



Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy

Państwowa służba geologiczna
Państwowa służba hydrogeologiczna

**Wykonawca
ekspertyzy:**

**Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy
Oddział Pomorski w Szczecinie, ul. Wieniawskiego 20, 71-130 Szczecin**

**Zamawiający
i finansujący
ekspertyzę:**

Gmina Stargard, ul. Rynek Staromiejski 5, 73-110 Stargard

Ekspertyza hydrologiczna
dotycząca możliwości zwiększenia zasobów eksploatacyjnych wody na
SUW Lubowo Gmina Stargard

miejsowość : Lubowo
gmina : Lubowo
powiat : stargardzki
województwo: zachodniopomorskie

Opracowali:

Dyrektor:

mgr inż. Zenon Wiśniowski
Nr upr. V-1182

mgr inż. Ryszard Hoc
Nr upr. V-1422

Szczecin, grudzień 2022 r.

SPIS TREŚCI

1.	PODSTAWA OPRACOWANIA.....	3
2.	STAN UJĘCIA. PERSPEKTYWICZNE ZAPOTRZEBOWANIE UJĘCIA NA WODĘ.....	3
3.	SPOSÓB REALIZACJI EKSPERTYZY	6
4.	BUDOWA GEOLOGICZNA	7
5.	WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE	9
6.	DANE WEJŚCIOWE DO MODELU NUMERYCZNEGO.....	17
	6.1. Opady.....	17
	6.2. Infiltracja efektywna	20
7.	MODEL NUMERYCZNY	21
	7.1. Wybór programu obliczeniowego	22
	7.2. Dyskretyzacja obszaru badań	22
	7.3. Warunki brzegowe modelu	23
	7.4. Parametry modelu i ocena wiarygodności	25
8.	WYNIKI SYMULACJI NA MODELU NUMERYCZNYM.....	26
9.	WNIOSKI KOŃCOWE	35
10.	Wykorzystane materiały	36

Załączniki graficzne

Załącznik 1. Przekroje hydrogeologiczne przebiegające przez obszar opracowania

Załączniki tekstowe

Załącznik 1. Propozycja zakresu modernizacji SUW Lubowo

1. PODSTAWA OPRACOWANIA

Podstawą opracowania: Ekspertyza hydrogeologiczna dotycząca możliwości zwiększenia zasobów eksploatacyjnych wody na SUW Lubowo Gmina Stargard, było zlecenie z dnia 13.07.2022 r., znak: GKI.271.92.2022.AM udzielone przez Gminę Stargard dla Państwowego Instytutu Geologicznego - Państwowego Instytutem Badawczego w Warszawie, Oddział Pomorski w Szczecinie. W ślad za tym zlecenie w sierpniu 2022 roku zawarta została umowa na wykonanie tej ekspertyzy. Ekspertyza będzie uwzględniała obowiązujące przepisy prawne dotyczące dokumentowania zasobów wód ujęć wód podziemnych:

- a) Ustawa z dn. 20 lipca 2017 r. Prawo Wodne, Dz. U. 2017 poz. 1566, z późn. zm.
- b) Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. - Prawo geologiczne i górnicze, Dz. U. 2011 Nr 163 poz. 981, z późn. zm.
- c) Ustawa z dn. 27 kwietnia 2001 r. - Prawo ochrony środowiska, Dz. U. 2001 Nr 62 poz. 627 z późn. zm.
- d) Ustawa z dn. 3 października 2008 r. O udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko, Dz.U. 2008 nr 199 poz. 1227 z późn. zm.

2. STAN UJĘCIA. PERSPEKTYWICZNE ZAPOTRZEBOWANIE UJĘCIA NA WODĘ.

Ujęcie wody Lubowo powstało na początku lat 90. XX wieku dla zaopatrzenia w wodę miejscowości położonych na północ i północny-zachód od Stargardu: Klępino, Lubowo, Rogowo i Żarowo. Studnia nr 1 ujęcia jest otworem studziennym nr S-7, który wykonany został w 1983 r. w trakcie robót hydrogeologicznych wykonanych dla udokumentowania zasobów wód ujęcia Stargard Północ. Jest to jeden z otworów udokumentowanych w ramach „Dokumentacji badań geologicznych z ustaleniem zasobów wody podziemnej w rejonie Stargardu Szczecińskiego”, opracowanej przez Przedsiębiorstwo Geologiczne Wrocław, Oddział w Poznaniu w 1986 r., a zatwierdzonej decyzją Głównego Geologa Kraju z dnia 16.04.1987 r., znak: KDH/013/5233/M/87. Ujęcie wody Stargard Północ nie powstało, natomiast ustalone w trakcie wykonanych prac geologicznych zasoby wód podziemnych w kat. B dla obszaru zasobowego wyznaczonego na północ i północny-wschód od Stargardu funkcjonowały w obiegu prawnym. W 1992 roku dla studni nr S-7, nazwanej wówczas studnią nr 1 nowego ujęcia grupowego Lubowo, udokumentowano zasoby eksploatacyjne. Zasoby te udokumentowano w „Aneksie (nr 1) do regionalnej dokumentacji

hydrogeologicznej z ustaleniem zasobów wody podziemnej w rejonie Stargardu Szczecińskiego” (Żdan S., 1992). Zasoby eksploatacyjnej studni ustalono w wysokości:

$$Q_e = 60 \text{ m}^3/\text{h} \text{ przy depresji } S_e = 2,1 \text{ m i } R = 150 \text{ m.}$$

Zasoby te określone zostały w ramach zasobów regionalnych zatwierdzonych decyzją KDH w 1987 r. Wymienioną dokumentację (aneks nr 1) wraz z ustaleniem zasobów eksploatacyjnych zatwierdzono decyzją Wojewody Szczecińskiego z dnia 09.09.1992 r., znak: OS-10/7520-2/13/92.

W roku 1993 zaprojektowano i wykonano studnię nr 2 ujęcia wody Lubowo. Studnia ta była przeznaczona do przemiennej eksploatacji ujęcia ze studnią nr 1. Zasoby eksploatacyjne studni nr 2 ustalone zostały w wysokości:

$$Q_e = 60 \text{ m}^3/\text{h} \text{ przy depresji } S_e = 2,1 \text{ m i } R = 150 \text{ m.}$$

Są to zasoby równe zasobom studni nr 1.

Zasoby te udokumentowane zostały w dokumentacji hydrogeologicznej nazwanej „Aneks nr 2 do regionalnej dokumentacji hydrogeologicznej wody podziemnej w rejonie Stargardu Szczecińskiego” (Żdan S., 1993). Aneks ten zatwierdzony został decyzją Wojewody Szczecińskiego z dnia 02.07.1993 r., znak: OS-10/7520-2/14/93.

Zgodnie z aneksami nr 1 i 2 studnie ujęcia Lubowo eksploatowane są naprzemiennie z wydajnościami nie przekraczającymi zasobów eksploatacyjnych.

