rozwojowi lejki depresji na południe w stronę doliny Noteci oraz na północ w stronę Piotrkowa Kujawskiego i dalej pod Radziejów (ryc. 8). W obniżeniach stropu górnej kredy, najczęściej na zwierzelinie margli, zalegają morskie osady klastyczne w postaci oligoceńskich piasków glaukonitowych o zielonym odcieniu (Chomiak i in., 2020). Według opisów dokumentacyjnych (Kozula, 2001) oraz literaturowych (Chomiak i in., 2020; Widera, 2021) neogen rozpoczyna się



Ryc. 5. Porównawcze przekroje budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych złoża węgla brunatnego Tomisławice (A–B) i w rejonie jeziora Gopło (C–D)

Fig. 5. Comparative cross-sections of the geological structure and hydrogeological conditions of the Tomisławice lignite deposit (A–B) and in the area of Lake Gopło (C–D)

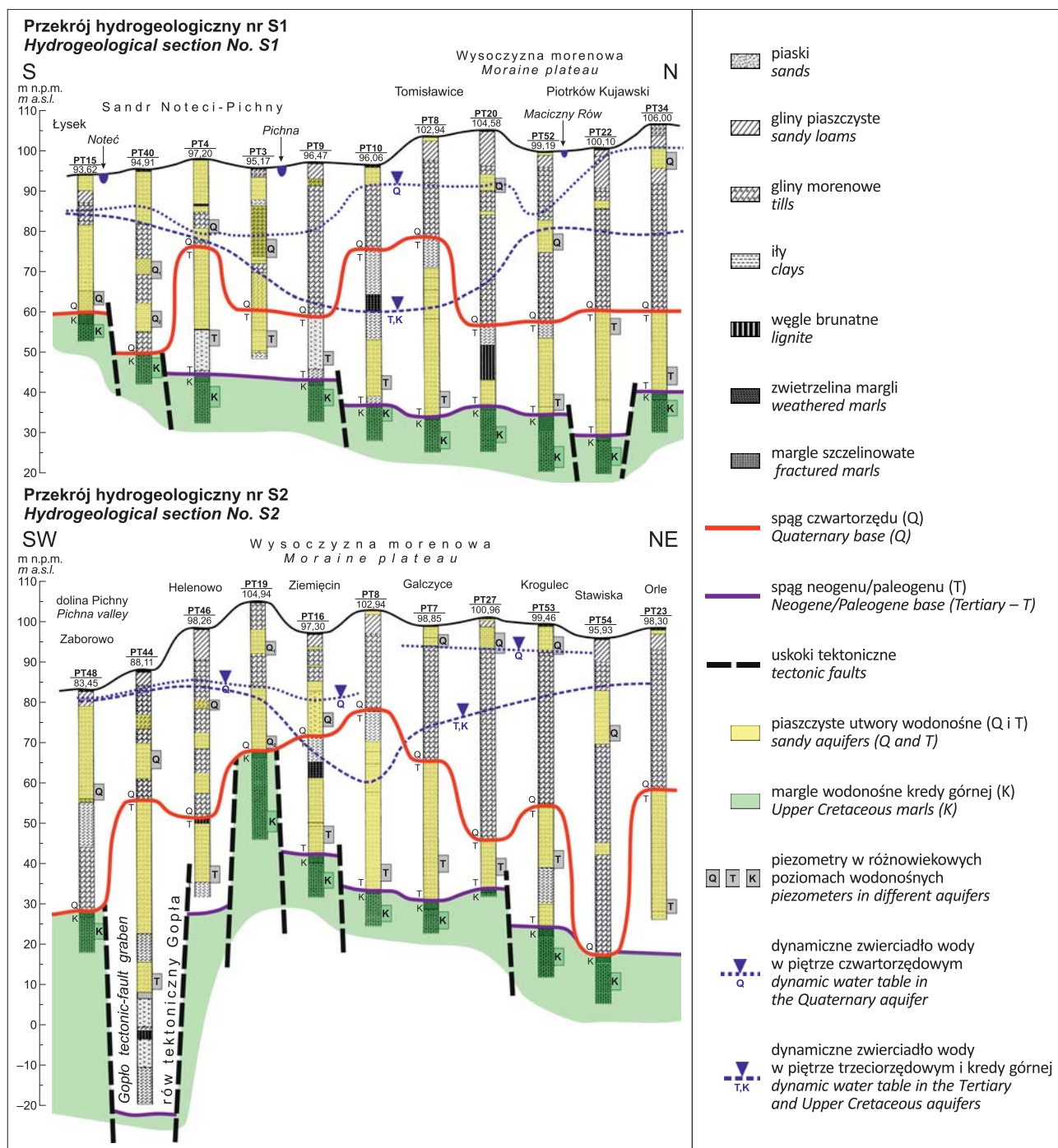
warstwą drobnoziarnistych piasków o miąższości 20–30 m (ryc. 5, przekrój A–B; ryc. 6), osady te należą do formacji koźmińskiej miocenu. Wyżej zalegają osady formacji poznańskiej, która tradycyjnie dzieli się w literaturze na dwa ogniwa: starsze iłów szarych (ogniwo środkowopolskie) i młodsze wielkopolskie w postaci iłów zielonych i iłów płomienistych (pstrych). Zasadniczy pokład węgla brunatnego złoża Tomisławice, zaliczany do środkowopolskiej grupy pokładów, jest zbudowany z węgla ziemistego, miejscami kruchego, zawierającego ksylit. Średnia miąższość pokładu węgla wynosi ok. 7 m i zmniejsza się na skutek czwartorzędowej erozji stropu w części północnej złoża do 5,7 m. Wszystkie granice złoża Tomisławice mają charakter erozyjny. Strop obniżającego się ku północy pokładu węgla brunatnego zalega na głębokości średnio 38,3–46,8 m (Kozula, 2001). Seria nadwęglowa osadów ilastych i piaszczystych ma niewielki udział w profilu pionowym miocenu ze względu na głęboką erozję plejstoceniową, która doprowadziła do redukcji jej miąższości lub ich całkowitego usunięcia (ryc. 2, 5, 6). W niektórych miejscach, bezpośrednio na marglach górnej kredy, zalegają osady czwartorzędowe: piaszczyste z interglacjału wielkiego albo gliny zwałowe najstarszych glacjałów (przekroje na ryc. 5 i 6). Osady czwartorzędowe występują na obszarze Pojezierza Kujawskiego w postaci trzech serii osadów glacialnych i trzech osadów interglacialnych lub interstadialnych ostatnich zlodowaceń. Postępując od powierzchni terenu są to: gliny młodsze i starsze zlodowacenia Wisły, gliny zwałowe zlodowacenia Warty oraz piaski i żwiry wodnolodowcowe z tych okresów, a także miejscami osady starszego plejstocenu (ryc. 2). Całkowita miąższość pokrywających osadów czwartorzędowych jest bardzo znaczna, sięgając

w wielu profilach wiertniczych 35–60 m (ryc. 6). W granicach zasięgu pokładu węglowego miąższość czwartorzędowa zmienia się od 26,9 do 56,9 m, średnio ok. 40 m (Kozula, 2001). Stopień złożoności sedymentacji utworów czwartorzędowych w bezpośrednim sąsiedztwie złoża Tomisławice opisali Widera i in. (2017), a w dalszym Kozydra i Skąpski (1995) w kontekście studiów stanowiska interglacjału eemskiego w miejscowości Ruskówce, położonej w pobliżu koryta rzeki Pichny w odległości ok. 7 km na SW od granicy złoża. Utwory geologiczne na powierzchni terenu przedstawiono w formie zgeneralizowanej treści arkuszy *Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski (SMGP)* w skali 1 : 50 000 na rycinie 3.

WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Na analizowanym obszarze Pojezierza Kujawskiego wody podziemne o mineralizacji do $1\text{g}/\text{dm}^3$ występują do głębokości 200 m w utworach wodonośnych czwartorzędowych, neogenu-paleogenu, kredy i ponadto jury w części SE obszaru (Dąbrowski i in., 2015). Ilustracją rozmieszczenia tych utworów jest przekrój geologiczny z cytowanej publikacji (ryc. 2). Przekroje ze stratyfikacją hydrogeologiczną warstw skalnych przedstawiono dla rejonu złoża węgla brunatnego Tomisławice i rowu tektonicznego Gopła na rycinie 5, a opis warunków hydrogeologicznych na podstawie danych przygotowanych do konstrukcji modelu numerycznego (Dąbrowski, Straburzyńska-Janiszewska, 2021), w granicach pola analizy hydrodynamicznej oddziaływania odwodnienia odkrywki Tomisławice (ryc. 8).

Piętro czwartorzędowe stanowią poziomy wodonośny: wód gruntowych, międzyglinowy górny, międzyglinowy



Ryc. 6. Przekroje hydrogeologiczne z profilami geologicznymi piezometrów (S1 i S2) w rejonie odkrywki węgla brunatnego Tomisławice (wg kart profili wiertniczych Działu Geologiczno-Mierniczego PAK KWB Konin S.A.)

Fig. 6. Hydrogeological cross-sections showing geological profiles of piezometers (S1 and S2) in the area of the Tomisławice lignite open pit (acc. to the drilling profile cards of the Geological and Measurement Department of PAK KWB Konin S.A.)

dolny, lokalnie podglinowy (ryc. 5). Poziom wód gruntowych jest związany z osadami rzecznyymi holocenu, osadami zlodowacenia Wisły, częściowo interglacjału eemskiego oraz osadami w rynnach jezior; pozostałe zaś poziomy wód głębszych – z osadami interglacjałów i osadami starszych zlodowaceń (ryc. 2, 5).

Poziom wód gruntowych, o miąższości najczęściej 5,0–10,0 m, cechuje bardzo duża zmienność wynikająca ze zróżnicowania warunków jego zasilania i drenażu oraz wahań zwierciadła wody związanych z przemiennością występowania lat suchych i mokrych.

