

PROGNOZA ZASIĘGU LEJA DEPRESJI DLA ODKRYWKI WĘGLA BRUNATNEGO MAKOSZYN-GROCHOWISKA KWB „KONIN” S.A.

PREDICTION OF THE DEPRESSION CONE RANGE FOR LIGNITE OPEN PIT MAKOSZYN-GROCHOWISKA KWB „KONIN” S.A.

JACEK SZCZEPIŃSKI¹, RENATA STRABURZYŃSKA-JANISZEWSKA²

Abstrakt. Dla oceny rozwoju leja depresyjnego oraz wielkości dopływu wód podziemnych do systemu odwodnienia projektowanej odkrywki węgla brunatnego Makoszyn-Grochowska KWB „Konin” S.A. zbudowano pięciowarstwowy, trójwymiarowy model matematyczny o powierzchni 1293 km². Na modelu określono przepływ wód podziemnych w rejonie złoża w warunkach quasi-naturalnych (2008), bezpośrednio przed uruchomieniem odwadniania złoża (2021) oraz w trakcie jego odwadniania (2029, 2034, 2039, 2044). Rezultaty wskazują, że dopływ wód podziemnych do projektowanej odkrywki wyniesie od około 40 do 60 m³/min. Rozwój leja depresji będzie następował we wszystkich kierunkach, obejmując swym zasięgiem Notec wraz z jej dopływami oraz pobliskie jeziora. Całkowity obszar objęty lejem depresji w kompleksie wodonośnym czwartorzędowym górnym wyniesie 130 km², a w kompleksie wodonośnym neogeńsko-paleogeńsko-mezozoicznym 390 km². Na skutek obniżania się zwierciadła wód podziemnych infiltracja efektywna wzrośnie z 1,83 dm³/s·km² (dla całego obszaru badań) do maksymalnie 3,18 dm³/s·km² w obszarze leja depresji (2029). Prognozowany średni moduł infiltracji w leju depresji odkrywki Makoszyn-Grochowska wyniesie 3,18 dm³/s·km², co stanowi 18,6% średniej wielkości opadów atmosferycznych.

Słowa kluczowe: złożo węgla brunatnego, model matematyczny, wody podziemne.

Abstract. To assess the development of the cone of depression and the groundwater inflow to the proposed opencast lignite mine Makoszyn-Grochowska KWB „Konin”, 3-D, five-layered mathematical model with area of 1293 km² has been constructed. The model identified groundwater flow under quasi-natural condition (2008), immediately before starting the dewatering of the deposit (2021) and during the dewatering (2029, 2034, 2039, 2044). The results indicate that groundwater inflow into the proposed open pit mine will be from about 40 to 60 m³/min. The cone of depression will develop in all directions, covering Noteć River and its tributaries as well as nearby lakes. The total area covered by the upper Quaternary series of aquifers will reach 130 km², and by the Neogene-Paleogene-Mesozoic series of aquifers 390 km². As a result of the groundwater table lowering the effective infiltration will rise from 1.83 dm³/s·km² (for the whole studied area) to maximum 3.18 dm³/s·km² in the cone of depression (2029). The average infiltration ratio in the Makoszyn-Grochowska cone of depression will account for 3.18 dm³/s·km² and will reach 18.6% of the average precipitation ratio.

Key words: lignite deposit, mathematical model, groundwater.

WSTĘP

W związku z planowanym zakończeniem eksploatacji węgla brunatnego w odkrywkach Drzewce (2021) i Tomisławice (2029), w KWB „Konin” S.A. rozpatrywana jest moż-

liwość budowy kopalni odkrywkowej na złożu Makoszyn-Grochowska. Zdolność wydobywcza nowego zakładu górniczego wyniesie około 3,5 mln ton węgla brunatnego rocz-

¹ Poltegor-projekt Sp. z o.o., ul. Wyścigowa 56f, 53-012 Wrocław; e-mail: j.szczepiński@poltegor.pl

² Hydroconsult Sp. z o.o., 60-161 Poznań, Poland; e-mail: poznan@hydroconsult.com.pl

nie. Złoże znajduje się w odległości około 5 km na południowy-wschód od odkrywki Tomisławice i 12 km od wyrobiska poeksploatacyjnego Lubstów, oraz 21 km na północny-wschód od odkrywki Drzewce (fig. 1).

W nawiązaniu do przyjętych rozwiązań dotyczących otwarcia złoża w zachodniej części „Pola Mąkoszyn” oraz postępów eksploatacji i zwałowania (Czyż, Jagodziński, 2008), zakłada się rozpoczęcie budowy systemu odwadniania wglębnego od 2022 roku, tj. 2–3 lata przed planowaną eksploatacją górnictw. Po zakończeniu wydobywania węgla

w 2044 roku, przewidywana jest rekultywacja wodna wyrobiska poeksploatacyjnego.

Dla odwodnienia wglębnego odkrywki zbudowane zostaną bariery studni odwodnieniowych zlokalizowane wzdłuż skarp zewnętrznych oraz równoległe do frontów eksploatacyjnych. Głębokość studni wynosić będzie od 60 do 90 m. Ich zadaniem będzie obniżenie zwierciadła wód podziemnych i wytworzenie w obszarze złoża depresji od 30 do 60 m. Woda z systemu odwodnienia odprowadzana będzie do Noteci przez sieć rurociągów, rowów i kanałów.

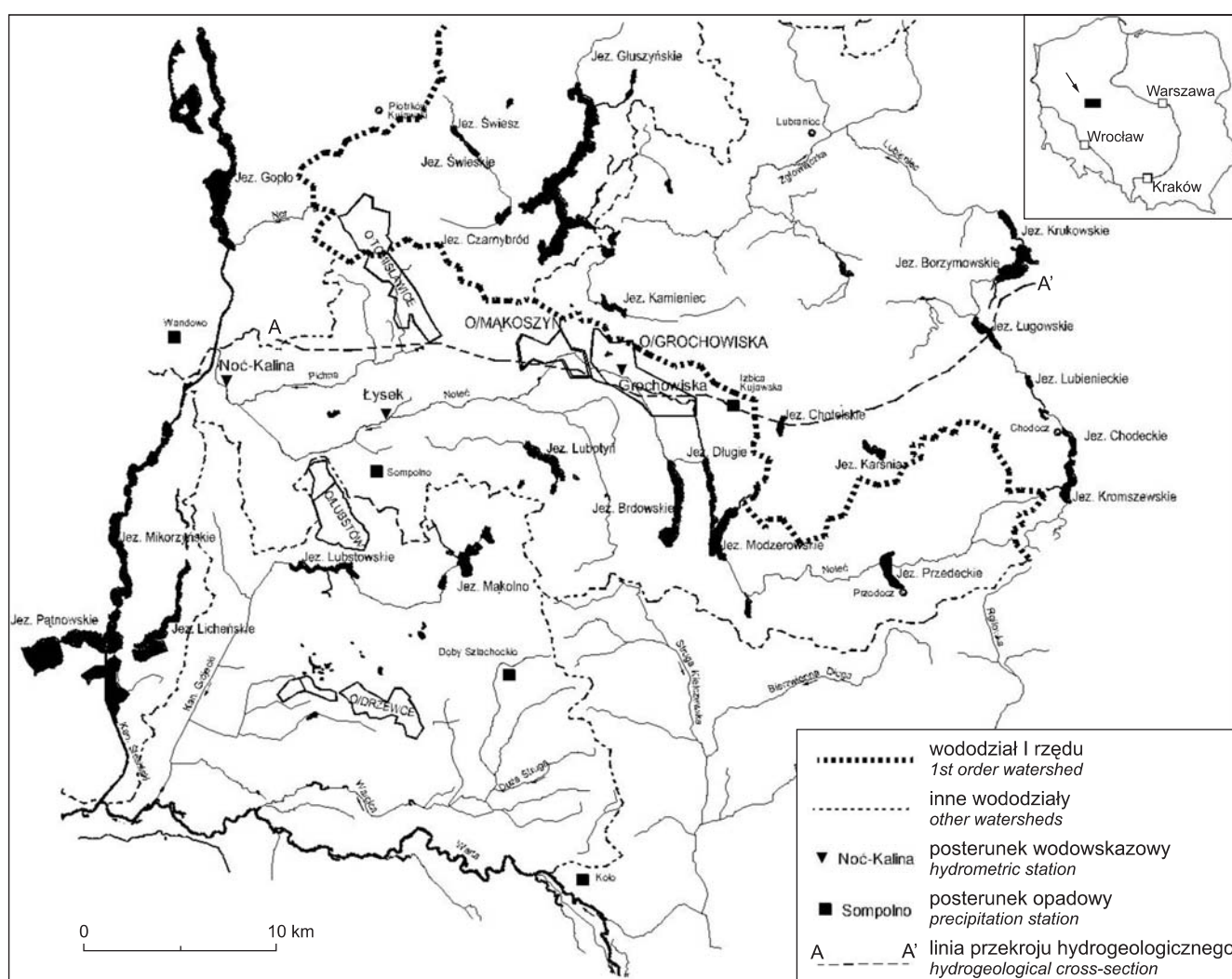


Fig. 1. Mapa hydrograficzna rejonu złoża Mąkoszyn-Grochowska (Stachy, red., 1987, z uzupełnieniami)