Zgodnie z obowiązującym pozwoleniem wodnoprawnym z dnia 01.06.2006 r., znak: GŃŚ.IN.6223-29-3/06, z ujęcia wody podziemnej Lubowo można pobierać maksymalnie godzinowo wodę podziemną w ilości $Q_{g. \text{ max. }} = 26,0 \text{ m}^3/\text{h}$.

Perspektywiczne zapotrzebowanie ujęcia na wodę

Wykonawca ekspertyzy dysponował pismem eksploatatora ujęcia Lubowo, firmy Wodociągi Zachodniopomorskie Sp. z o.o. z siedzibą w Goleniowie, z dnia 03.03.2022 r. (znak: WZ/TI/043/1020/22/SB (Zał. tekst. 1), skierowanego do Gminy Stargard, zatytułowanego: „Propozycja zakresu modernizacji SUW Lubowo”. W ramach proponowanych prac modernizacyjnych w pkt. 3 wymieniono „opracowanie dokumentacji hydrogeologicznej na odwiert dwóch studni głębinowych” a w pkt. 5. zaplanowano „wymianę zestawu hydroforowego na projektowane zapotrzebowanie na wodę w perspektywie wynoszące $2000,0 \text{ m}^3/\text{d}$. Podane zapotrzebowanie jest zapotrzebowaniem średnim dobowym.

Z wartości dobowej wynika średnie zapotrzebowanie godzinowe – $Q_{\text{sr.h}} = 111 \text{ m}^3/\text{h}$. Dla ujęcia przyjęto współczynnik nierównomierności zapotrzebowania na wodę równy 2,0, z czego wynika, że maksymalne godzinowe zapotrzebowanie na wodę wyniesie – $Q_{\text{max.h}} = Q_{\text{sr.h}} \times 2 = \sim 220 \text{ m}^3/\text{h}$.

Wielkość ta będzie poziomem do którego będą dążyły symulacje na modelu przepływu wód podziemnych.



Ryc. 1. Lokalizacja ujęcia Lubowo na mapie topograficznej

3. SPOSÓB REALIZACJI EKSPERTYZY

Niniejsza ekspertyza ma dać odpowiedź na pytanie jakie są możliwości techniczno-geologiczne zwiększenia zasobów eksploatacyjnych ujęcia wody.

Ustalony w aktualnie obowiązujących aneksach do dokumentacji hydrogeologicznej sposób naprzemiennej eksploatacji studni jest znacząco niższy od ustalonego $Q_{\max.h}$.

W celu zwiększenia zasobów eksploatacyjnych ujęcia Lubowo do poziomu $220 \text{ m}^3/\text{h}$ zaproponowano wykonanie symulacji poborów wód na modelu numerycznym przepływu wód podziemnych. Ekspertyza powinna zawierać symulacje oddziaływania pracy ujęcia modelu numerycznym. Oddziaływanie to obejmuje rozpoznanie dynamiki wód wokół ujęcia wraz z określeniem linii spływu wód do studni, określenie obszaru spływu wód do poszczególnych studni oraz wielkości depresji wokół studni.

Zaplanowano następujące symulacje:

1. Symulacja I (dla studni nr 1 i nr 2) - przy pojedynczej eksploatacji studni oraz przy poborach w wysokości zasobów eksploatacyjnych $Q_e = 60,0 \text{ m}^3/\text{h}$ (stan zgodny z aktualnymi decyzjami zasobowymi).
2. Symulacja II – przy zespołowej eksploatacji studni nr 1 i 2 ujęcia w wysokości ustalonych zasobów eksploatacyjnych ujęcia ($2 \times 60 \text{ m}^3/\text{h}$).
3. Symulacja III – przy eksploatacji zespołowej studni nr 1 i nr 2 w wysokości zasobów eksploatacyjnych ($2 \times 60 \text{ m}^3/\text{h}$) oraz przy poborze symulowanym w dodatkowej studni nr 3 w wysokości poborów – $50 \text{ m}^3/\text{h}$.
4. Symulacja nr IV - przy eksploatacji zespołowej studni nr 1 i nr 2 w wysokości zasobów eksploatacyjnych tych studni (po $60 \text{ m}^3/\text{h}$) oraz przy poborze symulowanym w 2 dodatkowych studniach nr 3 i nr 4 w wysokości poborów – po $50 \text{ m}^3/\text{h}$.

Warunki zasilanie przyjęte dla modelu są takie jak dla roku 2021. Był to rok zbliżony do lat suchych. Dla każdej symulacji określony zostanie obszar spływu wód do studni ujęcia, który utożsamiany będzie z obszarem zasobowym ujęcia (jako obwiednia linii spływu wód do studni). Dla tych obszarów wykonany zostanie bilans wód, który umożliwi ustalenie odnawialnych zasobów wód dla tych obszarów – Q_0 . Założone w każdej symulacji zasoby eksploatacyjne będą możliwe do zrealizowania w postaci poborów równych Q_e , tylko wówczas gdy spełniony zostanie warunek:

$$Q_e \leq Q_0$$

Dodatkowym warunkiem dla każdej symulacji będzie ograniczenie depresji w studni do $\frac{1}{2}$ wartości potencjału hydraulicznego dla warstwy użytkowej tj do około 10 m n.p.m.