Poziom międzyglinowy górny wiąże się z warstwami piaszczysto-żwirowymi rozdzielającymi gliny morenowe

zlodowacenia Wisły od zlodowacenia Warty. Miąższość warstw wodonośnych jest niewielka, od kilku do 15,0 m, najczęściej od 5 do 7 m.

Poziom międzyglinowy dolny jest związany z warstwami piaszczysto-żwirowymi interglacjału mazowieckiego i fluwiogłacjałów zlodowacenia Warty i zlodowaceń południowopolskich. Na terenie badań rozprzestrzenia się on regionalnie i występuje na prawie połowie obszaru, głównie w części środkowej i północnej w obrębie dolin kopalnych. W rejonie dolin kopalnych miąższość osadów wodonośnych wynosi 5,0–60,0 m (najczęściej 10,0–40,0 m), zaś w obrębie fluwiogłacjałów – do ok. 20,0 m.

Piętro neogeńsko-paleogeńskie to mioceni poziom wodonośny i miejscami oligoceni (ściśle powiązane hydraulicznie). Występowanie poziomu mioceni jest uzależnione od morfologii podłoża mezozoicznego i jego tektoniki (ryc. 5 i 6). Poziom mioceni prowadzi wody subartezyjskie i artezyjskie, jego zasilanie odbywa się poprzez przesiąkanie wód z piętra czwartorzędowego, głównie w strefach zmniejszenia się nadkładu ilów, lub lokalnie poprzez przepływy w oknach hydrogeologicznych.

Poziom oligoceni tworzą piaski glaukonitowe, najczęściej drobne, o miąższości od kilku do ok. 20,0–30,0 m, występujące lokalnie w zagłębieniach podłoża mezozoicznego (rejon Lubstowa). Poziom ten ma podobne warunki zasilania i drenażu jak poziom mioceni i pod tym względem można mówić ogólnie o wspólnym poziomie wodonośnym.

Piętro kredowe i jurajskie stanowią porowe i szczelinowe skały kredy i jury. Osady te zalegają na rozmaitej głębokości, zależnie od zróżnicowania erozyjnego i tektoniki podłoża podkenozoicznego (przekroje na ryc. 2, 5 i 6). Najbardziej wodonośna jest strefa szczelin wietrzeniowych i tektonicznych, która występuje do głębokości ok. 90 m w strefach kontaktu margli z piaskami i żwirami dolin czwartorzędowych oraz z piaskami mioceni. Masyw skał szczelinowych cechuje się bardzo zmiennymi parametrami hydrogeologicznymi.

SYSTEM KRĄŻENIA WÓD PODZIEMNYCH

Układ przepływu wód podziemnych we wszystkich opisanych piętrach jest podporządkowany wododziałowej pozycji hydrograficznej tej części Pojezierza Kujawskiego (ryc. 1). Postać kartograficzną tego przepływu zilustrowano mapą hydroizohips poziomu wód gruntowych (ryc. 3), sporządzoną wg stanu z 2008 r., na podstawie pomiarów wykonanych w kilkuset studniach gospodarskich przed odwadnianiem odkrywki. Mapa obejmuje obszar wysoczyzny morenowej w rejonie Tomisławic oraz okalających obniżen morfologicznych w granicach zasięgu leja depresji. Przyjęte na mapie cięcie hydroizohips co 2,5 m od izolacji 102,5 m n.p.m. na wysoczyźnie morenowej do izolacji 82,5 m n.p.m. przy jeziorze Gopło oddaje obraz pola hydrodynamicznego, wskazując na rozmieszczenie obszarów zasilania, stref przepływu oraz stref drenażu rzeczno-jeziornego (Noteć, Maciczny Rów, Jezioro Głuszyńskie, Gopło). Układ hydroizohips wyraźnie koresponduje z rzeźbą i budową geologiczną strefy powierzchniowej. Dopiero proces wieloletniego odwadniania odkrywki Tomisławic przebudował układ krążenia wód podziemnych w odwadnianych poziomach wodonośnych (ryc. 6, 8). Szersze odniesienie do warunków hydrodynamicznych w kontekście oddziaływania odkrywek KWB *Konin* na systemy wodonośne Pojezierza Kujawskiego zawarto w publikacji Fiszera i Derkowskiej-Sitarz (2010) oraz Szczepińskiego i Straburzyńskiej-Janiszewskiej (2011).

ORGANIZACJA MONITORINGU WÓD PODZIEMNYCH I JEZIOR W STREFIE POTENCJALNEGO WPLYWU ODWADNIANIA ODKRYWKI TOMISŁAWICE

Na sieć monitoringu składają się studnie gospodarskie, górnicze sieci wiązek piezometrów z ich zabudową we wszystkich poziomach wodonośnych w rejonie spodzie-

wanego zasięgu leja depresji oraz monitoring wytypowanych jezior związanych z poziomami wód podziemnych w zagrożonych obszarach ochrony przyrodniczej.

Studnie gospodarskie

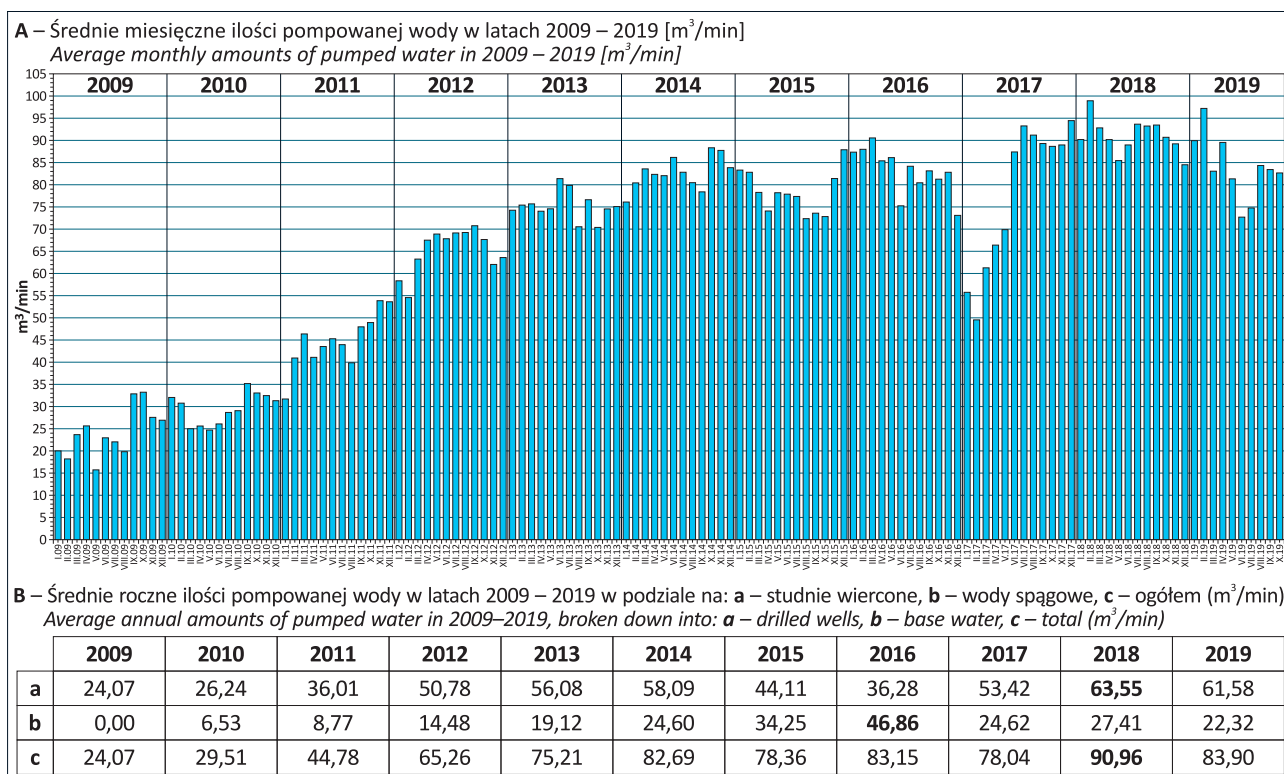
Ważnym elementem organizacji monitoringu wód gruntowych była przeprowadzona przez KWB *Konin* inwentaryzacja studni gospodarskich przed procesem odwadniania odkrywki Tomisławic. W 2008 r. określono geodezyjnie i pomierzono 1537 studni (głębokość studni, poziom zwierciadła wody) na terenie górniczym odkrywki Tomisławic. Do dalszych pomiarów wytypowano 571 studni reperowych, w których corocznie są wykonywane cztery serie pomiarowe (co kwartał). Karty studni i elektroniczna baza danych pomiarowych, a także baza danych z pomiarów w piezometrach i stanów jezior na wodowskazach są prowadzone w Dziale Mierniczo-Geologicznym KWB *Konin* w Kleczewie. Pierwsze pomiary w ustanowionej sieci wykonano w listopadzie 2008 r. Wyniki tych pomiarów w postaci mapy hydroizohips przedstawiono na rycinie 3.

Piezometry

W pierwszej kolejności wykonano sieć otworów obserwacyjnych w stronę jeziora Gopło i wokół niego, w celu określenia potencjalnych i rzeczywistych zagrożeń dla Goplańskiego Parku Tysiąclecia przy odwadnianiu odkrywki Tomisławic. Roboty wiertnicze podjęto w ostatnich miesiącach 2007 r. Odwiercono ogółem 40 otworów obserwacyjnych w rejonie jeziora Gopło oraz na obszarze pomiędzy jeziorem Gopło a odkrywką Tomisławic (ryc. 4). Wiazkami piezometrów ujęto oddzielnie poziomy wodonośne w obrębie otworów czwartorzędowych (Q), neogeńskich (T) i kredowych (K). W zależności od usytuowania wykonane otwory zostały później włączone w system obserwacyjno-pomiarowy zewnętrzny lub wewnętrzny sieci kopalnianej, z których każdy pełni odmienną rolę.