Hydrographic map of the Mąkoszyn-Grochowska lignite deposit area (modified from Stachy, ed., 1987)

CHARAKTERYSTYKA REJONU ZŁOŻA

Położenie terenu i warunki klimatyczno-hydrograficzne. Złoże węgla brunatnego Mąkoszyn-Grochowska, położone jest w zachodniej części Pojezierza Kujawskiego, będącej wschodnim fragmentem Pojezierza Wielkopolskiego (Kondracki, 2000). Pod względem administracyjnym złoże leży w województwach wielkopolskim i kujawsko-pomorskim.

Obszar badań cechuje młoda rzeźba glacialna ostatniego zlodowacenia o dużej różnorodności form. Dla układu geomorfologicznego złoża, zasadnicze znaczenie ma przepływająca przez jego środek rzeka Noteć. Szerokość doliny Noteci wynosi 300–900 m, a rzędne terenu od 99,8 do 103,0 m n.p.m. Poza doliną Noteci, występują pagórki morenowe o względnej wysokości 5–15 m oraz dwa pasma wzgórz morenowych o kierunku równoleżnikowym, o wysokościach dochodzących do 159 m n.p.m. Obszary wysoczyznowe porzecinane są erozyjnymi rynnami glacialnymi o południkowym przebiegu, które tworzą naturalne zbiorniki wodne (m.in. jeziora: Brdowskie, Głuszyńskie, Lubotyńskie, Modzerowskie). Rejon pogranicza Wielkopolski i Kujaw charakteryzuje się niskimi opadami atmosferycznymi i wysokim parowaniem. Średni roczny opad w rejonie złoża wynosi około 550 mm (Ziętkowiak, 2003), a parowanie terenowe 500 – 520 mm (Stachy, red., 1987).

Przez północną część „Pola Grochowska” przebiega dział wodny pierwszego rzędu, oddzielający dorzecza Odry i Wisły (fig. 1). Przeważająca część złoża znajduje się w dorzeczu Odry, w obrębie zlewni rzeki Warty. Z obszaru złoża wody powierzchniowe odprowadzane są ku zachodowi

przez rzekę Noteć. Na południe od złoża wody powierzchniowe odprowadzane są do Warty poprzez cieki: Struga Kleczewska, Rgilówka i Warcica. Obszar na północ i północny-wschód od złoża znajduje się w zlewni drugiego rzędu Zgłowiączki (zlewnia Wisły), do której wody doprowadzane są przez ciek Sarnówka i system jezior związanych z jeziorem Głuszyńskim.

W obszarze złoża dolina Noteci stanowi płaski obszar z podmokłymi łąkami. Występują tu małe jeziora, stawy, bagna i rozlewiska. Charakterystycznym elementem jest znaczna liczba obszarów i zagłębień bezodpływowych, w przewadze ewapotranspiracyjnych, które grupują się w strefach wododziałowych (Graf, 2003; Ziętkowiak, 2003).

Rzekę Noteć cechuje duża rozpiętość stanów wody i przepływów od 0,001 m³/s (VIII 1992) do 11,1 m³/s (III 1979) (Graf, 2003). Średnie przepływy roczne Noteci w przekroju Łysek oraz Noć–Kalina w latach 1961–1994 wyniosły odpowiednio 0,92 m³/s oraz 1,42 m³/s (Plencner i in., 1999), a przepływy chwilowe w przekroju Grochowska 0,38–0,64 m³/s (Dziedziak, 1996). Przeważający obszar badań modelowych charakteryzuje się bardzo niskimi średnimi rocznymi odpływami (Wachowiak, 1980). Udział zasilania podziemnego dla Noteci dla przekroju Noć–Kalina wynosi 62% (Plencner i in., 1999), a odpływ podziemny dla górnej Noteci 2,19 dm³/s·km² (Orszynowicz, Wierzbicka, 1970). Podobne wartości występują na południe od zlewni Noteci. Dla zlewni Zgłowiączki, położonej na północ od złoża, odpływ podziemny wynosi około 0,6–0,9 dm³/s·km² (Graf, 2003).

ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ I WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Obszar złoża węgla brunatnego Mąkoszyn-Grochowska położony jest w obrębie dwóch jednostek – część zachodnia leży w obszarze niecki mogileńsko-łódzkiej, a część wschodnia znajduje się w obrębie antyklinorium kujawskiego. W stratyfikacji hydrogeologicznej tego obszaru wyróżnia się kompleks czwartorzędowy i kompleks neogeńsko-paleogeńsko-mezozoiczny (fig. 2).

Użytkowe poziomy wód podziemnych w obrębie kompleksu czwartorzędowego tworzą: poziom wód gruntowych, poziom międzyglinowy górny oraz poziom międzyglinowy dolny. Występowanie ww. poziomów związane jest z określonymi strukturami piaszczysto-żwirowymi w obrębie osadów czwartorzędu (fig. 3). **Poziom wód gruntowych** o swobodnym zwierciadle wody występuje w utworach piaszczysto-żwirowych tarasów współczesnych dolin rzecznych. Jego miąższość jest zmienna i wynosi zazwyczaj od kilku do kilkunastu metrów. Są to przede wszystkim piaski średnioziarniste, drobnoziarniste i gruboziarniste o współczynniku filtracji od 3 do 30 m/d. Z uwagi na powiązania hydrostrukturalne i krążenie wód, poziom wód gruntowych często two-

rzy jeden układ hydrodynamiczny z **poziomem międzyglinowym górnym**, który występuje w osadach piasków i żwirów fluwioglacjalnych i rzecznych, rozdzielających gliny morenowe zlodowacenia bałtyckiego od zlodowaceń środkowopolskich. Jego miąższość wynosi najczęściej od kilku do 15 metrów, a współczynnik filtracji mieści się w granicach od kilku do lokalnie 50 m/d. **Poziom międzyglinowy dolny** związany jest z osadami rzeczno- interglacjalnymi wielkiego i utworami fluwioglacjalnymi rozdzielającymi gliny morenowe zlodowaceń południowopolskich i środkowopolskich. Tworzą go piaski o różnym uziarnieniu i żwiry o zmiennej miąższości do 30 m, najczęściej 10–20 m. Poziom ten jest zbiornikiem wód naporowych. Wielkość współczynnika filtracji waha się od 5 do 25 m/d.