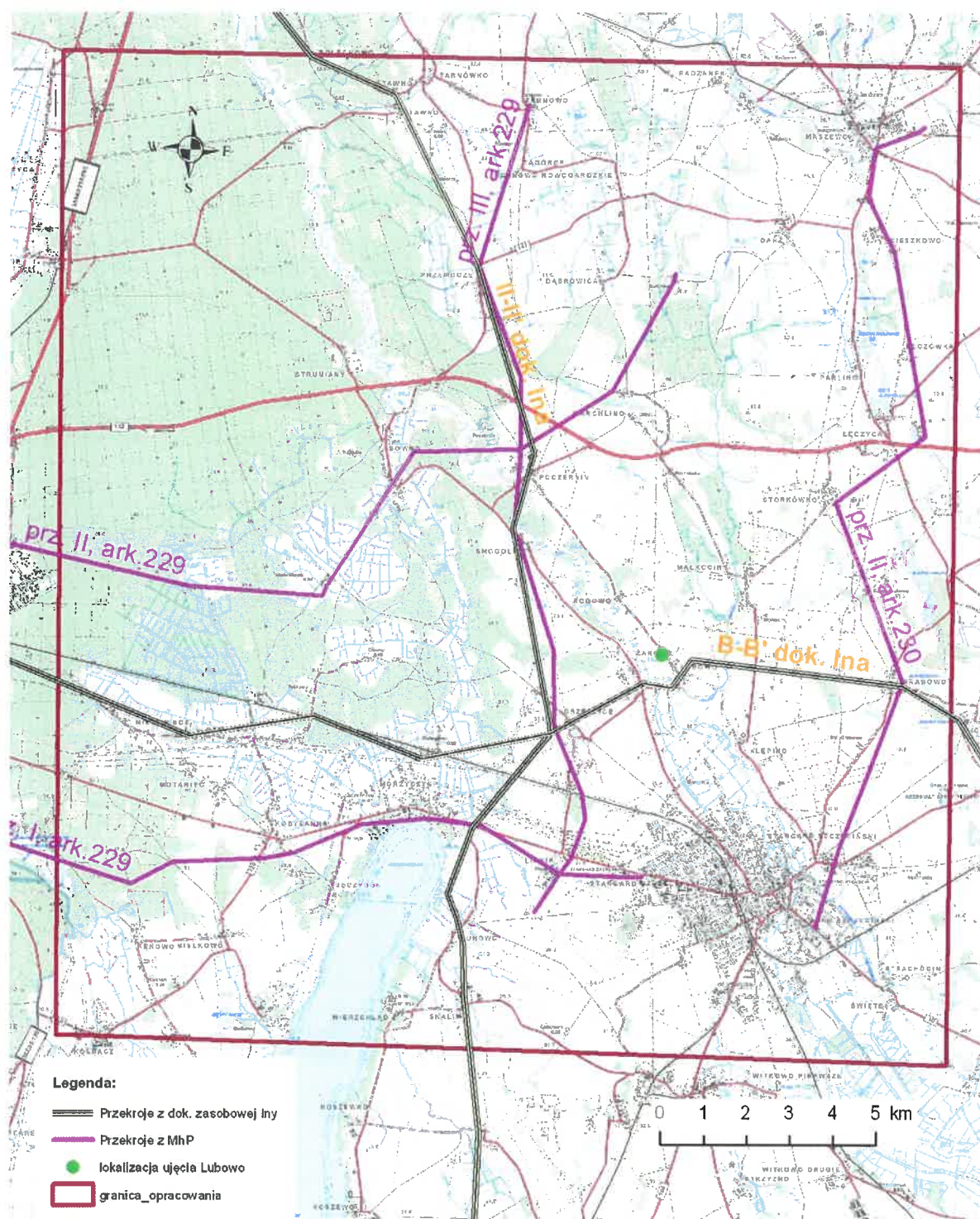
4. BUDOWA GEOLOGICZNA

W permo-mezozoicznym planie strukturalnym obszar ujęcia Lubowo oraz obszar wykonanego modelu numerycznego położony jest na obszarze niecki szczecińskiej, w obrębie której wydziela się struktury niższego rzędu, powstałe u schyłku fazy laramijskiej. Na powierzchni podczwartorzędowej zaznaczają się znaczne deniwelacje o charakterze erozyjnym. Na całej powierzchni podczwartorzędowej stwierdzono występowanie osadów miocenu i oligocenu dolnego. Strop osadów mioceńskich, składających się z serii burowęgłowej (iły, mułki z wkładkami węgla brunatnego, piaski mułkowate i ilaste) notowany jest najwyżej na wysokości +20,3 m n.p.m. w okolicy Jezierzyc, i na 17,0 m n.p.m. na wschodnim brzegu jeziora Miedwie. W tym ostatnim miejscu stwierdzono warstwy węgla brunatnych do 4 m miąższości. Osady mioceńskie są słabo wodonośne, a z uwagi na zwykle podwyższoną barwę, wody nie mają znaczenia użytkowego. Na południu obszaru osady miocenu są silnie zaburzone glacitektonicznie. W rejonie Jezierzyc, spiętrzone osady mioceńskie, występujące na powierzchni lub pod niewielkim pokryciem osadami czwartorzędowymi, są częścią struktury Wzgórz Bukowych.

Profil osadów plejstocenu składa się maksymalnie z ośmiu poziomów glin zwałowych i rozdzielających je serii wodnolodowcowych oraz zastoiskowych. Zaliczone są one do zlodowaceń południowopolskich, środkowopolskich i północnopolskich. Z uwagi na znaczne deniwelacje podłoża czwartorzędu, najstarsze gliny i rozdzielające je osady piaszczysto – żwirowe: fluwioglacjalne i rzeczne rozpoznane zostały jedynie otworami badawczymi, jako osady wypełniające kopalne doliny erozyjne. Osady zlodowacenia południowopolskiego prawie w całości wypełniają kopalne doliny. Na ich powierzchni na poziomie od -20 do 0 m n.p.m. powstała powierzchnia zrównania (interglacjał wielki) zaznaczona poziomem bruku morenowego. Na powierzchni tej osadzone zostały transgresywne piaski ze żwirami zlodowacenia środkowopolskiego (warty), który tworzą główny użytkowy poziom wodonośny w omawianym rejonie. Powyżej opisanego poziomu piaszczystego występują 2-3 poziomy glin piaszczystych, nieciągłe, o miąższościach od kilku do ponad 20 m, które rozdzielają osady fluwioglacjalne o kilkumetrowej miąższości, a niekiedy poziomy te łączą się w większej miąższości nierozdzielony pakiet glin środkowopolskich. Gliny i piaski

złodowceń północnopolskich na wysoczyznach, to osady fazy pomorskiej. Tworzą je występujące lokalnie w spągu glin piaski fluwioglacjalne, o miąższości kilku metrów, przykryte pakietem glin o miąższości od 10-20 m. Miejscami na glinach występują płyty powierzchniowych piasków fluwioglacjalnych. Na obszarze niziny goleniowskiej gliny środkowopolskie są wyerodowane, a w ich miejsce na piaskach z fazy transgresji warciańskiej leży bezpośrednio warstwa piasków i żwirów fluwioglacjalnych fazy pomorskiej o miąższości do 25 m. Osady te na powierzchni pokryte są piaskami równin rzeczno-rozlewiskowych, powstałych u schyłku ostatniego zlodowacenia. Spąg tych osadów występuje na rzędnych od –10 do 0 m n.p.m., a sięgają one do powierzchni terenu (od 0 do 30 m n.p.m.). Występujące tu połączone, nawet 3, poziomy fluwioglacjalne, dają znaczne, sięgające 60 m miąższości osadów piaszczysto-żwirowych. Osady holoceny, to głównie torfy i namuły o miąższości rzędu kilku metrów, występujące przede wszystkim w obrębie zróżnicowanych genetycznie zagłębień terenu.

Budowę geologiczną i warunki hydrogeologiczne pokazano na przekrojach hydrogeologicznych (Zał. graf. 1).



Ryc. 2. Lokalizacja przekrojów zestawionych w załączniku graficznym nr 1.

5. WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Na omawianym obszarze użytkowe poziomy wodonośne występują wyłącznie w obrębie osadów czwartorzędowych. Tworzą one czwartorzędowe piętro wodonośne. W piętrze tym wydzielono trzy zasadnicze poziomy:

- przypowierzchniowy poziom wodonośny, w tym na obszarze równiny rzeczno-rozlewiskowej,
- międzyglinowy poziom wodonośny,
- podglinowy poziom wodonośny

Na obszarze ujęcia występuje poziom przypowierzchniowy oraz międzyglinowy.

Przypowierzchniowy poziom wodonośny.