Sieć zewnętrzna została ukierunkowana na badania wpływu odwadniania górniczego na teren pomiędzy złożem węgla brunatnego a jeziorem Gopło oraz w obszarze rynny Gopła. Zrealizowano trzy z projektowanych promieni obserwacji piezometrycznych (ryc. 4): PI – na kierunku zachodnim od odkrywki do kanału Warta–Gopło (zespół PI-1), PII – na kierunku zachodnim od odkrywki do jeziora Gopło (zespoły: PII-3, PII-4), PIII – na kierunku NWW od odkrywki do odległości ok. 200 m przed jeziorem Gopło (zespoły: PIII-1, PIII-2, PIII-3). Wykonano także specjalną sieć otworów badawczo-obszernych wokół Gopła w Nadgoplańskim Parku Tysiąclecia (ryc. 4) z podwójną numeracją piezometrów (np. 13/19, 9/13). Sytuację geologiczną tych zespołów otworów ukazano na przekrojach (ryc. 5).

Sieć wewnętrzna to zespoły otworów obserwacyjnych zlokalizowanych w obrębie projektowanej odkrywki, w barierach studni odwodnieniowych oraz najpierw w bliskim sąsiedztwie odkrywki, a w następnych latach w dalszych odległościach na obszarze rozwijającego się i prognozowanego leja depresji. Otwory te od początku oznaczano indeksem „PT” oraz numerem wg kolejności wykonywania (ryc. 4). Pierwsze grupy otworów obserwacyjnych sieci wewnętrznej wykonano od marca do czerwca 2009 r., już w trakcie odwadniania terenu pod wkop otwierający w Boguszycach. Pomiary w sieci wewnętrznej podjęto w czerw-



Ryc. 7. Wydajność systemów odwodnieniowych odkrywki węgla brunatnego Tomisławice w latach 2009–2019 na podstawie danych z opracowania Poltegor-projekt sp. z o.o. *Monitoring środowiska wodnego..., część IV Tomisławice*. Wrocław, luty 2020 (Tarnowski i in., 2020)

Fig. 7. The capacity of the drainage systems of the Tomisławice lignite open pit in the years 2009–2019 based on data from the study by Poltegor-projekt sp. z o.o. *Monitoring of the aquatic environment ..., part IV Tomisławice*. Wrocław, February 2020 (Tarnowski et al., 2020)

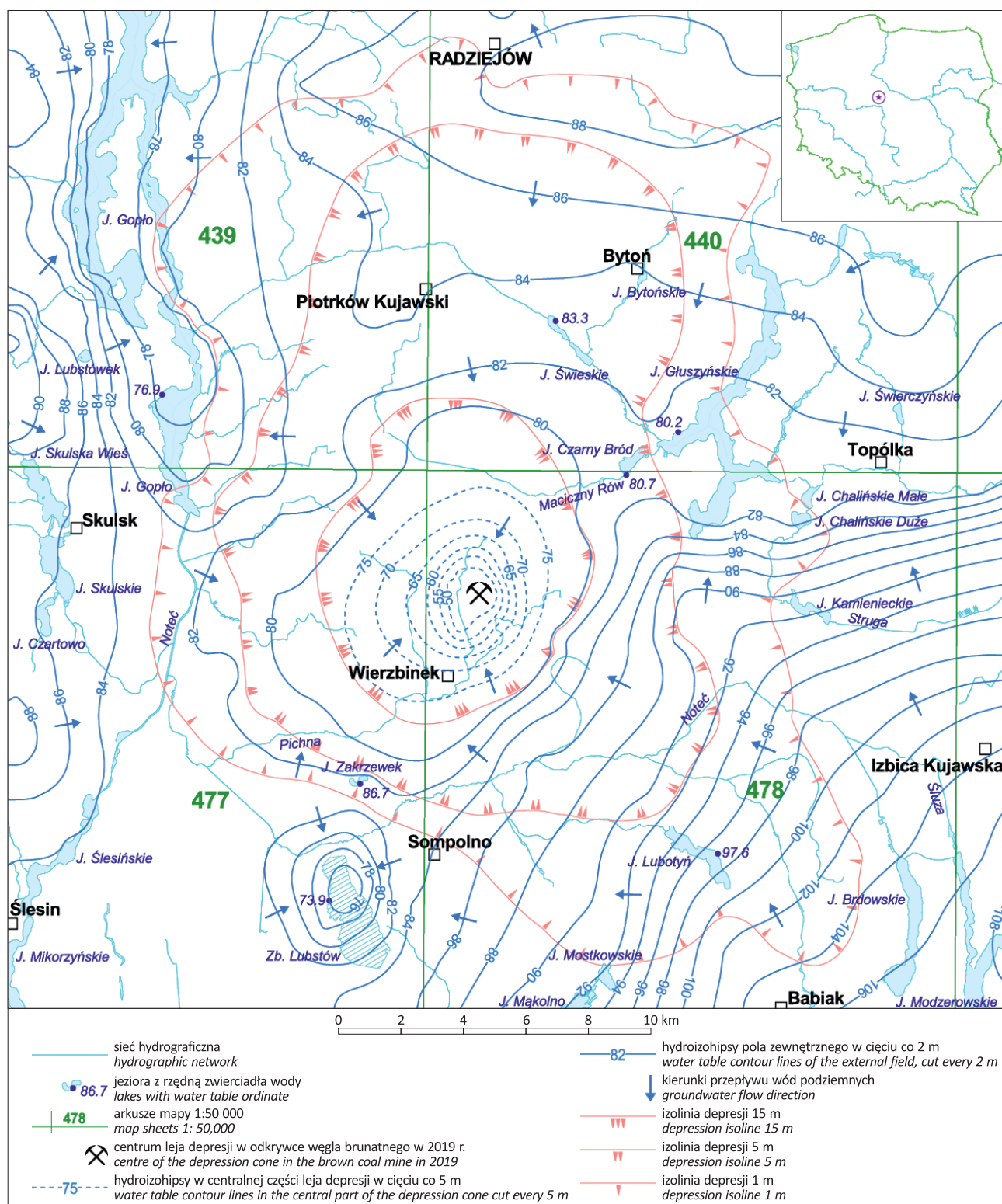
cu oraz w lipcu 2009 r. po półrocznym odwadnianiu złoża. W związku z tym pierwsze pomiary w tych piezometrach i młodszych nie zawsze odpowiadają na przedstawionych wykresach stanowi „zerowemu” (startowemu) zwierciadła wody w poziomach wodonośnych (wykresy na rycinach 12 i 13). Do 2019 r. wykonano łącznie 63 zespoły piezometrów PT – od PT1 do PT63, w których skład wchodzi najczęściej od 2 do 3 piezometrów warstwowych w oddzielnie wykonanych odwiertach. Przykładowe profile geologiczne piezometrów z położeniem ich filtrów przedstawiono na rycinie 6.

Monitoring jezior

Comiesięczne pomiary stanów i temperatury wody w jeziorach podjęto w październiku 2008 r. (Materski, 2009), a więc na trzy miesiące przed rozpoczęciem odwadniania odkrywki Tomisławice (1 stycznia 2009 r.). Pomiarami objęto jeziora w zlewni Zgłowiączki: Świeskie, Czarny Bród, Głuszyńskie, których zlewnie źródłkowe są związane z rejonem wschodniej części wysoczyzny morenowej, na której jest zlokalizowana odkrywka Tomisławice. W zlewni Noteci są obserwowane stany jezior: Czartowo, Gopło, Lubstówek (ryc. 1) oraz niewielkie jezioro Zakrzewek (ryc. 3), położone pomiędzy odkrywkami Lubstów i Tomisławice w strefie wododziałowej pomiędzy rzeką Pichną i rzeką Noteć. Do analizy zmian stanów jezior wynikających ze zmienności bilansu rocznych opadów atmosferycznych wykorzystano obserwacje prowadzone w latach 2008–2020 na kilku stacjach IMGW, w szczególności w położonej najbliższej stacji Sompolno (ryc. 1).

SYSTEMY POBORU WODY I BILANS ODWODNIENIOWY ODKRYWKI W LATACH 2009–2019

W rejonie odkrywki Tomisławice funkcjonują dwa systemy poboru wody: system odwadniania węglowego realizowany zespołami (barierami) wielkośrednicowych studni na przedpolu wyrobiska górniczego i wokół niego wierconymi w odstępach ok. 100 m oraz system powierzchniowego odwodnienia odkrywki, który odprowadza wody opadowe i spągowe wody podziemne ujmowane rowami na półkach nadkładowych, poziomach węglowych oraz pochylniach. Spływ z tych urządzeń melioracji górniczej jest skierowany do zbiorników retencyjnych uformowanych w dnie wyrobiska, przy których funkcjonuje pompownia, wyprowadzająca wody z dna odkrywki na powierzchnię terenu. Odwodnienie studzienne rozpoczęło 1 stycznia 2009 r. Spągowy system odwodnienia działa od sierpnia 2010 r. W trakcie odwadniania złoża Tomisławice w latach 2009–2019 odpompowano łącznie z górotworu oraz zebrano wody spągowe i opadowe z wyrobiska w ilości 379,67mln m^3 , w tym: z systemu studziennego – 262,88 mln m^3 , a z systemu powierzchniowego – 116,79 mln m^3 wody. Analizę procesu odwadniania przedstawiono na rycinie 7, na diagramie A podano średnie miesięczne ilości wody w m^3/min w latach 2009–2019 w ujęciu globalnym; natomiast w tabeli B pod diagramem – zestawienie średnich rocznych ilości wody przy podziale: **a** – ze studni, **b** – ze spągu odkrywki, **c** – w ujęciu globalnym. Przez pierwsze pięć lat (2009–2013) odwadniania odkrywki przyrost poboru wody był równomierny – od 15–20 m^3/min w pierwszych miesiącach 2009 r. do 70–80 m^3/min w 2013 r.