W obrębie kompleksu neogeńsko-paleogeńsko-mezozoicznego wyróżnia się poziomy wodonośne mioceni (neogen), oligoceni (paleogen) oraz mezozoiczny (kredowo-jurajski). Wodonoścem **poziomu mioceni** są piaski drobnoziarniste i mułowate, lokalnie średnioziarniste, o zmiennej miąższości od około 10 do 60 m i współczynniku

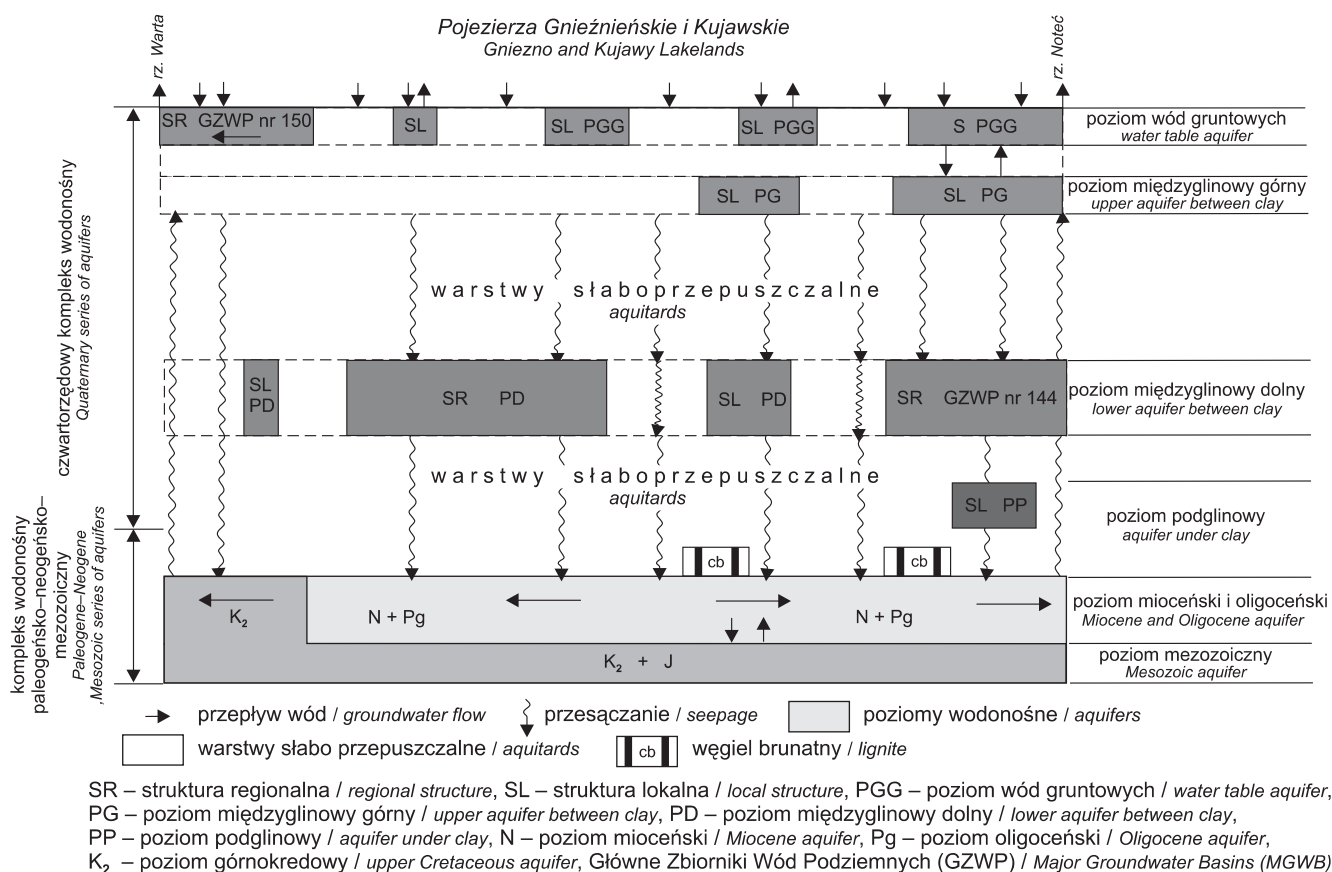


Fig.2. Schemat systemów krążenia wód podziemnych rejonu kopalń konińskich (Dąbrowski i in., 2011, z uzupełnieniami)

Fig.2. Scheme of groundwater circulation in the Konin mining area (modified from Dąbrowski *et al.*, 2011.)

filtracji od 1 do 15 m/d, przedzielone strefowo warstwami mułków i węgla brunatnych o charakterze nieciągłym. Warstwę napinającą stanowią słabo przepuszczalne iły poznańskie oraz gliny zwałowe czwartorzędu. **Poziom oligoceni** stanowią piaski glaukonitowe, najczęściej drobnoziarniste, o miąższości do około 20–30 m, występujące w zagłębieniach podłoża mezozoicznego. Pod względem hydrodynamicznym łączy się on z poziomem mioceni. **Poziom mezozoiczny, kredowo-jurajski** – występuje w spękanych marglach, opokach i wapieniach, zalegających na głębokości od około 20 do ponad 100 m p.p.t. Układ przestrzenny spękań, jak i rozmiar szczelin jest w znacznym stopniu zróżnicowany, stąd też różna jest zdolność tych skał do gromadzenia i krążenia w nich wody. Współczynnik filtracji wynosi od 3 do 30 m/d, lokalnie do 60 m/d.

Na obszarze złoża Mąkoszyn-Grochowska poziomy wodonośny występujący w utworach czwartorzędu i neogenu, ze względu na liczne kontakty hydrauliczne, tworzą wspólny nadkładowy poziom wodonośny. Średnia miąższość utworów przepuszczalnych w tym poziomie wynosi od 20 do 30 m, a współczynnik filtracji około 20 m/d. Wody poziomu podwęglowego, występują w drobnoziarnistych i pylastych piaskach

neogenu o średniej miąższości 10–15 m i współczynniku filtracji od 8–15 m/d. Są to wody porowe o zwierciadle napiętym. Wody poziomu kredowo-jurajskiego związane są z marglami, o współczynniku filtracji od 2 do 6 m/d (Dziedziak, 1996).

Wahania stanów wód pierwszego poziomu, w punktach obserwacyjnych IMGW zlokalizowanych w pobliżu złoża, wynoszą od 2 do 3,5 m (Graf, 2003), w poziomie neogenu 3,5 m, a w poziomie kredowym 1,2 m (strona internetowa PIG-PIB).

Obszar złoża węgla brunatnego Mąkoszyn-Grochowska znajduje się w obrębie górnokredowego GZWP nr 151 Zbiornik Turek–Konin–Koło. Na południe od złoża w rejonie Warty znajduje się GZWP nr 150 Pradolina Warszawa–Berlin (Q) (Koło–Odra), a na wschód od złoża: GZWP nr 225 Zbiornik Międzymorenowy Chodcza–Lanięta (Q) i GZWP nr 226 Zbiornik Krośnice–Kutno (J₃) (fig. 4).

Na obszarze badań występują niekorzystne warunki dla powstawania połączeń hydraulicznych pomiędzy poziomami wodonośnymi. Bezpośrednie kontakty hydrauliczne występują jedynie w rejonie złoża Mąkoszyn-Grochowska, a na pozostałym obszarze w rejonach wymyć i wyklinowań utworów izolujących, przez okna hydrogeologiczne.