Poziom przypowierzchniowy na wysoczyźnie związany jest z osadami fluwioglacjalnymi podścielającymi i pokrywającymi gliny fazy pomorskiej i poznańsko leszczyńskiej. Osady tego poziomu rozprzestrzenione są na obszarze wysoczyzny morenowej na wschód od doliny Iny. Poziom przypowierzchniowy w dolinach tworzą piaszczyste osady holocenyckie wypełniające dna dolin, wodolodowcowe osady wypełniające dolinki wód roztopowych, piaszczyste osady stokowe i deluwialne. Warstwy te nie posiadają znaczenia użytkowego, jednakże ich obecność wpływa korzystnie na zwiększenie retencji wód opadowych, a więc również ostatecznie na zwiększenie zasobów wód poziomów użytkowych.

Do poziomu wodonośnego przypowierzchniowego zaliczono również pierwszą warstwę wodonośną, o swobodnym zwierciadle wód, na obszarze równiny rzeczno-rozlewiskowej. Poziom ten rozprzestrzeniony jest na obszarze Równiny Goleniowskiej. Piaski rzeczno-rozlewiskowe leżą tu najczęściej na piaskach fluwioglacjalnych z fazy transgresji pomorskiej. Najczęściej są to piaski drobnoziarniste w stropie, przechodzące w części fluwioglacjalnej do średnioziarnistych, z domieszką frakcji grubszych w spągu. W zagłębieniach powierzchni leżą torfy, lokalnie napinające lustro wód podziemnych.

Obecność osadów organicznych na powierzchni wpływa bardzo niekorzystnie na jakość wód podziemnych. Miąższość osadów wodonośnych poziomu wynosi od kilkunastu do około 30 m. Spągami poziomu są gliny i mułki zlodowacenia środkowopolskiego, a na kulminacjach podłoża trzeciorzędowego – mułowce i piaski miocenu i iły oligocenyckie.

Poziom przypowierzchniowy jest powszechnie ujmowany na obszarze swego występowania na zachód od doliny Iny. Do większych ujęć zaliczyć można ujęcie wód podziemnych w Kliniskach, Zdunowie, Płoni, Rurce.

W otoczeniu misy jeziora Miedwie poziom tworzą jeziorne piaski mułkowate, o znacznie gorszych parametrach hydraulicznych. W tej części poziomu funkcjonowało wiele ujęć ośrodków wypoczynkowych w Morzyczynie i Zieleniewie, jednakże z uwagi na niskie

wydajności i złą jakość wody, ujęcia te obecnie są nieczynne, a wodę dostarcza wodociąg grupowy z Lipnika.

Warstwa zasilana jest przez bezpośrednią infiltrację wód opadowych; drenowana jest przez rzekę Inę i jeziora Dąbie i Miedwie.

Międzyglinowy poziom wodonośny.

Międzyglinowy poziom wodonośny reprezentuje szereg warstw, soczew i klastycznych wypełnień kanałów subglacialnych lub dolin rzecznych powstałych w okresie faz zlodowaceń środkowopolskich i interglacjału wielkiego. Połączenie wielu zasobnych w wodę elementów morfogenetycznych daje w efekcie poziom wodonośny o regionalnym rozprzestrzenieniu. Najczęściej poziom ten jest dwudzielny (dolny i górny). Spąg tego poziomu występuje na głębokości od – 30 do 0 m n.p.m., a strop notowany jest na głębokościach 0-15 m n.p.m. Poziom ten ma podstawowe znaczenie jako zbiornik wód podziemnych na obszarach wysoczyznowych. Przykryty jest pakietami glin piaszczystych zlodowacenia północnopolskiego o miąższościach od 15-30 m, na których miejscami leżą piaski poziomu przypowierzchniowego. Poziom występuje prawie na całej powierzchni objętej modelem numerycznym. Posiada napięte lustro wody stabilizujące się od 0 do 10 m p.p.t. Międzyglinowy poziom wodonośny ujmują ujęcia wód podziemnych w Tarnowie, Przemocz, Poczerninie, Lubowie, Smogolicach i Lipniku. Ujęcia posiadają wysokie wydajności jednostkowe studni od $6 \text{ m}^3/\text{h}/1\text{mS}$ w Smogolicach, do $63 \text{ m}^3/\text{h}/1\text{mS}$ w Lipniku. Miąższość warstw wodonośnych poziomu waha się od 17 do 36 m, a przewodność od 200 do $2138 \text{ m}^2/\text{d}$.

Warstwy składające się na międzyglinowy poziom wodonośny zbudowane są z piasków różnoziarnistych i żwirów, z dużym udziałem piasków drobnych. Zwierciadło wody ma charakter napięty; podlega wahaniom w ciągu roku hydrologicznego (rzędu 0,5 m) oraz wahaniom wieloletnim (11,13.). W trakcie prac terenowych we wrześniu 2022 r., w dostępnych otworach na ujęciu Lubowo i wokół niego wykonano pomiary położenia lustra wody. Wykazały one zgodność w granicach wahań sezonowych z pomiarami archiwalnymi.

Z mapy hydroizohips wykonanej w oparciu o obliczenia na modelu numerycznym wynika, że dolina Iny jest strefą drenażu poziomu międzyglinowego. Wody ujmowane z poziomu międzyglinowego nie wymagają uzdatniania lub jedynie bardzo prostego przez napowietrzanie i filtrację, z uwagi na przekroczenie dopuszczalnej zawartości żelaza – do $3 \text{ mg}/\text{dm}^3$, rzadziej manganu – do $0,3 \text{ mg}/\text{dm}^3$. Utwory gliniaste zalegające w stropie poziomu wodonośnego stanowią dostateczną izolację, chroniącą wody przed zanieczyszczeniami