Ryc. 8. Mapa hydroizohips poziomu kredowo-jurajskiego na stan odwadniania odkrywki węgla brunatnego Tomisławice w 2019 r. wraz z izoliniami leja depresji (Hydroconsult, 2019 – IV warstwa na modelu numerycznym, zał. 9.4)

Fig. 8. Map of hydroisohips of the Cretaceous-Jurassic level on the dewatering status of the Tomisławice lignite open pit in 2019, showing also the isolines of the depression cone (Hydroconsult, 2019 – layer IV on the numerical model, Annex 9.4)

Rozwój leja depresji w jego wstępnej fazie był powiązany ze znacznym poborem z górotworu zasobów statycznych w procesie nieustalonego przepływu. W latach 2014–2016 pobory wód były wyrównane – 78–83 m³/min. Po okresowym spadku w drugiej połowie 2017 r. nastąpił przyrost globalnego wydobycia wody do 90 m³/min. Ta

wielkość utrzymywała się równomiernie przez rok 2018 (dopływ średni roczny 90,96 m³/min – tab. B na ryc. 7), głównie z powodu rekordowego napływu wód podziemnych z systemu studziennego w ilości 63,55 m³/min w ciągu całego roku. W 2019 r. pobór globalny obniżył się do 84 m³/min.

ANALIZA ROZWOJU LEJA DEPRESJI W LATACH 2009–2019

Pierwszy okres rozwoju leja depresji miał miejsce w latach 2009–2016 w okolicach Boguszyce–Wierzbinka. Początkowe dopływy wód podziemnych były związane z silnie zawodnionymi utworami sandrowymi (ryc. 9). Osuszenie spągu pokładu węgla brunatnego osiągnięto po uzyskaniu depresji zwierciadła wody $s = 39$ m, przy rzędnej w rzapiu odkrywki 56 m n.p.m. Powierzchnia leja depresji z początkowej wielkości 21 km² w latach 2009–2010 wzrosła do września 2016 r. w poziomie neogeńsko-kredowym do wielkości ok. 216 km² w zarysie depresji $s = 1$ m i ok. 114 km² w konturze depresji $s = 5$ m. Lej depresji uzyskał wyraźnie wydłużony kształt na północ w stronę Piotrkowa Kujawskiego, na zachodzie sięgnął granicy zrębu margli kredy górnej przy rowie tektonicznym Gopła, na północnym wschodzie do Jeziora Głuszyńskiego, a w kierunku południowym do jeziora Lubotyń przekroczył koryto rzeki Noteć. Południowy zasięg leja depresji odkrywki Tomisławic nałożył się na resztkowy lej depresji odkrywki Lubstów, osuszając przy tym studnie gospodarskie w miejscowościach położonych na polu sandrowym między Pichną i Notecią oraz częściowo jezioro Zakrzewek (ryc. 3).

Drugi okres rozwoju leja depresji ma miejsce od 2017 r. i trwa nadal po osiągnięciu głębokości odkrywki wskazanej eksploatacją górniczą do rzędnej 48,9 m n.p.m., przy depresji zwierciadła wody w rejonie wyrobiska $s = 46$ m. Na rycinach 10 i 11 (patrz str. 557) przedstawiono ogólny widok odkrywki Tomisławice – odpowiednio w czerwcu 2019 r. (ryc. 10) oraz aktualnie w lipcu 2022 r. (ryc. 11) z ukazaniem jej systemu odwodnienia spągowego. W latach 2017–2019 nastąpiła powolna stabilizacja geometrycznego konturu leja depresji, ale ze stałym jego przemieszczaniem się w stronę Piotrkowa Kujawskiego. Mapę hydroizohips poziomu kredowo-jurajskiego ze stanem na 2019 r., wraz z izoliniami leja depresji, przedstawiono na rycinie 8, na podstawie identyfikacji na modelu numerycznym (Dąbrowski, Straburzyńska w: Przybyłek i in., 2021, rozdz. 16). Podstawową część leja opisaną depresją $s = 15$ m zamyka hydroizohipsa 80 m n.p.m. Pozostałe dwie izoliny



Ryc. 9. Odkrywka węgla brunatnego w wstępnej fazie zbierania piaszczystego nadkładu w postaci osadów sandrowych w pobliżu wsi Boguszyce (Kałamaja, 2011)

Fig. 9. Lignite open pit mine at the preliminary stage of collecting sandy overburden in the form of outwash plain sediments near the village of Boguszyce (Kałamaja, 2011)

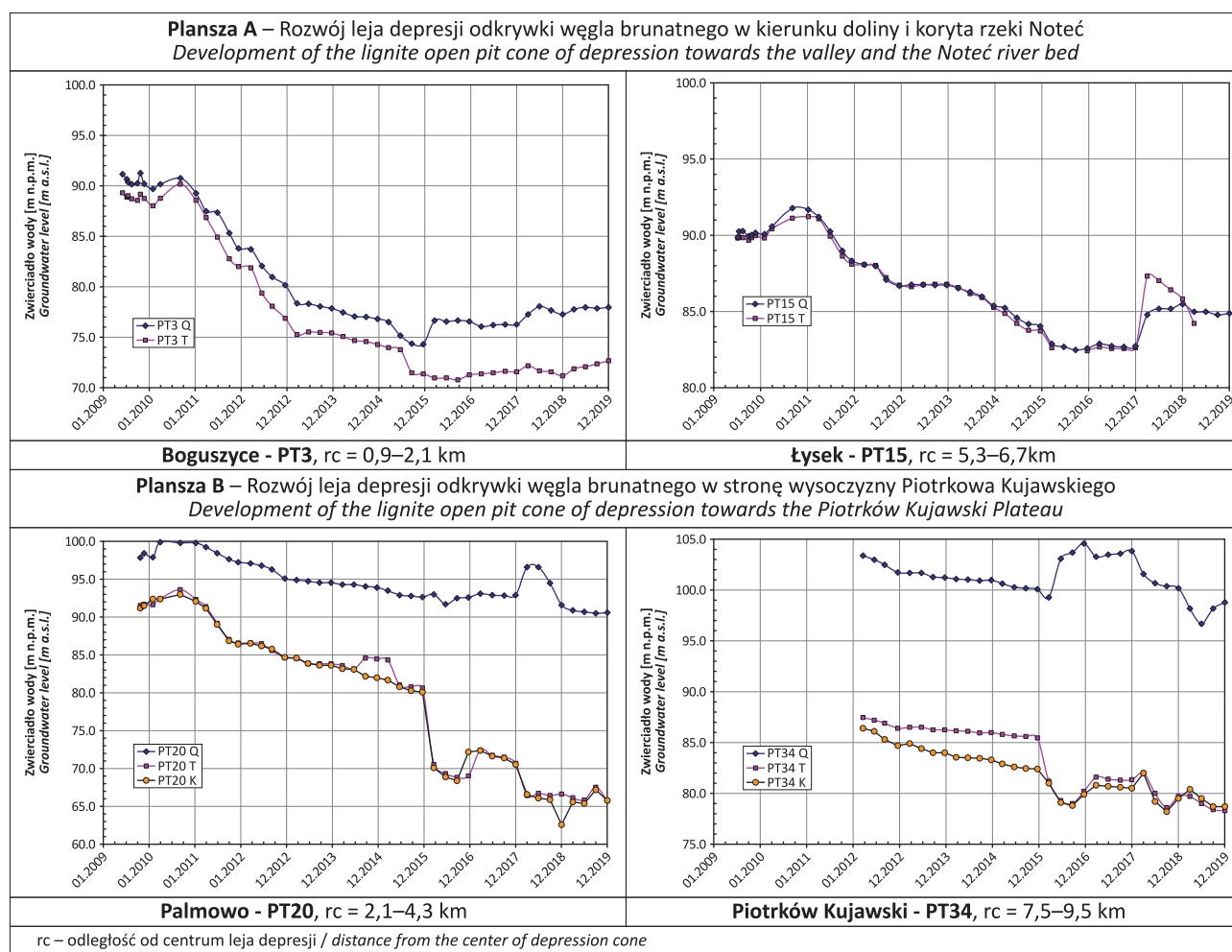
depresji oznaczają kontury leja depresji rozpatrywane w ocenie skutków oddziaływania odwodnienia górnicego na środowisko gruntowo-wodne w corocznych raportach dla PAK KWB *Konin* (Poltegor-projekt 2009–2021), przy czym izolina $s = 5$ m wyznacza bezdyskusyjny wpływ tego odwodnienia, a izolina $s = 1$ m sygnalizuje zasięg oddziaływania z udziałem czynnika klimatycznego oraz składowej poboru wody z ujęć wód podziemnych zbiorowego zaopatrzenia. Rozwój leja depresji w latach 2009–2019 przedstawiono na rycinach 12 i 13 dla zespołów charakterystycznych piezometrów. Proces rozwoju leja depresji odkrywki Tomisławice znajduje swój najpełniejszy wyraz na wykresach zwierciadła wody podziemnej, uzyskanych z obserwacji zespołów piezometrów położonych zarówno w otoczeniu odkrywki, jak i na różnych kierunkach w odległości kilkunastu kilometrów od jej centrum. Reakcje piezometrów przedstawiają tempo rozwoju leja, jego głębokość, wzajemne powiązania lub stopień izolacji odwadnianych poziomów wodonośnych, uwarunkowania tektoniczne, wpływ czynników klimatycznych.

Do analizy wybrano dwie grupy piezometrów. Pierwsza grupa to piezometry rozmieszczone wzdłuż przekroju hydrogeologicznego S1 (sytuacja przekroju na rycinie 4, przekrój na rycinie 6). Porównanie wykresów przedstawiono na rycinie 12. Zespoły piezometrów Boguszyce PT3 i Łysek P15 są położone na promieniu obserwacyjnym w stronę rzeki Noteć, zespoły piezometrów Palmowo PT20 i Piotrków Kujawski PT34 leżą na promieniu wyznaczonym na północ od centrum odwadniania odkrywki. Odległość pomiędzy skrajnymi zespołami na przekroju S1 wynosi ponad 14 km.