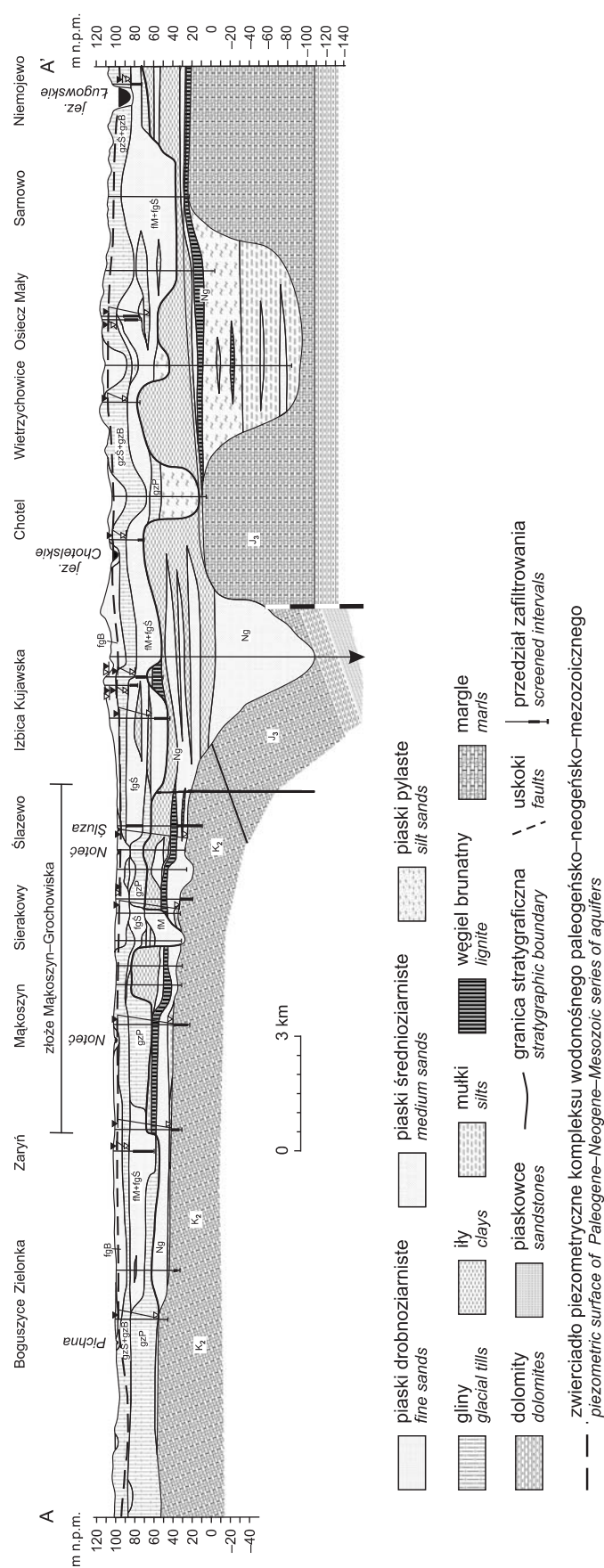


Fig. 3. Przekrój hydrogeologiczny

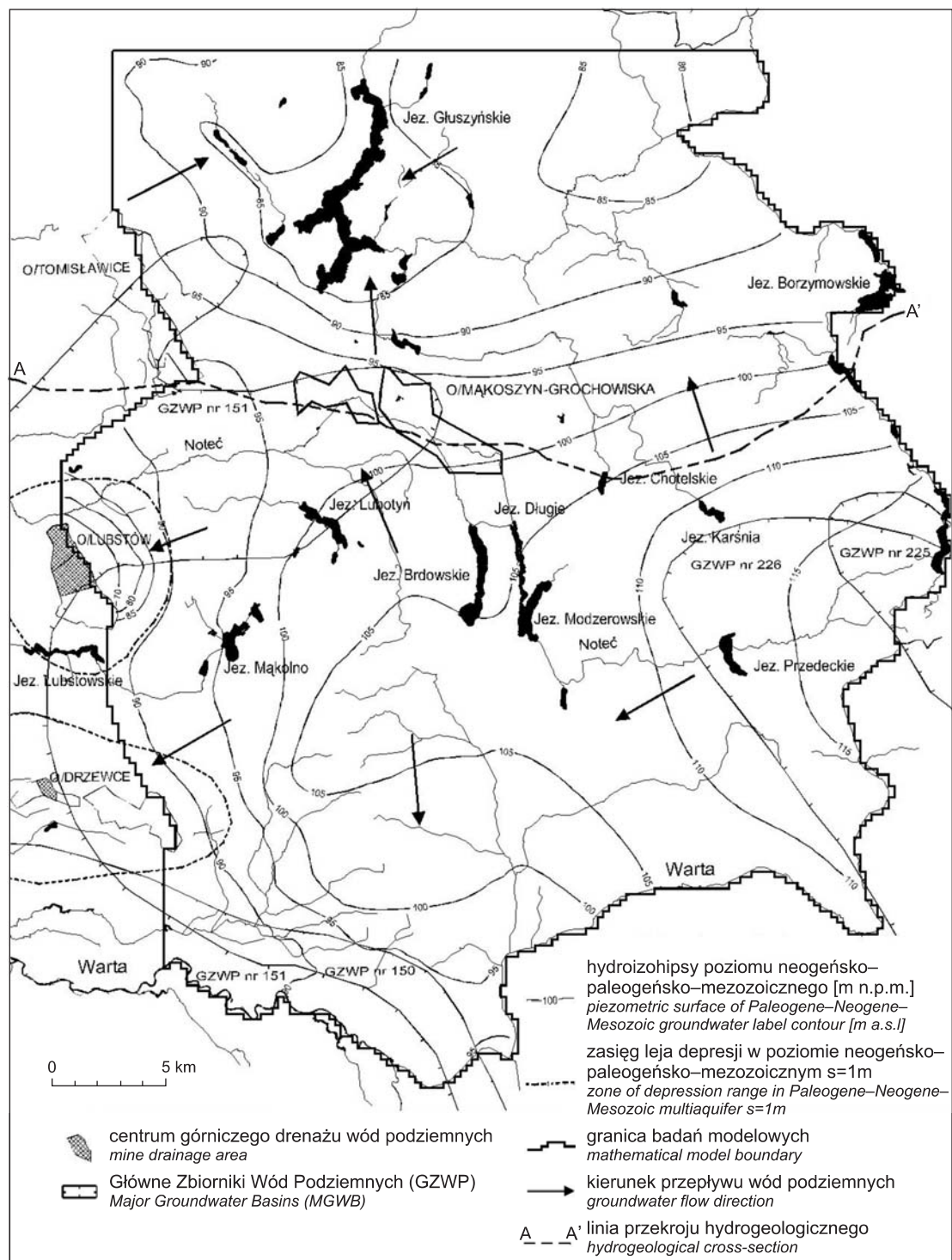


Fig. 4. Mapa hydroizohips neogeńsko-paleogeńsko-mezozoicznego poziomu wodonośnego – stan na 2008 rok

Map of hydroisohyps of the Paleogene-Neogene-Mesozoic multiaquifer formation – 2008

MODEL NUMERYCZNY PRZEPŁYWU WÓD PODZIEMNYCH

CEL I ZAKRES BADAŃ MODELOWYCH

Pierwszym etapem realizacji zadania było wykonanie modelu przepływu wód podziemnych w rejonie złoża węgla brunatnego Mąkoszyn-Grochowska w warunkach quasi-naturalnych, na koniec 2008 r., tj. przed uruchomieniem eksploatacji systemu odwadniania odkrywki Tomisławice oraz przed rozpoczęciem rekultywacji wodnej zbiornika poeksploatacyjnego Lubstów. Model tarowano przy założeniu ustalonych warunków filtracji. Wszystkie następne etapy modelowania prowadzone były w warunkach filtracji nieustalonej. W okresie od 2008 do 2009 roku wykonano dodatkową kalibrację modelu w warunkach ruchu nieustalonego. Następnie prowadzono obliczenia prognostyczne dla okresu od 2010 do 2021 roku. W ich wyniku określono warunki hydrodynamiczne w rejonie złoża Mąkoszyn-Grochowska bezpośrednio przed rozpoczęciem pracy systemu odwadniania nowej odkrywki. Kolejne etapy obliczeń modelowych miały na celu obliczenie dopływu wód podziemnych do studni odwadniających oraz określenie zasięgu leja depresji w rejonie złoża Mąkoszyn-Grochowska dla okresu eksploatacji systemu odwadniania, tj. od 2022 do 2044 roku. Obliczenia wykonano z wykorzystaniem programu Modflow.

MODEL KONCEPCYJNY I MATEMATYCZNY REJONU ZŁOŻA

Dla potrzeb rozwiązania zadania zbudowano trójwymiarowy pięciowarstwowy model matematyczny. Regionalny schemat obliczeniowy oparty został na granicach fizycznych reprezentowanych na południu przez rzeki: Wartę i Rgólówkę, a na wschodzie przez rzeki: Rgólówkę, Chodeczkę, Lubienicę i Zgłowiączkę oraz jeziora: Kromszewskie, Lubienieckie, Ługowskie, Borzykowskie, Krukowskie. Na północy granica przebiega na północ od jeziora Głuszynskiego, poza obszarem potencjalnego oddziaływania odwadniania odkrywki Mąkoszyn-Grochowska. Zachodnia granica modelu przebiega w rejonie skarp zewnętrznych odkrywki Tomisławice, odkrywki Drzewce oraz zbiornika poeksploatacyjnego Lubstów (fig. 4).