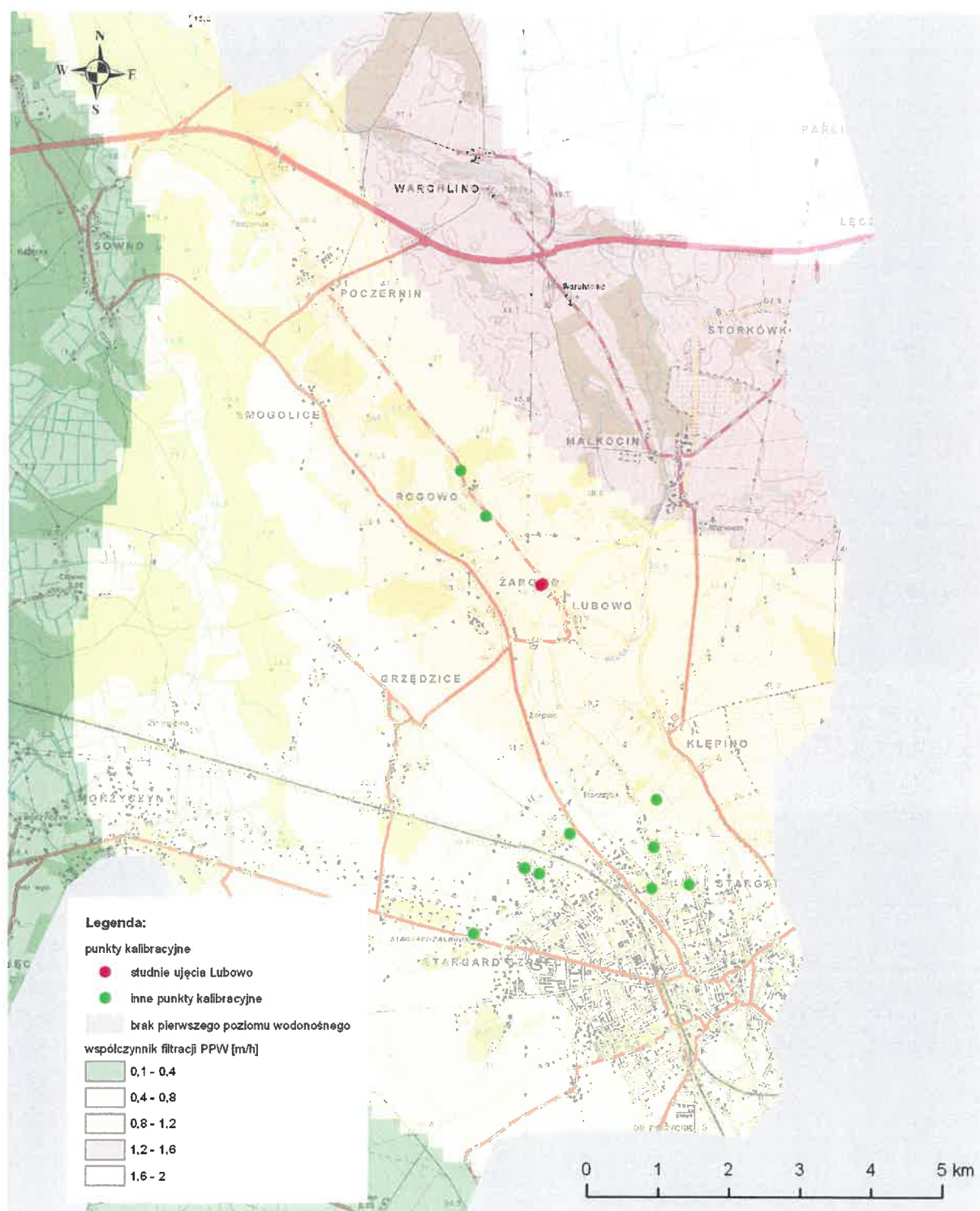
powierzchniowymi, co przy braku ognisk zanieczyszczeń daje średni i niski stopień zagrożenia poziomu.

Zasilanie poziomu międzyglinowego następuje drogą bezpośredniej infiltracji opadowej poprzez warstwę osadów słabo przepuszczalnych lub poprzez przesączanie wód z warstwy przypowierzchniowej położonej wyżej.

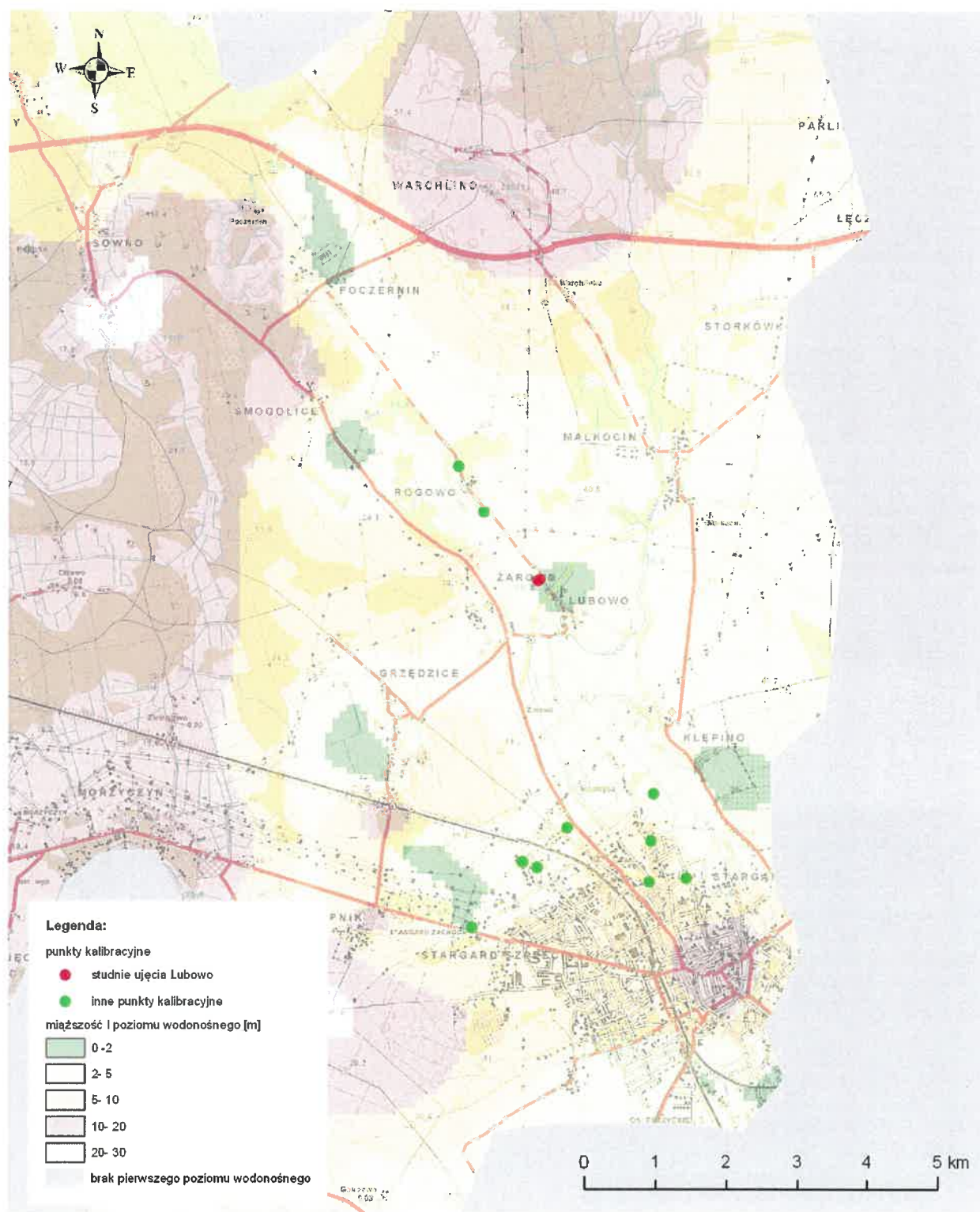
Podglinowy poziom wodonośny

Poziom podglinowy związany jest z osadami najstarszych zlodowaceń i ze stropowymi partiami wodonośnego trzeciorzędu. Fragmentarycznie poziom podścielają najstarsze gliny. Został on stwierdzony wierceniami badawczymi w głębokich dolinach kopalnych, w południowej i wschodniej części arkusza, na rzędnych od –20 do –80 m n.p.m. Z uwagi na słabe rozpoznanie i niewielkie znaczenie tego poziomu w systemie krążenia wód podziemnych, na modelu numerycznym poziom ten włączono do warstwy modelowej obejmującej poziom międzyglinowy.