Druga grupa obejmuje zespoły piezometrów rozmieszczonych na przekrojach geologicznych A–B oraz C–D (sytuacja przekrojów na rycinie 4, przekroje na rycinie 5) pomiędzy odkrywką Tomisławice a jeziorem Gopło, przy czym zespół piezometrów Słomkowo PI-1 jest usytuowany na przekroju A–B złoże węgla brunatnego Tomisławice, a zespoły piezometrów Rudzk Duży PIII-1, Marianowo PIII-2 oraz Byszewo PIII-3 na przekroju C–D wysoczyzny morenowej i rowu tektonicznego Gopła. Odległość zespołów na przekroju C–D od centrum odwadniania odkrywki wynosi od 9 do 12 km. Porównanie wykresów dla opisanych piezometrów przedstawiono na rycinie 13. W opisie wykresów na rycinie 12 i 13 podano odległości piezometrów od centrum odwadniania w postaci symbolu „rc” z przypisaniem wartości skrajnych w warunkach przemieszczania się tego centrum w ramach postępu robót górniczych.

DYSKUSJA WYNIKÓW OBSERWACJI HYDRODYNAMICZNYCH W ROZWOJU LEJA DEPRESJI

Wykresy przedstawione na rycinie 12 ilustrują odmiennosć warunków hydrogeologicznych panujących w rejonie złoże Tomisławice. Tę odmiennosć można prześledzić na przekroju hydrogeologicznym S1 (ryc. 6). W stronę koryta Noteci pod osadami fluwioglacjalnymi sandru Noteci-Pichny występują rozległe starsze kompleksy wodonośne kenozoiku,

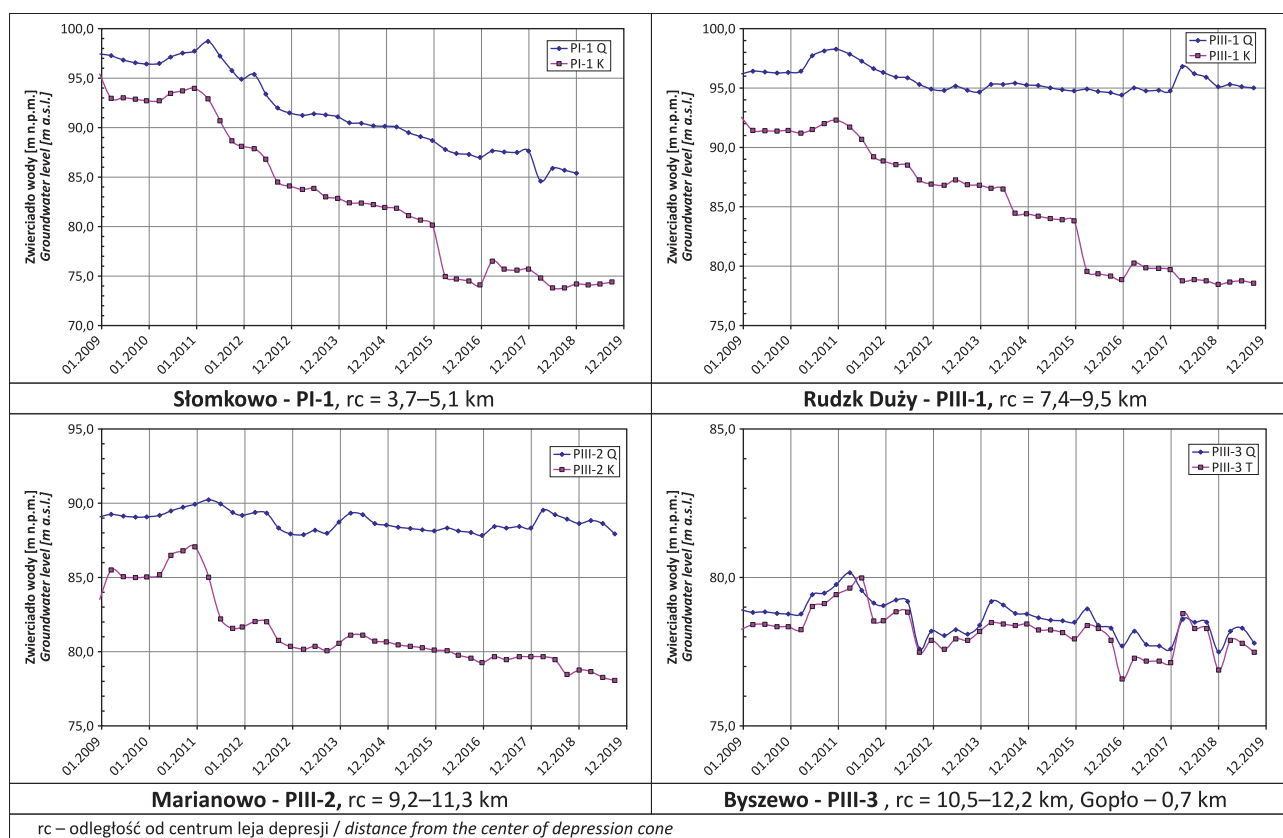


Ryc. 12. Wykresy stanów wód podziemnych w piezometrach na przekroju hydrogeologicznym nr S1 (ryc. 6) wskazujące na rozwój leja depresji w latach 2009–2019) na południe w stronę rzeki Noteć (A) i na północ w stronę wysoczyzny Piotrkowa Kujawskiego (B)
Fig. 12. Graphs of groundwater levels in piezometers on the hydrogeological cross-section No. S1 (Fig. 6) showing the development of the depression cone in 2009–2019 to the south towards the Noteć River (A) and to the north towards the Piotrków Kujawski Plateau (B)

w tym łączące się w rozcięciach erozyjnych z poziomem kredy górnej. W wyniku tej więzi profile wykresów dla wszystkich obserwowanych piezometrów są bardzo zbliżone, wskazując tym samym na głębokie zdrenowanie całego kompleksu wodonośnego (Boguszyce PT3 przy odkrywce, Łysek PT15 przy korycie Noteci). Całkowite osuszenie poziomu wód gruntowych w obrębie osadów sandrowych jest uwidocznione profilem leja depresji w piętrze czwartorzędowym na przekroju S1 (ryc. 6). Zupełnie odmiennie kształtują się warunki hydrogeologiczne na północy, w kierunku Piotrkowa Kujawskiego. Na przekroju S1 w profilach kolejnych otworów od PT9 do PT34 w zdecydowanej przewadze występują gliny zwałowe izolujące poziomy wód głębszych od nielicznych i małej miąższości czwartorzędowych warstw wodonośnych w ich obrębie. Postaci wykresów w zespołach piezometrów Palmowo PT20 i Piotrków Kujawski PT34 (ryc. 12) wskazują na głębokie obniżenie dynamicznego zwierciadła wody w poziomach wód głębszych (piezometry T i K) przy znacznie mniejszym w poziomach czwartorzędowych (Q). Ponadto w postaci wykresów dla piezometrów zafiltrowanych w poziomach czwartorzędowych (Q) zaznacza się wpływ zasilania w latach wilgotnych (2017 r. – opad roczny 751 mm). Opisana sytuacja bardzo sprzyja rozwojowi głębokiego leja depresji w poziomie

neogénsko-górnokredowym poza Piotrków Kujawski w stronę Radziejowa (ryc. 8).

Niezwykle ciekawych wniosków dostarczają obserwacje w zespołach piezometrów w stronę i w pobliżu jeziora Gopło (ryc. 13). W stronę Gopła występuje dużej miąższości kompleks glin zwałowych, który spoczywa bezpośrednio na podłożu mezozoicznym, zbudowanym z margli górnej kredy, lub na podłożu mioceńskich ilów w strefie tektonicznego rowu Gopła (ryc. 5, przekrój C–D). Charakter tej budowy geologicznej powoduje, że lej depresji nie może znacząco sięgać pod jezioro Gopło, bowiem uwidoczniony zrąb wodonośnych margli kredy górnej jest ekranowany przez serię ilów mioceńskich, złożonych w rowie tektonicznym. To ograniczenie izolacyjne zdecydowało o bardziej intensywnym rozwoju leja depresji w stronę Piotrkowa Kujawskiego. W zespołach piezometrów bliższych odwadniającej odkrywce (PI-1), po gwałtownym spadku naporu hydrodynamicznego w skrajnie suchym 2015 r. (ryc. 14), stany w latach następnych uległy stabilizacji, nawet z niewielkimi przyrostami zwierciadła wody w kolejnych latach, już bardziej wilgotnych, co może świadczyć o tym, że lej depresji ograniczony blokadą na rowie tektonicznym Gopła osiągnął już swoją granicę ekspansji na zachód (ryc. 13 – zespół piezometrów Słomkowo PI-1). W zespołach piezometrów położonych na NW w sektorze Gopła w odległości 8–11 km od odkrywki na podkreś-



Ryc. 13. Wykresy stanów wód podziemnych w latach 2009–2019 w piezometrach umieszczonych na przekrojach geologicznych (ryc. 5), wskazujące na rozwój leja depresji odkrywki Tomisławice w stronę jeziora Gopło

Fig. 13. Graphs of groundwater levels in the years 2009–2019 in piezometers placed on geological cross-sections (Fig. 5), indicating the development of the depression cone of the Tomisławice open pit towards Lake Gopło