Podobnie jak w innych opracowaniach wykonanych dla tego regionu (Dąbrowski i in., 2009; Fiszer, Derkowska-Sitarz, 2010; Szczepiński i in., 2007), przyjęto istnienie trzech kompleksów wodonośnych:

- kompleksu porowego czwartorzędowego górnego, na który składa się poziom gruntowy i międzyglinowy górny – zwanego dalej poziomem wodonośnym I (warstwa I),
- kompleksu porowego czwartorzędowego dolnego, na który składa się poziom międzyglinowy dolny z interglacją mazowieckiego i fluwioglacjalów zlodowaceń środkowo- i południowopolskich – zwanego dalej poziomem wodonośnym II (warstwa III),

- kompleksu porowo-szczelinowego, na który składa się poziom szczelinowy jury i kredy oraz poziom wodonośny w mioceńskich i oligoceńskich piaskach – zwanego dalej poziomem wodonośnym III (warstwa V).

Na większości obszaru badań poziomy wodonośne rozdzielone są warstwami półprzepuszczalnymi i słaboprzepuszczalnymi:

- pomiędzy poziomem wodonośnym I i II – warstwa półprzepuszczalna i słaboprzepuszczalna zbudowana jest z glin morenowych i pyłów zlodowacenia bałtyckiego i śródkowopolskiego (warstwa II),
- pomiędzy poziomem wodonośnym II i III – warstwa półprzepuszczalna i słaboprzepuszczalna zbudowana jest z glin zwałowych czwartorzędu, iłów i węgla brunatnych neogenu (warstwa IV).

Obszar badań modelowych objęto dyskretyzacją w regularnej siatce kwadratowej o kroku 250 m złożonej z 103 420 bloków obliczeniowych w układzie 181 rzędów i 155 kolumn. Całkowita powierzchnia objęta dyskretyzacją wynosi około 1293 km².

Poziom wodonośny I zasilany jest poprzez infiltrację opadów atmosferycznych. W warunkach naturalnych na przepływ wód w tym poziomie ma wpływ drenujący charakter przepływających rzek i cieków oraz jezior. Poziom wodonośny II zasilany jest poprzez strefy kontaktów hydraulicznych z warstwą I, a drenowany poprzez rzeki i jeziora. Zasilanie poziomu wodonośnego III odbywa się przez dopływ wód podziemnych ze wschodu oraz strefy kontaktów hydraulicznych z poziomem I i II, a drenowany jest przez Wartę na południu. Wszystkie poziomy wodonośne drenowane są na zachodzie przez systemy odwadniania odkrywki Tomisławice (od 2009 r.) i Drzewce (od 2003 r.) oraz zbiornik poeksploatacyjny Lubstów (od 2009 r.).

WARUNKI BRZEGOWE I PARAMETRY WEJŚCIOWE DO MODELU

Dla poziomu wodonośnego I i II warunek brzegowy I rodzaju $H = \text{const.}$ przyjęto wzdłuż fragmentów granicy północnej i zachodniej modelowanego obszaru, w obszarach drenażu wód podziemnych lub dopływu wód podziemnych spoza obszaru modelu. Na pozostałych odcinkach, przepływ wód podziemnych odbywa się wzdłuż granic modelu. Wszystkie główne ciek i jeziora, w tym będące granicą południową i wschodnią modelu zostały odwzorowane warunkiem brzegowym III rodzaju $Q = f(H)$. Współczynniki filtracji dla utworów rzecznych oraz jeziornych określone na podstawie tarowania wyniosły 0,001–5 m/d. W przypadku poziomu wodonośnego III warunek brzegowy $H = \text{const.}$ przyjęto wzdłuż fragmentów granicy północnej, zachodniej, południowej i wschodniej, gdzie ma miejsce dopływ lub odpływ wód podziemnych przez granice modelu. Warunek

brzegowy III rodzaju $Q = f(H)$ zadano wyłącznie na południowej granicy modelu, wzdłuż rzeki Warty.

Oddziaływanie odwadniania odkrywki Lubstów symulowano poprzez przyjęcie w poziomie wodonośnym II i III wzdłuż wschodnich skarp odkrywek warunku brzegowego I rodzaju $H = f(t)$. W rejonie odkrywki Drzewce przyjęto warunek brzegowy III rodzaju „GHB” $Q = f(H)$, pozwalający kontrolować przepływ przez granicę modelu w kierunku centrum drenażu, znajdującego w 2008 roku poza granicą modelu.

Wielkość zasilania poziomu wodonośnego poprzez infiltrację opadów atmosferycznych określona warunkiem brzegowym II rodzaju $Q = \text{const.}$ wynosiła od 24 do 110 mm/rok, co stanowi około 5–21% rocznych opadów. W obszarze wy-

stępowania bagien i mokradeł, w warunkach quasi-naturalnych, przyjęto brak zasilania poziomu wodonośnego. Wydatek każdego z ujęć wód podziemnych w granicach objętych badaniami modelowymi (77) uwzględniony został warunkiem II rodzaju $Q = \text{const.}$

Blokom siatki kwadratowej przypisano odpowiednie parametry filtracyjne I, II i III poziomu wodonośnego: współczynnik filtracji 0,3–50,0 m/d, współczynnik odsączalności grawitacyjnej 0,060–0,203 i współczynnik odsączalności sprężystej od 0,00015 do 0,002. Dla utworów słaboprzepuszczalnych występujących w warstwach rozdzielających poziomy wodonośne (warstwa II i IV) przyjęto, poza oknami hydrogeologicznymi, współczynnik filtracji 0,001 m/d.

AKTUALNE WARUNKI PRZEPŁYWU WÓD PODZIEMNYCH

Zbudowany model matematyczny umożliwił odtworzenie quasi-naturalnych warunków krążenia wód podziemnych w rejonie złoża Mąkoszyn-Grochowska, tj. na stan 2008 roku. Pierwotne zwierciadło wody przyjęto na podstawie pomiarów wysokości zwierciadła wody z istniejących na obszarze badań ujęć wód podziemnych, otworów badawczych i piezometrów wykonanych w celu rozpoznania warunków hydrogeologicznych złóż węgla brunatnego. Symulację prowadzono w warunkach ustalonych dla średniego roku hydrologicznego.

Obliczony na podstawie badań modelowych moduł zasilania opadowego dla całego analizowanego obszaru o powierzchni 1293 km² wyniósł dm³/s·km², a dla zlewni Noteci 2,15 dm³/s·km². Drenaż wód podziemnych przez Noteć w punkcie Grochowska wyniósł 0,37 m³/s, a w punkcie Łyszek 0,4 m³/s i wykazuje zgodność z pomiarami rzeczywistymi średniego niskiego przepływu Noteci w tych przekrojach. Zasilanie poziomu wodonośnego I stanowi ok. 11%, poziomu wodonośnego II ok. 6,2%, a poziomu wodonośnego III ok. 1% średniej wielkości opadów atmosferycznych na całym analizowanym obszarze (525 mm) (tab. 1).

Strefami zasilania kompleksów wodonośnych są wysoczyzny morenowe występujące na południe i wschód od złoża. Powierzchnia piezometryczna nachylona jest w kierunku północno-zachodnim i zachodnim. Zwierciadło wody kompleksu czwartorzędowego górnego występuje na rzędnych od 120–140 m n.p.m. w obszarze zasilania do około 100 m n.p.m. w rejonie złoża i 80–90 m n.p.m. w rejonie Warty na południu i jeziora Głuszyńskiego na północy. Na przepływ wód w tym kompleksie wpływ ma drenujący charakter rzek i jezior. Powierzchnie piezometryczne kompleksów czwartorzędowego dolnego i neogeńsko-paleogeńskomezozoicznego stabilizują się poniżej zwierciadła czwartorzędowego górnego i wynoszą od 110–117 m n.p.m. w obszarze zasilania do ok. 100 m n.p.m. w rejonie złoża i ok. 80 m n.p.m. w rejonie Warty i północnej części obszaru (fig. 4). Na skutek odwadniania odkrywek Drzewce oraz Lubstów (obecnie w trakcie rekultywacji wodnej) naturalny układ krążenia wód podziemnych uległ zmianie. Odkrywki te stały się centrum drenażu wód podziemnych dla wszystkich poziomów wodonośnych. Od 2009 roku rozpoczęto odwadnianie odkrywki Tomisławice.