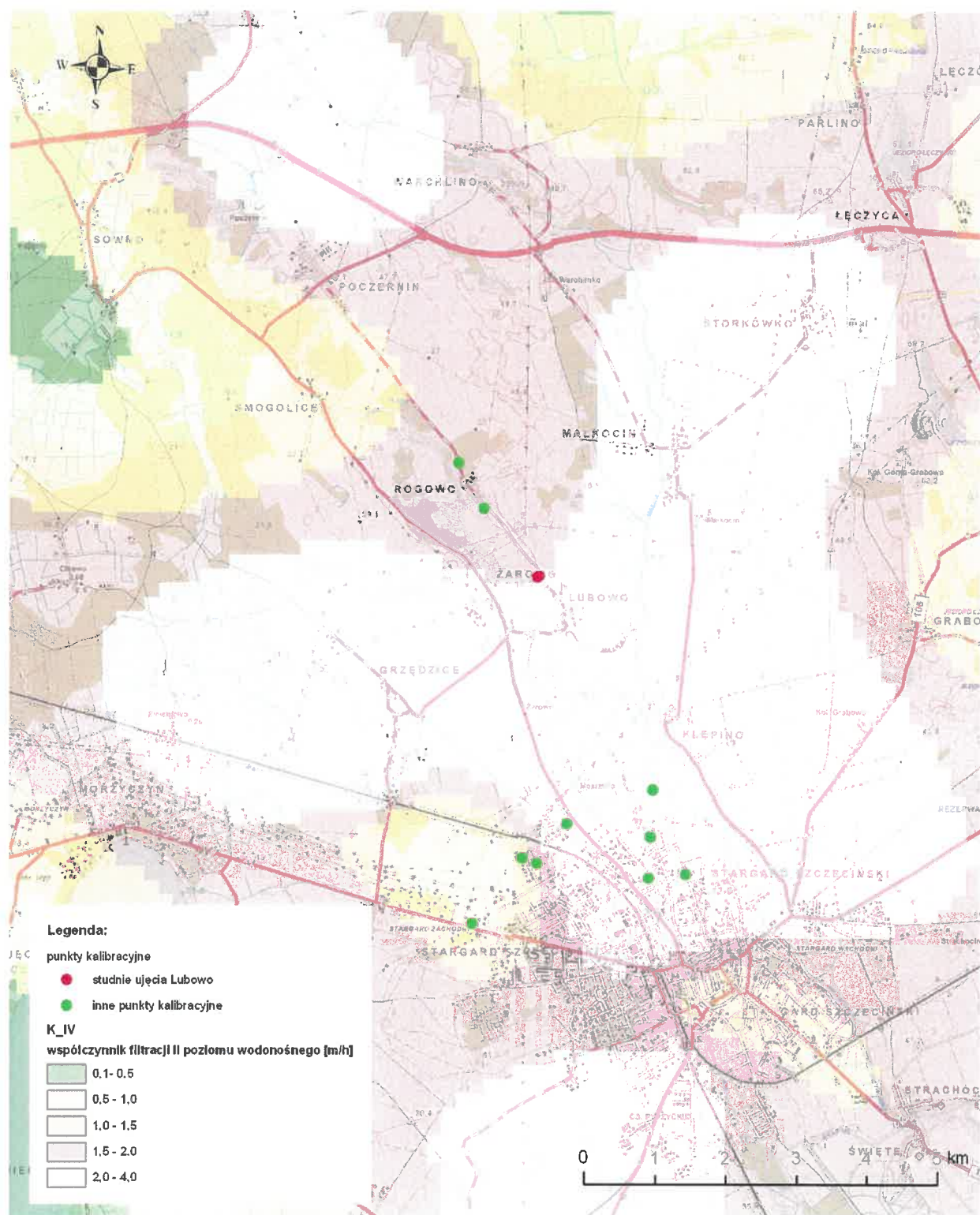
Ostatecznie w konstrukcji modelu hydrogeologicznego przyjęto istnienie 2 poziomów wodonośnych – przypowierzchniowego, który jest jednocześnie pierwszym od powierzchni poziomem wodonośnym (PPW) oraz międzyglinowego. Na podstawie analizy parametrów tych poziomów wodonośnych w otworach studziennych z obszaru modelu, ustalono przestrzenny rozkład współczynnika filtracji „k”, jak i miąższości tych poziomów. Parametry te pokazano na rycinach poniżej.



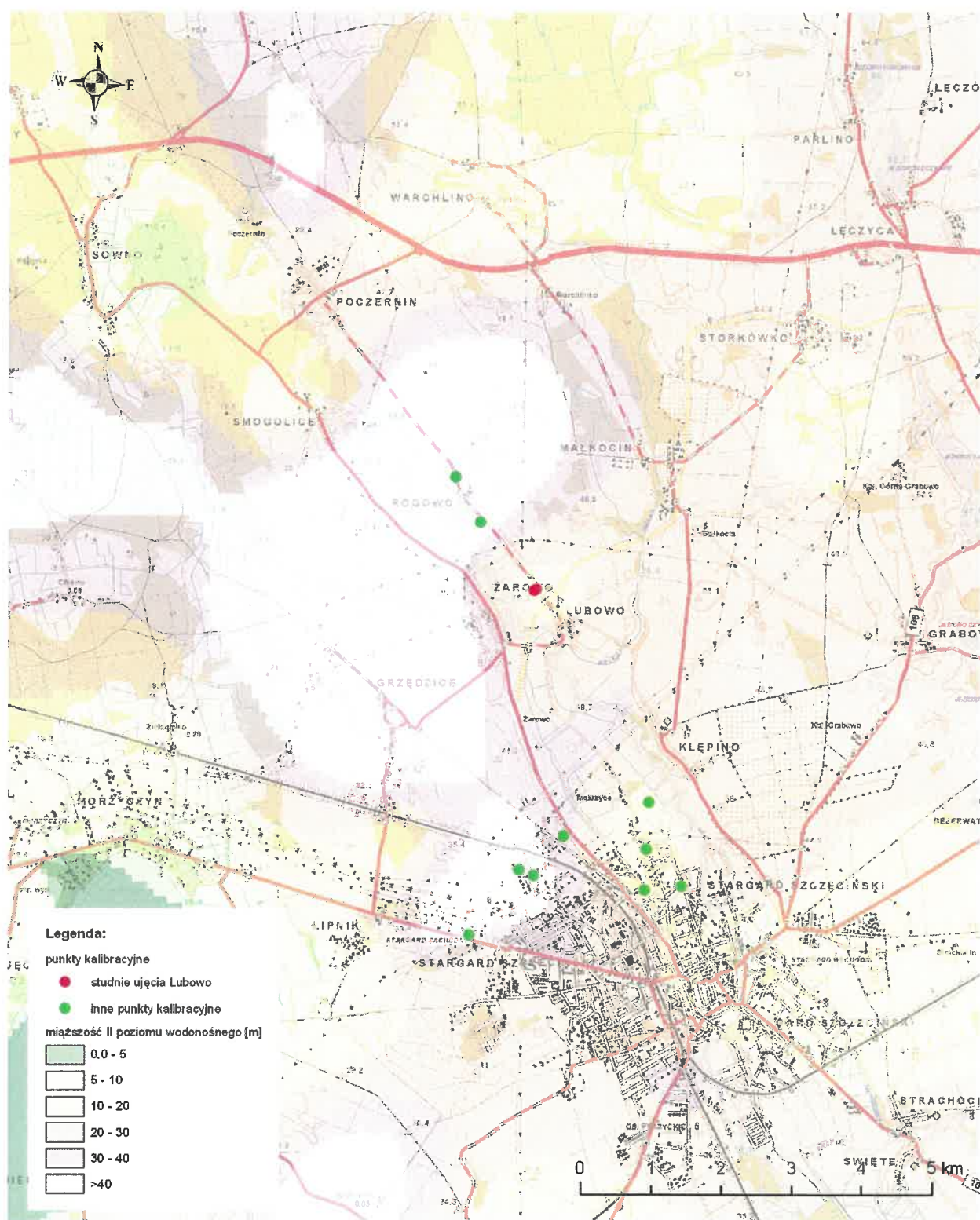
Ryc. 3. Rozkład przestrzenny współczynnika filtracji I poziomu wodonośnego (PPW)