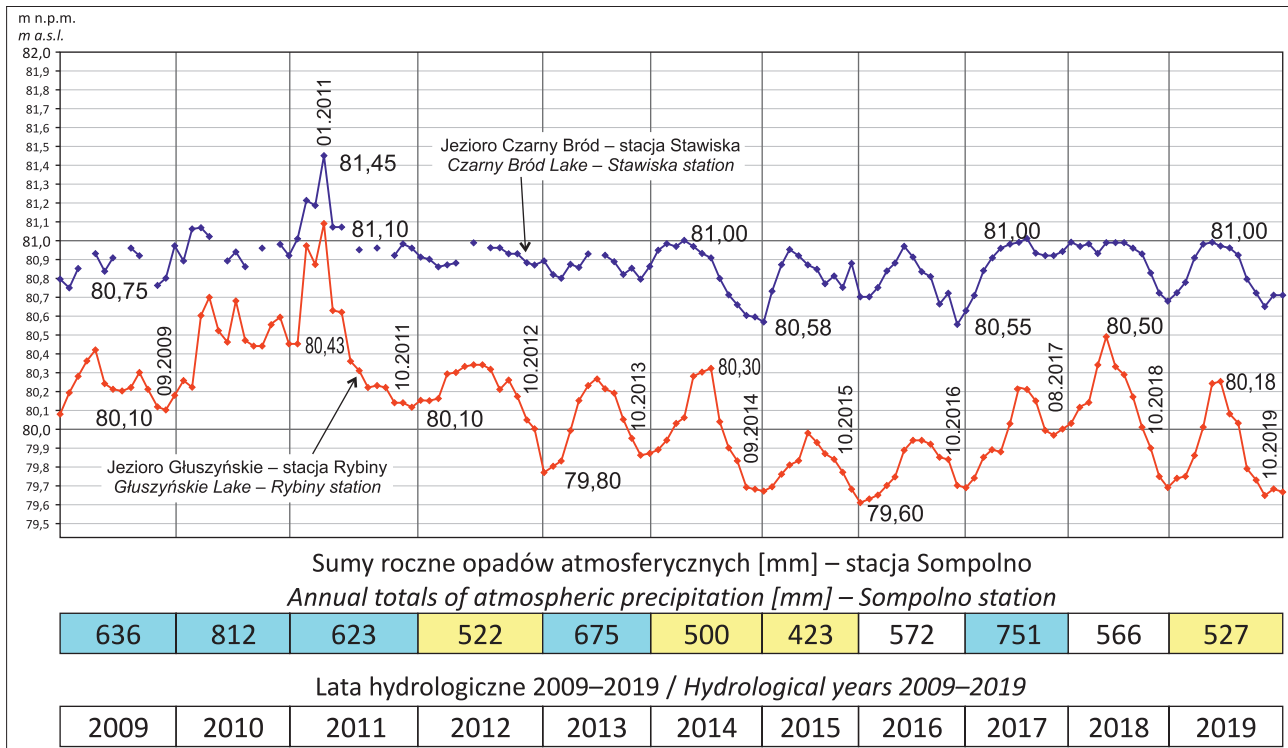
lenie zasługuje wysoki stopień izolacji poziomu czwartorzędowego w rejonie stanowisk Rudzk Duży PIII-1 oraz Marianowo PIII-2 (wykresy na rycinie 13, położenie piezometrów na rycinie 4 i na przekroju – ryc. 5). Wyraża się on znikomą reakcją stanów wody w poziomie [Q] w stosunku do wzrastającej różnicy ciśnień względem poziomu [K], sięgającej w ostatnich latach wielkości 10–15 m, co świadczy o braku okien hydrogeologicznych pomiędzy tymi poziomami oraz o dużych oporach filtracyjnych zwartego kompleksu glin zwałowych. Dowodem na znikome oddziaływanie odwodnienia górniczego na jezioro Gopło są obserwacje prowadzone w zespole piezometrów Byszewo PIII-3 (ryc. 13), założonych w rowie tektonicznym (ryc. 5), które wskazują na nikłą tendencję spadkową wykresów, przy wyraźnym wpływie stanów hydrologicznych Gopła i wielkości opadów atmosferycznych.

STANY JEZIOR W WARUNKACH ZAGROŻEŃ ZWIĄZANYCH Z ODWADNIANIEM ODKRYWKI TOMISŁAWICE ORAZ ASPEKTCIE UWARUNKOWAŃ KLIMATYCZNYCH

Z wykresów wyników obserwacji wód podziemnych w wielu piezometrach w otoczeniu odkrywki Tomisławice (ryc. 12 i 13) wynika, że wielkość opadów atmosferycznych okresowo decyduje o stanach tych wód we wszystkich poziomach wodonośnych, co musi być uwzględniane przy szacowaniu składowej wpływu odwodnienia górniczego, w szczególności na peryferiach leja depresji. Z tych względów wykorzystano dla celów porównawczych dane

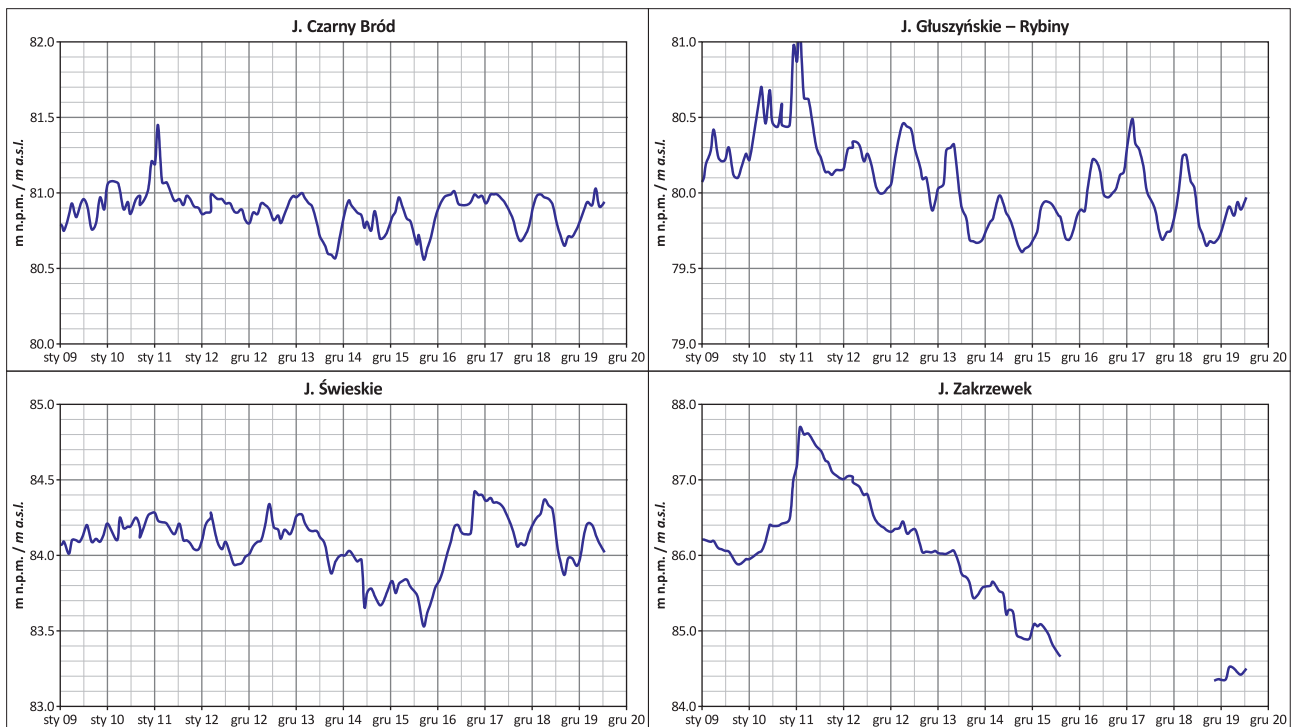
o rocznych opadach atmosferycznych zawarte w raportach z monitoringu prowadzonego w latach 2009–2019 oraz wykresy stanów wody w jeziorze Czarny Bród, do którego są odprowadzane wody ze zlewni cieków Maticzny Rów oraz stany wody w Jeziorze Głuszyńskim w zlewni Zgłowiączki (ryc. 14). Cykle zmienności stanów tych jezior wyraźnie korespondują z wysokością opadów. Spośród jedenastu lat hydrologicznych przedstawionych na rycinie 11 aż sześć cechowało się opadami rocznymi poniżej 500 mm, w tym kolejne trzy lata 2014/2015, 2015/2016 i 2016/2017 stanowiły o długotrwałości trwania ujemnego bilansu klimatycznego. Przemienne, bo w interwale co 4 lata, wystąpiły trzy lata mokre – 2010/2011, 2013/2014, 2017/2018, z opadami od 591 do 714 mm, a w tym szczególnie mokry rok 2010/2011 z opadami rocznymi 714 mm, z odnotowaną powodzią na jeziorze Gopło oraz najwyższymi stanami wody w jeziorze Czarny Bród i w Jeziorze Głuszyńskim (ryc. 14). Wysoka infiltracja efektywna opadów atmosferycznych spowodowała w latach mokrych przyrosty stanów nawet w piezometrach, które znalazły się w zasięgu kopalnianego leja depresji. Synchronizacja zjawisk klimatycznych (opad atmosferyczny) oraz hydrologicznych (stany jezior) stanowi ważny element analizy szczegółowej kwalifikacji przyczyn obniżania się zwierciadła wód podziemnych na peryferiach kopalnianego leja depresji.