Tabela 1

Bilans wód podziemnych rejonu złoża Mąkoszyn-Grochowska w warunkach quasi-ustalonych na stan 2008 r. [m³/min]

Groundwater balance at the Mąkoszyn-Grochowska lignite deposit region in quasi-steady state conditions at 2008 [m³/min].

Poziom wodonośny	Zasilanie opadowe	Odpływ/dopływ wód podziemnych przez granice zewnętrzne modelu	Przeciekanie z nadległej warstwy wodonośnej	Drenaż przez rzeki i jeziora (warunki brzegowe wewnętrzne modelu)	Studnie ujęciowe
I	142,0	15,1	–	46,7	–
II	–	24,4	80,2	37,8	3,5
III	–	3,7	14,5	–	10,8

PROGNOZA ZMIAN WARUNKÓW HYDRODYNAMICZNYCH

ZMIANY WARUNKÓW BRZEGOWYCH

Do modelowania przepływu wód podziemnych pod wpływem prognozowanego rozwoju systemu odwodnienia wykorzystano model numeryczny, o takich granicach zewnętrznych jakie zostały przyjęte na etapie tarowania modelu. Warunki brzegowe zewnętrzne na granicach: południowej, wschodniej i północnej pozostały niezmienione. Na podstawie wcześniejszych badań (Szczepinski i in., 2008; Dąbrowski i in., 2009; Fiszer, Derkowska-Sitarz, 2010), w każdym z okresów obliczeniowych zmieniano warunki brzegowe zewnętrzne $H = f(t)$ na zachodniej granicy modelu, symulując odwadnianie, a następnie rekultywację wodną odkrywek: Tomisławice (od 2021 r.), Lubstów (od 2009) oraz Drzewce (od 2029 r.).

Rozkład ciśnień hydrostatycznych obliczony na modelu dla 2021 r., tj. bezpośrednio przed rozpoczęciem odwadniania złoża, przyjęto jako warunki początkowe dla symulacji pracy systemu odwadniania nowej odkrywki. Założono, że w schemacie obliczeniowym rozwój systemu odwadniania odwzorowywany będzie w cyklach czasowych: 2022–2029, 2030–2034, 2035–2039 oraz 2040–2044, poprzez przyporządkowanie blokom siatki dyskretyzacyjnej rozmieszczonym na konturze odwadniania odkrywki Mąkoszyn-Grochowska warunku brzegowego wewnętrznego I rodzaju $H = f(t)$. Jego zasięg został ograniczony obszarem projektowanych studni odwodnieniowych (fig. 5). Ze względu na kontakty hydrauliczne między warstwami wodonośnymi w rejonie złoża Mąkoszyn-Grochowska warunkami brzegowymi objęty został poziom wodonośny III, jako zasadniczy z punktu widzenia odwodnienia. Ponadto poza krawędź południową odkrywki przesunięty został warunek brzegowy III rodzaju symulujący zmienione koryto Noteci.

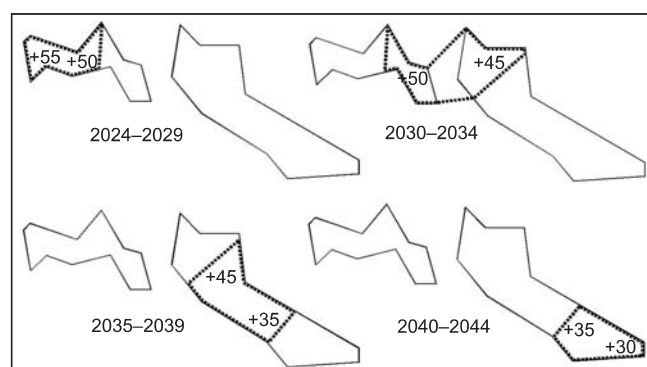


Fig. 5. Warunki brzegowe I rodzaju $H = f(t)$ w obszarze odkrywki

Specified head boundaries conditions
 $H = f(t)$ in the open pit area

WIELKOŚĆ DOPŁYWU WÓD PODZIEMNYCH I ZASIĘG LEJA DEPRESYJNEGO

Rezultaty otrzymane w wyniku badań modelowych wskazują, że dopływ wód podziemnych do systemu odwodnienia odkrywki Mąkoszyn-Grochowska wyniesie od około 40 do około 60 m³/min. Po zakończeniu rekultywacji wodnej sąsiednich odkrywek – Lubstów, Drzewce i Tomisławice – stanie się ona centrum drenażu wód podziemnych w rejonie wschodniej Noteci (fig. 6).

Całkowity obszar objęty lejem depresji kompleksu wodonośnego czwartorzędowego górnego wyniesie 130 km², a kompleksu wodonośnego neogeńsko-paleogeńsko-mezozoicznego 390 km² (fig. 7). Rozwój leja depresji będzie następował we wszystkich kierunkach, obejmując swym zasięgiem na północy i wschodzie ciek Sarnówkę, a na południu Notecę wraz z jej dopływami. Jego postęp będzie zgodny z robotami górnictwami. Na wschodzie i północy zasięg leja depresji w kompleksie neogeńsko-paleogeńsko-mezozoicznym wyniesie 4–10 km, na południe 5–7 km, a na zachód 5–8 km. W kompleksie czwartorzędowym górnym, zasadniczym z punktu widzenia ochrony środowiska, zasięg leja depresji będzie znacznie mniejszy i wyniesie maksymalnie około 4 km. Całkowite zmniejszenie zasilania przez wody podziemne cieków i jezior, które wystąpi w wyniku obniżenia się dopływu podziemnego oraz bezpośredniego drenażu wód powierzchniowych, wyniesie 0,21 m³/s. Obniży się przepływ wód w ciekach rejonu odkrywki oraz dopływ podziemny do jezior: Karaśnia, Brodowskie, Długie, Głuszyńskie i Niemiec. Ponadto z uwagi na występowanie w analizowanym rejonie kompleksów bagien i podmokłości może dojść do zagrożenia ich osuszenia i degradacji, co wymagać będzie podjęcia działań związanych z ich ochroną.

Na skutek odwadniania odkrywki, w rejonie złoża Mąkoszyn-Grochowska ulegną zmianie warunki zasilania i krążenia wód podziemnych (tab. 2, 3, 4).

Przeprowadzone obliczenia wskazują, iż na kształtowanie się wielkości leja depresji będzie miała wpływ wzrastająca w trakcie obniżania się zwierciadła wód podziemnych infiltracja efektywna, która w analizowanym obszarze osiągnie 168,6 m³/min. Odpływ podziemny w obszarze leja depresji wyniesie 2,54–4,14 dm³/s·km², co stanowi od ok. 15 do 25% opadów atmosferycznych, a więc zwiększy się ponad dwukrotnie w stosunku do warunków quasi-naturalnych (tab. 5).

Określona w wyniku modelowania matematycznego średnia wartość odpływu podziemnego w obszarze leja depresji odkrywki Mąkoszyn-Grochowska, która wynosi 3,18 dm³/s·km² jest najniższa z obecnie obserwowanych, w warunkach odkrywkowej eksploatacji polskich złóż węgla brunatnego (tab. 6).