Ryc. 4. Miąższość pierwszego poziomu wodonośnego



Ryc. 5. Rozkład przestrzenny współczynnika filtracji II poziomu wodonośnego



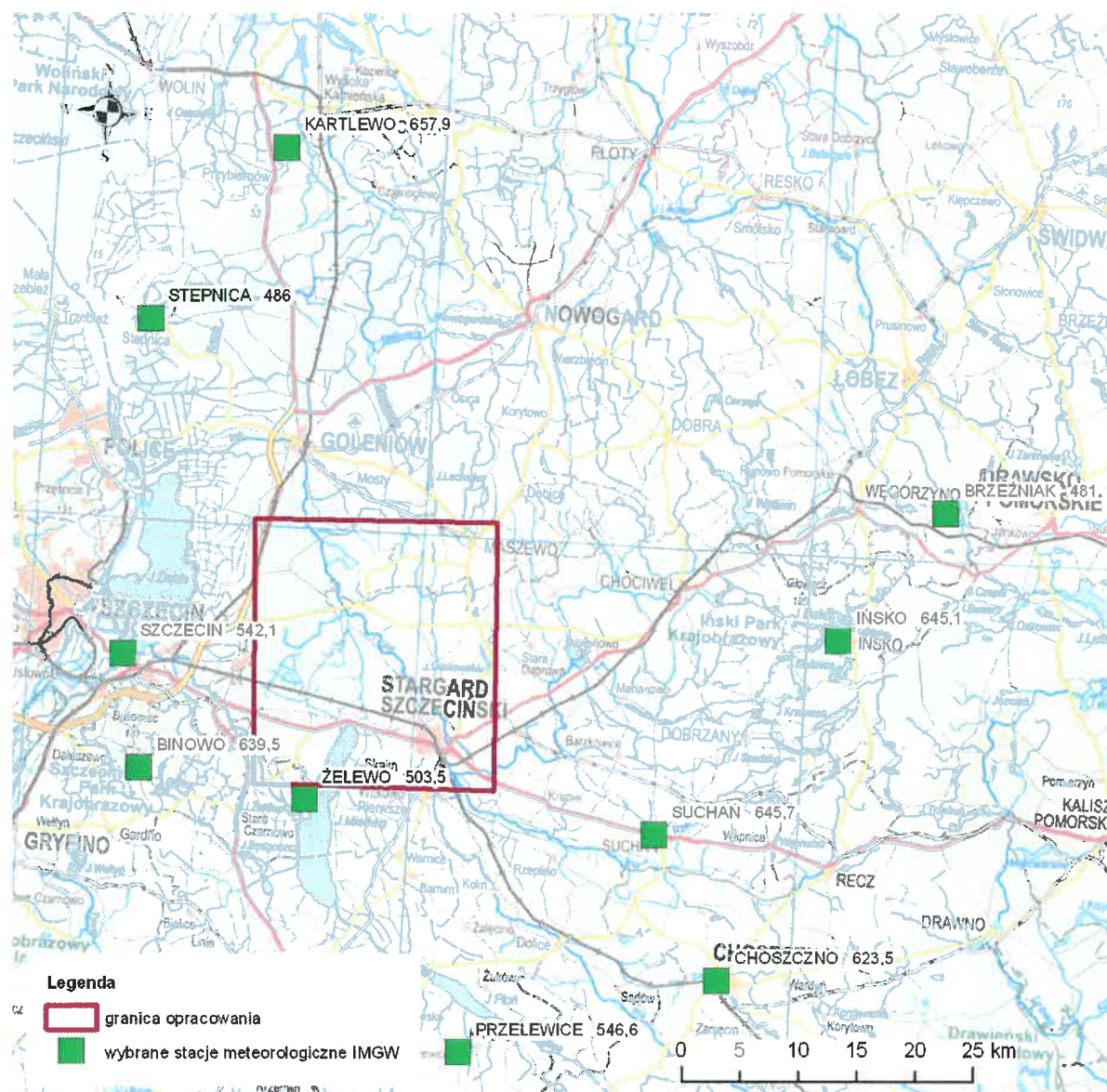
Ryc. 6. Miąższość II poziomu wodonośnego

6. DANE WEJŚCIOWE DO MODELU NUMERYCZNEGO

6.1. Opady

Opady atmosferyczne na omawianym terenie warunkujące zasilanie systemu wodnego, są zróżnicowane przestrzennie i cyklicznie w wieloleciu.

Obecnie opady na obszarze, który objęty zostanie modelem numerycznym nie są rejestrowane. Wokół tego obszaru wybrano 10 najbliższych stacji hydrogeologicznych, w których IMGW prowadzi ciągle obserwacje opadów. (Ryc. 7).



Ryc. 7. Położenie wybranych stacji meteorologicznych IMGW, z których dane o opadach wykorzystano do określenia opadu na obszarze modelu (w nawiasach opady w 2021 r. [mm])

W tabeli poniżej zestawiono dane stacji opadowych oraz wielkość opadów w roku 2021.