W grupie jezior zaprezentowanych na rycinie 15 największym stopniem degradacji wyróżnia się jezioro Zakrzewek, które jest położone w obrębie pola sandrowego na płaskim wododziale pomiędzy Pichną i Notecią w zasięgu



Ryc. 14. Stany wody w jeziorze Czarny Bród w zlewni rzeki Maciczny Rów i Jeziorze Głuszyńskim w zlewni rzeki Zgłowiączki na bazie wykresów stanów ze str. 84 opracowania Poltegor-projekt sp. z o.o. (Tarnowski i in., 2020) oraz roczne opady atmosferyczne w latach 2009–2019 na stacji IMGW w Sompolnie

Fig. 14. Water levels in Lake Czarny Bród in the catchment of the Maciczny Rów and Lake Głuszyńskie in the catchment of the river Zgłowiączka on the basis of the state diagrams from page 84 of the study by Poltegor-projekt sp.z o.o. (Tarnowski et al., 2020), and annual precipitation in 2009–2019 at the IMGW station in Sompolno



Ryc. 15. Porównanie stanów wody w jeziorach położonych w zasięgu leja depresji odkrywki węgla brunatnego Tomisławice w latach 2009–2020

Fig. 15. Comparison of water levels in lakes located within the depression cone of the Tomisławice lignite open pit in 2009–2020

leja depresji odkrywki Tomisławice. Wykres dla jeziora Zakrzewek pokazuje, że stopień jego osuszenia jest tak znaczny, że to płytkie jezioro jest w zaniku, po utracie bli-

ska 3 m słupa wody. Jezioro Świeskie jest z kolei położone na wysoczyźnie morenowej w rejonie Piotrkowa Kujawskiego w strefie znacznej miąższości pokładów glin zwa-

łowych (przekrój S1 na rycinie 6). W tych warunkach lej depresji w poziomach wgłębnych nie miał przełożenia na poziom wód gruntowych (piezometr PT34Q na rycinie 12). Jezioro to bardzo ucierpiało w okresie suszy w latach 2014–2016, obniżając swój poziom o ponad 0,7 m. Natomiast bardzo mokry rok 2017 (751 mm rocznego opadu) spowodował odbudowę zasobów wodnych z przyrostem słupa wody w jeziorze o blisko 1,0 m. W następnych latach jego poziom wrócił do pierwotnych stanów. Wykres na rycinie 14 sporządzony dla Jeziora Głuszyńskiego wykazuje, że od 2014 r. poziom wody obniżył się w nim o blisko 0,5 m. Maksima wezbrań w latach mokrych są również znacznie niższe. Z porównań na rycinie 14 – wykresu stanów w jeziorze Czarny Bród i wielkością opadów rocznych – wynika całkowity zanik wezbrań wody w latach mokrych. W tym jeziorze są również obserwowane pogłębione niżówki w latach z niskimi wartościami opadów (ryc. 15).

PODSUMOWANIE WPLYWU LEJA DEPRESJI ODKRYWKI TOMISŁAWICE NA STOSUNKI GRUNTOWO-WODNE POJEZIERZA KUJAWSKIEGO

Przekształcenia krajobrazu i środowiska gruntowo-wodnego w rejonie oddziaływania odkrywki Tomisławice i zalewanej obecnie odkrywki Lubstów są widoczne w głównej mierze w postaci wyrobisk górniczych oraz zwałowisk zewnętrznych, które wyraźnie zaznaczają się w okolicy pierwotnie związanej z zupełnie odmienną gospodarką przestrzenną, głównie z rolnictwem. Obok tych zmian, wyraźnie zaznaczających się w morfologii terenu, które obejmują teren zakładu górniczego, w znacznie większej odległości od odkrywek obserwuje się przekształcenia warunków gruntowo-wodnych. Podstawowym problemem są i będą wielorakie skutki odwadniania odkrywki Tomisławice. O wielkości presji hydrodynamicznej, której jest poddane środowisko gruntowo-wodne i szerzej przyrodnicze w wielkoprzestrzennym otoczeniu odkrywki, położonej na wysoczyźnie morenowej i jednocześnie na działle wodnym pierwszego rzędu pomiędzy dorzeczem Wisły i Odry (ryc. 1), może świadczyć zasięg leja depresji (ryc. 8) oraz objętość wody wyprowadzonej poza analizowany system wodonośny w ilości poboru 425 mln m³ w okresie od 1 stycznia 2009 r. do 31 października 2020 r. W tym globalnym poborze 69,2% przypada na wody podziemne czerpane z poziomów wodonośnych za pomocą systemu zewnętrznych barier studni wierconych, a 30,8% na wody opadowe i spagowe wody podziemne z dna odkrywki. We wrześniu 2019 r. zwierciadło wód podziemnych poziomu neogeńskiego-kredowego w rejonie odkrywki Tomisławice zalegało na rzędnych 49 m n.p.m. Według identyfikacji na modelu numerycznym (Dąbrowski, Straburzyńska, 2021) lej depresji (ryc. 8) osiągnął rozmiary w zarysie: izolinii depresji 15 m – 67 km², izolinii depresji 5 m – 270 km², izolinii depresji 1 m – 479 km². Opisujący stan rzeczy spowodował, że już po trzech latach odwadniania nastąpiło, począwszy od 2012 r., masowe wysychanie studni gospodarskich (ryc. 3) na wysoczyźnie morenowej w bliższym i dalszym otoczeniu odkrywki, a następnie w obniżeniach morfologicznych wypełnionych osadami wodnolodowcowymi o znacznym rozprzestrzenieniu okalających od południa i wschodu wysoczyznę morenową Tomisławice, wliczając w to obszar sandrowy pomiędzy rzeką Pichną i rzeką Note-

cią aż po rejon jeziora Lubotyń i Jeziora Głuszyńskiego (ryc. 3). Podobnie sytuacja ukształtowała się w obniżeniu morfologicznym związanym ze zlewną Macicznego Rowu na północy złoża Tomisławice. Według wieloletnich obserwacji w zespole ok. 570 studni gospodarskich na terenach wsi położonych w odległości do 9 km od aktualnego centrum odkrywki wzrastał stopień przesuszenia terenu. We wrześniu 2019 r. w 393 z ww. studni (ryc. 3) nie stwierdzono wody (blisko 70%). Poziom wód gruntowych na wysoczyźnie morenowej został prawie całkowicie osuszony i tylko w niewielkim stopniu może być okresowo odnawiany po dłuższych okresach obfitych opadów atmosferycznych. Woda gruntowa zachowała się jedynie na północnych peryferiach leja depresji w okolicach doliny głuszyńskiej od Połajewa po wieś Rudzk Mały i w stronę rynny jezior Świeskich (ryc. 3). Na podkreślenie zasługuje też obniżenie się poziomu wód gruntowych w źródłiskach cieków wypływających z wysoczyzny morenowej w stronę doliny Noteci i Gopła. W pięcioletnim cyklu szczegółowych badań gleboznawczych w rejonie odkrywki Tomisławice (Mocek, Owczarzak, 2013) stwierdzono wielkoprzestrzenną degradację gleb hydrofilnych przywiązanych do trwałości reżimu zasilania wodami gruntowymi oraz ich pełne przeobrażenie na typ przemiennej gospodarki wodnej związanej z utratą dostępu do wód gruntowych. W odległości do kilku kilometrów od krawędzi wyrobiska wody powierzchniowe praktycznie nie występują, o czym świadczy m.in. całkowity zanik przepływów w górnym i środkowym odcinku Neru i Macicznego Rowu, okresowy zanik przepływów w Noteci czy wysuszenie mokradeł i oczek wodnych położonych w pobliżu tych cieków. Innym negatywnym przejawem oddziaływania działalności górniczej na stosunki wodne w okolicy jest obniżenie poziomu wody w pobliskich jeziorach. Te ostatnie szczególnie wyraźnie widać na jeziorze Zakrzewek, które na przestrzeni ostatnich 10 lat obniżyło swój poziom o blisko 3 m, co skutkowało zmniejszeniem powierzchni tego zbiornika o połowę. W ślad za ubytkiem wody z mokradeł oraz jej zanikiem w rzekach i akwenach nastąpiły zmiany środowiskowe, które przejawiają się głównie w postaci przekształcenia zbiorowisk roślinnych oraz systematycznej degradacji gleb bagiennych. Odrębnymi problemami do omówienia w innych artykułach są zagadnienia pełnego bilansu wodnego w zlewniach objętych lejami depresji odkrywki węgla brunatnego Tomisławice i Lubstów z wykorzystaniem w tym celu bilansu klimatycznego, bilansu wodnego i kartowania hydrologicznego, numerycznego modelu wielowarstwowego systemu wodonośnego Pojezierza Kujawskiego (Dąbrowski, Straburzyńska-Janiszewska, 2021), a także sprawa gospodarki wodnej po ustaniu zrzutu wód kopalnianych do rzek po planowanym zamknięciu eksploatacji górniczej w 2030 r. W aktualnie przedstawianych koncepcjach rysuje się plany rurociągowego zasilania obszaru Pojezierza Kujawskiego wodą podawaną z Wisły (Nowak, 2021).

Autor składa serdeczne podziękowania recenzentom – Panu prof. dr. hab. Andrzejowi Sadurskiemu i Panu dr. hab. inż. Jackowi Szczepińskiemu za merytoryczną ocenę artykułu oraz wnikliwe, bardzo pomocne uwagi, które poprawiały jego treść. W przygotowaniu bogatej dokumentacji badawczej miałem możliwość współpracy z PAK KWB *Konin* S.A., w szczególności z Panem mgr. inż. Mariuszem Działarą, kierownikiem Działu Mierniczo-Geologicznego, oraz z pracownikami firmy Hydroconsult Sp. z o.o. Biuro

Studiów i Badań Hydrogeologicznych i Geofizycznych w Poznaniu z zespołu kierowanego przez dr. Stanisława Dąbrowskiego, którym serdecznie dziękuję. Niniejszy artykuł poświęcam pamięci dr. Stanisława Dąbrowskiego (1941–2020), z którym miałem szczęście współpracować przez wiele lat w dziedzinie hydrogeologii do ostatnich dni Jego życia (Przybyłek, Szczepański, 2021).