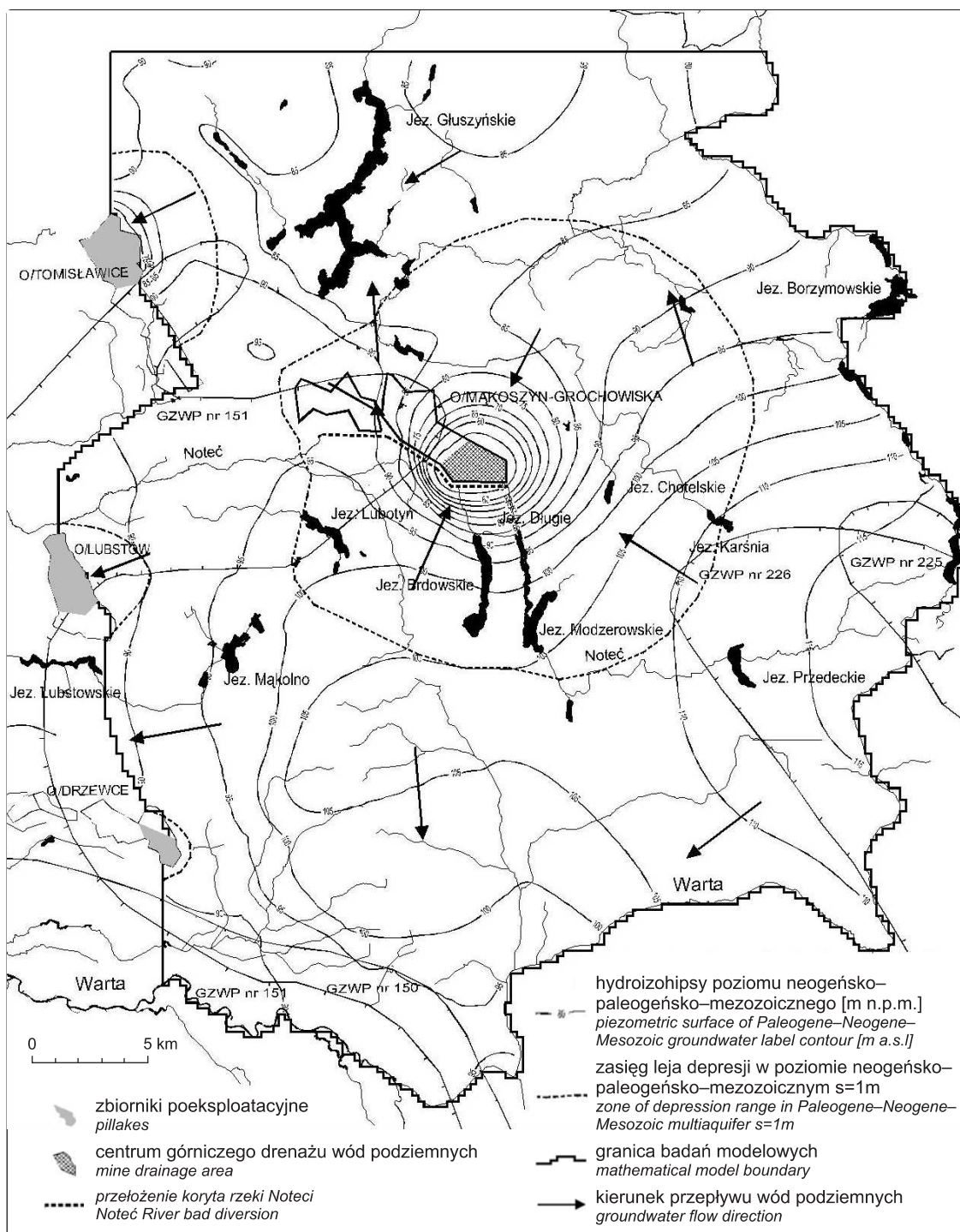


Fig. 6. Mapa hydroizohips neogeńsko-paleogeńsko-mezozoicznego kompleksu wodonośnego – prognoza modelowa na stan 2044 rok

Map of of hydroizohipses of the Paleogene-Neogene-Mesozoic series of aquifers 2044 y., computer model prediction

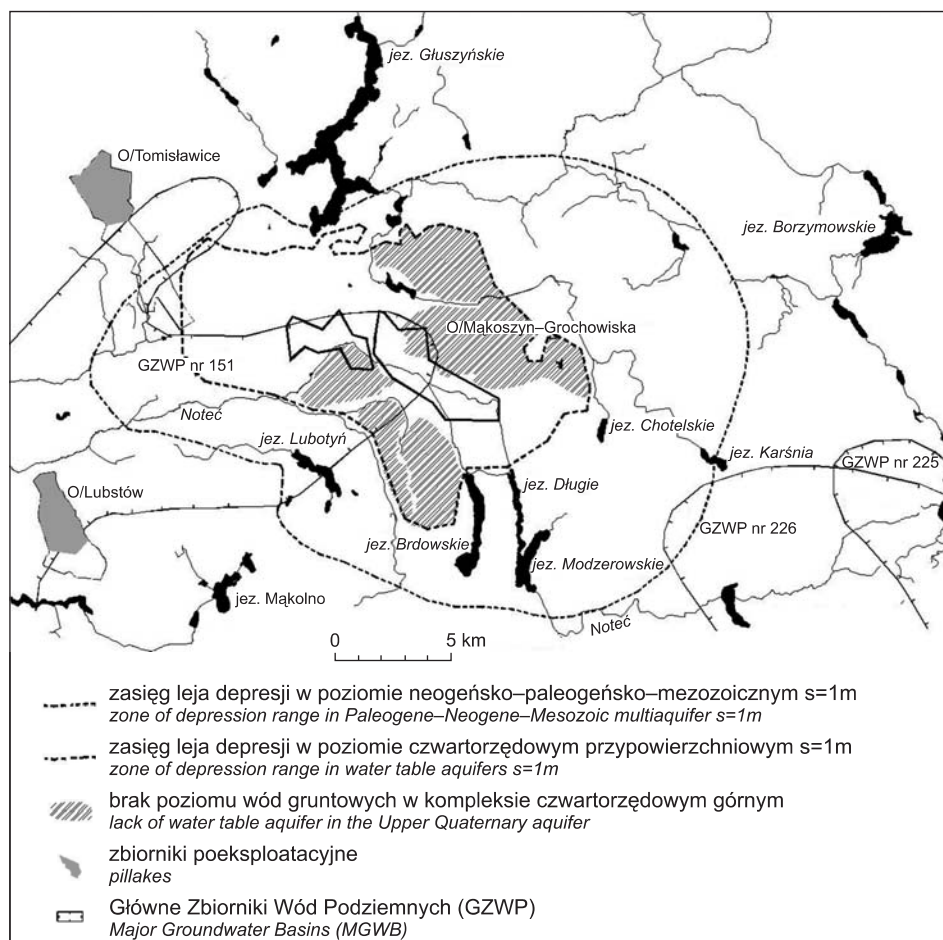


Fig. 7. Prognozowany całkowity zasięg leja depresji w wyniku odwadniania złoża Mąkoszyn-Grochowska

Prediction of the total depression cone range due to Mąkoszyn-Grochowska dewatering

Tabela 2

**Bilans wód podziemnych rejonu złoża Mąkoszyn-Grochowska na 2021 rok,
przed rozpoczęciem odwadniania złoża [m^3/min]**

Groundwater balance at the Mąkoszyn-Grochowska lignite deposit region,
before dewatering operations at 2021 [m^3/min]

Poziom wodonośny	Zasilanie opadowe	Odpływ/dopływ wód podziemnych przez granice modelu	Przeciekanie z nadległej warstwy wodonośnej	Drenaż przez rzeki i jeziora (warunki brzegowe wewnętrzne modelu)	Studnie ujęciowe	Zasoby statyczne
I	157,6	14,8	—	43,9	—	3,4
II	—	23,7	102,3	31,6	3,5	0,1
III	—	33,4	43,6	—	10,8	0,6

Tabela 3**Bilans wód podziemnych rejonu złoża Mąkoszyn-Grochowska na 2034 rok [m³/min]**Groundwater balance at the Mąkoszyn-Grochowska lignite deposit region at 2034 [m³/min]