LITERATURA

- CHOMIAK L., URBAŃSKI P., WIDERA M. 2020 – Architektura i geneza łańcuchów w górnym poziomie węgla brunatnych formacji poznańskiej (środkowy miocen) – odkrywka Tomisławice k. Konina w środkowej Polsce. *Prz. Geol.*, 68 (6): 526–534.
- CZARNECKA H. (red.) 2005 – Atlas podziału hydrograficznego Polski w skali 1 : 200 000. IMGW, Warszawa.
- DADLEZ R., MAREK S., POKORSKI J. (red.) – Mapa Geologiczna Polski bez kenozoiku w skali 1 : 1 000 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- DĄBROWSKI S., RYNARZEWSKI W., ZACHAŚ-JANECKA J. 2015 – Odnowalność wód podziemnych zlewni prawobrzeżnej Warty, Górnej Noteci i Zgłowiączki w układzie hydrodynamicznym silnie zmienionym odwodnieniami kopalniami. *Prz. Geol.*, 63 (10/1): 666–671.
- DĄBROWSKI S., STRABURZYŃSKA-JANISZEWSKA R. 2021 – Badania modelowe systemu wodonośnego rejonu Lubstowa-Tomisławice dla identyfikacji prognozy odwodnienia oraz rekultywacji wodnej wyrobisk górniczych (rozdz. 16, 257–271). [W:] Przybyłek J. i in., Ekspertyza obejmująca analizę aktualnego stanu środowiska gruntowo-wodnego oraz wód powierzchniowych, ich bilansu wodnego, elementów bilansu wodnego sztucznego drenażu oraz bilansu klimatycznego w obszarze oddziaływania eksploatawanej odkrywki węgla brunatnego Tomisławice i rekultywowanej odkrywki węgla brunatnego Lubstów. Etap III. Hydroconsult Sp. z o.o., Poznań, na zlec. RDOŚ w Poznaniu: 1–394.
- FISZER J., DERKOWSKA-SITARZ M. 2010 – Prognoza rozwoju leja depresji i dopływów do Kopalni Węgla Brunatnego Konin z uwzględnieniem projektowanych odkrywek Tomisławice i Ościsłowo. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 442: 37–42.
- KAŁAMAJA A. 2011 – Warunki hydrogeologiczne rejonu zlewni Jeziora Głuszyńskiego i Noteci w aspekcie odwadniania odkrywki węgla brunatnego Tomisławice. *Pr. mag. napisana w Zakładzie Hydrogeologii i Ochrony Wód UAM pod kier. prof. J. Przybyłką. Poznań: 1–70*
- KONDRACKI J. 1994 – Geografia regionalna Polski. Mezoregiony fizyczno-geograficzne. Wydaw. Nauk. PWN, Warszawa.
- KOZULA R. 1999 – Dokumentacja geologiczna złoża węgla brunatnego Tomisławice w kategorii C1 i C2, Część I – tekst. *Przeds. Geol. PROXIMA*, Wrocław.
- KOZULA R. 2001 – Dokumentacja złoża węgla brunatnego Tomisławice w kat B i C1 w Tomisławicach. Część I. *Przeds. Geol. PROXIMA*, Wrocław.
- KOZYDRA Z., SKĄPSKI S. 1995 – Unikatowe stanowisko interglacjału eemskiego w Ruszkówku na Pojezierzu Kujawskim. *Prz. Geol.*, 43 (7): 572–575.
- KOZYDRA Z. 2013 – Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1 : 50 000, ark. Ślesin (477). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- KOZYDRA Z., BRZEZIŃSKI M. 2013 – Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1 : 50 000, ark. Sompolno (478). Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- MATERSKI J. 2009 – Monitoring wód podziemnych i wód powierzchniowych dla odkrywki Tomisławice (Sprawozdanie z zaawansowania realizacji monitoringu wód podziemnych i wód powierzchniowych określonego w decyzji nr OŚ-7624/5/2006 o środowiskowych uwarunkowaniach zgody na realizację inwestycji wydanej przez Wójta Gminy Wierzbinek). KWB Konin S.A. w Kleczewie, styczeń 2009.
- MOCEK A., OWCZARZAK W. 2013 – Studium pt. „Monitorowanie zalegania zwierciadła wód glebowo-gruntowych potrzebnego do wyznaczania stref degradacji gleb (głównie użytków zielonych) na obszarze objętym etapem I badań gleboznawczych w rejonie odkrywki Tomisławice”. Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu.
- MOLEWSKI P. 1999 – Rynna Gopła – problem jej genezy i roli w odpływie wód roztopowych podczas zlodowacenia vistuliańskiego. Wydaw. Nauk. UMK.
- MOLEWSKI P. 2007 – Wpływ starszego podłoża na wykształcenie plejstocenu Wysoczyzny Kujawskiej. [W:] Plejstocen Kujaw i dynamika lobu Wisły w czasie ostatniego zlodowacenia. Państw. Inst. Geol., Warszawa: 33–39.
- MOLEWSKI P. 2012 – Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1 : 50 000, ark. Piotrków Kujawski (439). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MRÓZEK W. 1969 – Rynna Gopła, jej geneza i udział w rozwoju Krajobrazu Kujaw. [W:] *Przew. XLI Zjazdu Pol. Tow. Geol.*, Konin: 59–63.
- NOWAK B. 2021 – Propozycje rozwiązań w środowisku wodnym w obszarze oddziaływania odkrywki Tomisławice i odkrywki Lubstów (rozdz. 18, 281–293). [W:] Przybyłek J. i in., Ekspertyza obejmująca analizę aktualnego stanu środowiska gruntowo-wodnego oraz wód powierzchniowych, ich bilansu wodnego, elementów bilansu wodnego sztucznego drenażu oraz bilansu klimatycznego w obszarze oddziaływania eksploatawanej odkrywki węgla brunatnego Tomisławice i rekultywowanej odkrywki węgla brunatnego Lubstów. Etap III. Hydroconsult Sp. z o.o., Poznań na zlec. RDOŚ w Poznaniu: 1–394.
- PASŁAWSKI Z., BŁASZCZYK B. 1970 – Charakterystyka hydrologiczna i bilans wodny Jeziora Gopło. *Prz. Geol.*, 15 (23/3): 251–266.
- PIEKARSKA E. 1982 – Tektoniczne założenia rynny Gopło. *Prz. Geol.*, 30 (8): 410–413.
- POLTEGOR-projekt sp. z o.o. 2009–2021 – Monitoring środowiska wodnego O/Tomisławice KWB Konin S.A. Tomy raportów rocznych z okresu lat hydrologicznych od 2009 do 2020. Wrocław. Arch. PAK KWB Konin S.A. w Kleczewie.
- PRZYBYŁEK J., SZCZEPAŃSKI A. 2021 – Stanisław Dąbrowski (1941–2020). *Prz. Geol.*, 69 (3): 182–184.
- PRZYBYŁEK J., DĄBROWSKI S., NOWAK B., STRABURZYŃSKA-JANISZEWSKA R., FARAT R., MACHOWIAK W., PAWLAK A., SZYMAŃSKI K., WESOŁOWSKI K. 2021 – Ekspertyza obejmująca analizę aktualnego stanu środowiska gruntowo-wodnego oraz wód powierzchniowych, ich bilansu wodnego, elementów bilansu wodnego sztucznego drenażu oraz bilansu klimatycznego w obszarze oddziaływania eksploatawanej odkrywki węgla brunatnego Tomisławice i rekultywowanej odkrywki węgla brunatnego Lubstów. Etap III. Hydroconsult Sp. z o.o., Poznań na zlec. RDOŚ w Poznaniu: 1–394.
- SZCZEPIŃSKI J., KUSEK L., MAŁECKI J. 2007 – Dokumentacja określająca warunki hydrogeologiczne w związku z projektowanym odwodnieniem do wydobycia węgla brunatnego ze złoża Tomisławice. Poltegor-projekt sp. z o.o. Wrocław.
- SZCZEPIŃSKI J., STRABURZYŃSKA-JANISZEWSKA R. 2011 – Prognoza zasięgu leja depresji dla odkrywki węgla brunatnego Mąkoszyn-Grochowiska KWB Konin S.A. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 445: 671–684.
- TARNOWSKI R., BAŁWACH A., MAŁECKI M. 2020 – Monitoring środowiska wodnego rejonu odkrywek PAK KWB Konin S.A. w roku hydrologicznym 2019. Część IV – odkrywka Tomisławice. Poltegor-projekt sp. z o.o. we Wrocławiu.
- WIDERA M. 1998 – Ewolucja paleomorfologiczna i paleotektoniczna elewacji konińskiej. *Geologos* (3). Wyd. Continuo: 55–103.
- WIDERA M. 2000 – Geneza i główne etapy rozwoju rowu Lubstowa w alpejskiej epoce tektonicznej. *Prz. Geol.*, 48 (10): 935–941.
- WIDERA M., CHOMIAK L., GRADECKI D., WACHOCKI R. 2017 – Osady glistu krewasowego z miocenu Polski środkowej w okolicach Konina. *Prz. Geol.*, 65 (4): 251–258.
- WIDERA M. 2021 – Geologia polskich złóż węgla brunatnego. Bogucki Wydaw. Nauk., Poznań.

Praca wpłynęła do redakcji 31.03.2022 r.
Akceptowano do druku 6.06.2022 r.

**Analiza rozwoju leja depresji odkrywki węgla brunatnego Tomisławice
w latach 2009–2019 i jego wpływu na stosunki gruntowo-wodne
Pojezierza Kujawskiego – patrz str. 527**

**Analysis of the development of the depression cone of the Tomisławice lignite open pit mine
in 2009–2019 and its impact on the soil and water relations of the Kujawy Lakeland – see p. 527**



Ryc. 10. Odkrywka węgla brunatnego Tomisławice z systemem odwodnienia spągowego – rząpiec w środkowej części fotografii. Fot. M. Widera, czerwiec 2019 r.

Fig. 10. The Tomisławice lignite open pit mine with the mine dewatering system – the sumps in the centre of photograph. Photo by M. Widera, June 2019



Ryc. 11. Odkrywka Tomisławice z odsłoniętym stropem eksploatowanego pokładu węgla brunatnego i skarpami oraz poziomami zbierania nadkładu glin zwałowych. Fot. J. Przybyłek, lipiec 2022 r.

Fig. 11. The Tomisławice open pit with the exposed top of the mined lignite seam and slopes, as well as the overburden till storage levels. Photo by J. Przybyłek, July 2022