Poziom wodonośny	Zasilanie opadowe	Odpływ/dopływ wód podziemnych przez granice modelu	Przeciekanie z nadległej warstwy wodonośnej	Drenaż przez rzeki i jeziora (warunki brzegowe wewnętrzne modelu)	Studnie ujęciowe	Zasoby statyczne
I	165,7	16,8	?	42,3	?	6,7
II	?	19,3	113,3	24,0	3,5	0,2
III	?	57,1	66,7	?	10,7	1,1

Tabela 4**Bilans wód podziemnych rejonu złoża Mąkoszyn-Grochowska na 2044 rok [m³/min]**Groundwater balance at the Mąkoszyn-Grochowska lignite deposit region at 2044 [m³/min]

Poziom wodonośny	Zasilanie opadowe	Odpływ/dopływ wód podziemnych przez granice modelu	Przeciekanie z nadległej warstwy wodonośnej	Drenaż przez rzeki i jeziora (warunki brzegowe wewnętrzne modelu)	Studnie ujęciowe	Zasoby statyczne
I	166,8	22,4	–	40,6	–	4,4
II	–	21,2	108,2	25,9	3,5	0,1
III	–	48,9	57,8	–	10,7	1,8

* z uwzględnieniem dopływu wód podziemnych do systemu odwadniania odkrywki Mąkoszyn-Grochowska / including groundwater inflow to dewatering system of Mąkoszyn-Grochowska open pit

Tabela 5
**Moduł infiltracji opadów w leju depresyjnym
pod wpływem odwadniania odkrywki Mąkoszyn-Grochowska**

Efficient infiltration in cone of depression area
due to Mąkoszyn-Grochowska open pit dewatering

Rok	Dopływ do odkrywki [m ³ /min]	Lej depresji [km ²]	Moduł infiltracji [dm ³ /s·km ²]	Infiltracja efektywna [mm/rok]	% opadu rocznego
2008*	–	–	1,83	58,0	11,0
2029	40,4	153,9	4,14	129,7	24,6
2034	55,1	256,4	3,34	104,4	19,8
2039	60,6	319,4	2,68	80,7	15,3
2044	55,2	330,8	2,54	76,5	14,5

* obejmuje cały obszar badań modelowych / includes the whole modelling area

Tabela 6

**Zestawienie modułów infiltracji w okręgach górnictwa
węgla brunatnego w Polsce (Sawicki, 2000, z uzupełnieniami)**

Comparison of efficient infiltration rates at lignite mining areas
in Poland (Sawicki, 2000, modified)

Okręg górniczy	Odkrywki	Moduł infiltracji [dm ³ /s·km ²]	% opadu rocznego
KWB "Turów"	Turów	6,5	32,0
KWB "Konin"	Pątnów, Józwin, Kazimierz	4,08	29,7
KWB "Konin"	Mąkoszyn - Grochowska	3,18	18,6
KWB "Adamów"	Adamów, Bogdanów, Koźmin	5,69	33,6

LITERATURA

- CZYŻ J., JAGODZIŃSKI Z., 2008 — Projekt eksploatacji złoża Mąkoszyn–Grochowska. KWB Konin S.A., Kleczew, (niepublikowane).
- DĄBROWSKI S., KAPUŚCIŃSKI J., NOWICKI K., PRZYBYŁEK J., SZCZEPAŃSKI A., 2011 — Metodyka modelowania matematycznego w badaniach i obliczeniach hydrogeologicznych. Bogucki Wyd. Nauk., Poznań.
- DĄBROWSKI S. (red.), 2009 — Dokumentacja hydrogeologiczna określająca warunki hydrogeologiczne w związku z zakończeniem odwadniania likwidowanego zakładu górniczego odkrywki „Lubstów”. Arch. Hydroconsult Sp. z o.o., Oddz. Poznań (niepublikowane).
- DZIEDZIAK J., 1996 — Dokumentacja geologiczna złoża węgla brunatnego „Mąkoszyn-Grochowska” w kategorii C₁ + C₂. Część hydrogeologiczna. Arch. Przeds. Geol. we Wrocławiu „Proxima” S.A. (niepublikowane).
- FISZER J., DERKOWSKA-SITARZ M., 2010 — Prognoza rozwoju leja depresji i dopływów do kopalń węgla brunatnego Konin z uwzględnieniem projektowanych odkrywek Tomisławice i Ościslów. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **442**: 37–41.
- GRAF R., 2003 — Komentarz do mapy hydrograficznej Polski 1:50 000, Arkusz Sompolno, UAM w Poznaniu.
- KONDRACKI J., 2000 — Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa.
- ORSZTYNOWICZ J., WIERZBICKA B., 1970 — Udział wód podziemnych w bilansie wodnym Dorzecza Odry i rzek Przymorza Zachodniego. Zakład Badania Odplywu IMGW, Warszawa.
- PLENCNER W. i in., 1999 — Bilans wód powierzchniowych wraz z określeniem zasobów dyspozycyjnych dla dorzecza Górnej Noteci, IMGW O/Poznaniu, Poznań (niepublikowane).
- STACHY J. (red.), 1987 — Atlas hydrologiczny Polski, IMGW. Wyd. Geol., Warszawa.
- SAWICKI J., 2000 — Zmiany naturalnej infiltracji opadów do warstw wodonośnych pod wpływem głębokiego, górniczego drenażu. Ofic. Wyd. Polit. Wroc., Wrocław.
- SZCZEPIŃSKI i in., 2007 — Dokumentacja hydrogeologiczna określająca warunki hydrogeologiczne w związku z projektowaniem odwodnienia do wydobycia węgla brunatnego ze złoża Tomisławice. Arch. Poltegor-projekt Sp. z o.o., (niepublikowane).
- WACHOWIAK G., 1980 — Potwierdzenie niskiego odpływu średniego w okolicach jeziora Gopło. *Gazeta Obserwatora IMGW*, **10** (394) R.XXXIII.
- ZIĘTKOWIAK Z., 2003 — Komentarz do mapy hydrograficznej Polski 1:50 000, Izbica Kujawska, UAM w Poznaniu.
- ZESTAWIENIE wahań zwierciadła wód podziemnych w punktach obserwacyjnych Sieci Stacjonarnych Obserwacji wód podziemnych. Strona internetowa <http://www.pgi.gov.pl/soh/studnie>

SUMMARY

Due to foreseen completion of lignite production in the Konin Lignite Mine the opportunity to built a new open pit in the „Mąkoszyn-Grochowska” deposit is considered. It is expected that groundwater will be lowered by large-diameter pumping wells with depth of 60–90 m. The wells will be pla-

ced in the barriers protecting, draining the forefield of the open-pit and taking static water within the pit. The area of the deposit is located in the Noteć river valley. In the neighborhood many lakes and wetlands are present. Average annual precipitation in the region is 550 mm, but the evapo-

ration varies from 500–520 mm. The average baseflow for this area is 2.19 l/s/km^2 .

For modeling reason three main series aquifers has been distinguished in the Makoszyn–Grochowiska deposit area: 1. Quaternary upper porous aquifers between clay, 2. Quaternary lower porous aquifers between clay and 3. Neogene-Paleogene-Mesozoic porous-fissured aquifers. It is expected that the main cone of depression develops in wide spread aquifer of Neogen and Paleogen sands and Cretaceous marls. The cone of depression in the upper Quaternary aquifer depends mainly on occurrence and thickness of sands.

To assess the development of the cone of depression and the groundwater inflow to the proposed opencast lignite mine 3-D, five-layered mathematical model with area of

1293 km^2 has been constructed. The results indicate that during the dewatering system operation (2029–2044) groundwater inflow into the proposed open pit mine will reach from 40 to $60 \text{ m}^3/\text{min}$. The cone of depression will develop in all directions, covering Notec River and its tributaries as well as nearby lakes. The total area covered by the upper Quaternary series of aquifers will reach 130 km^2 , and by the Neogene-Paleogene-Mesozoic series of aquifers 390 km^2 . As a result of the groundwater table lowering the effective infiltration will rise from $1.83 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$ (for the whole area of research) to maximum $4.14 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$ in the cone of depression (2029). The average infiltration ratio in the Makoszyn–Grochowiska cone of depression will account for $3.18 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$ and will reach 18,6% of the average precipitation ratio.