Tabela 1. Wybrane stacje meteorologiczne

Kod stacji	Rząd	Nazwa stacji	Rok założenia	Wsp. X_92	Wsp. Y_92	Opad w r. 2021 [mm]	Opad w r. 2021 [m3/h]
253140080	V	BINOWO	1949	210414,8	613652,4	639,5	7,30023E-05
253150240	V	BRZEŹNIAK	2008	279488,0	635412,8	481	5,49087E-05
253150180	V	CHOSZCZNO	1947	259885,3	595354,1	623,5	7,11758E-05
253150140	V	IŃSKO	1955	270308,1	624453,6	645,1	7,36416E-05
253140020	V	KARTLEWO	1954	222985,6	666711,3	657,9	7,51027E-05
253150190	IV	PRZELEWICE	1954	237842,5	589263,1	546,6	6,23973E-05
253140050	V	STEPNICA	1954	211421,2	652089,4	486	5,54795E-05
253150160	V	SUCHAŃ	1948	254527,9	607867,8	645,7	7,371E-05
353140205	I	SZCZECIN	1948	209097,5	623393,4	542,1	6,18836E-05
253140090	V	ŻELEWO	1949	224600,3	610914,3	503,5	5,74772E-05

Wielkości opadów obliczono na podstawie danych IMGW: <https://danepubliczne.imgw.pl/>.

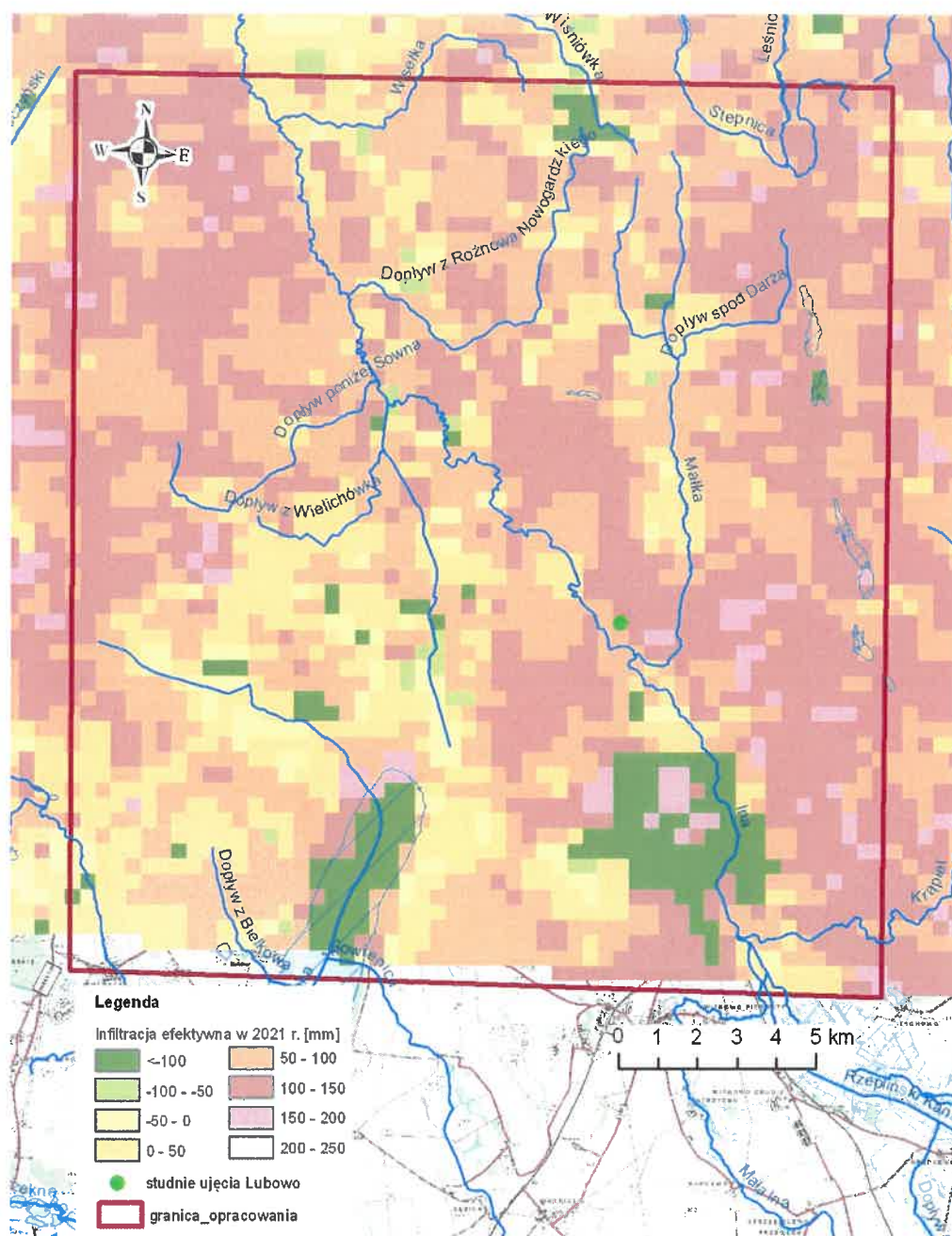
Na podstawie danych z tabeli, wykorzystując metody interpolacji (w programie ArcMap), pokazano rozkład przestrzenny opadów na obszarze modelu.

6.2. Infiltracja efektywna

Zasoby odnawialne na obszarze modelu numerycznego obliczono przyjmując założenie, że zasoby odnawialne w dłuższym okresie czasu równe są infiltracji efektywnej dla przeciętnych opadów. Założenie, że $Q_o = IE$, jest słuszne tylko wówczas, gdy dopływ z wód podziemnych spoza obszaru modelu jest pomijalnie mały. W obszarach zasobowych ujęcia Lubowo, których wyznaczenie jest jednym z celów pośrednich wykonania modelu numerycznego, dopływ wód spoza tych obszarów będzie marginalny. Do obliczeń przyjęto pochodzącą z interpolacji danych punktowych, wartość opadu pomierzonego w 2021 roku. W ramach prac przygotowujących warstwy informacyjne niezbędne do budowy modelu numerycznego, infiltrację efektywną obliczono metodą wykorzystującą parowanie, którego detekcja odbywa się na podstawie wilospektralnego zdjęcia satelitarnego (MODIS).

Na potrzeby niniejszej ekspertyzy pozyskano dane dotyczące ewapotranspiracji (qET) o rozdzielczości przestrzennej 500 m z sumy rocznej (MOD16A3GF) dla roku 2021 z aplikacji AppEEARS (<https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod16.php>).

W wyniku działań na rastrach IE obliczono jako różnicę pomiędzy wielkością opadów, a ewapotranspiracją pozyskiwaną z danych satelitarnych MODIS. Poniżej zamieszczono rysunek pokazujący wielkość infiltracji efektywnej na analizowanym obszarze.



Ryc. 9. Rozkład infiltracji efektywnej w obszarze badań

7. MODEL NUMERYCZNY

Wykonany model numeryczny, symulujący przepływ wód podziemnych w użytkowych poziomach wodonośnych pięter czwartorzędowego, paleogeńsko-neogeńskiego oraz kredowego i jurajskiego, pozwolił m.in. na wykonanie symulacji dla różnych wariantów eksploatacji wód podziemnych. W rezultacie tych analiz obliczono m.in. zasoby eksploatacyjne wód podziemnych ujęcia Lubowo.

Współrzędne punktów skrajnych granicy obszaru badań modelowych, w układzie współrzędnych PUWG 1992, są następujące:

- rozciągłość równoleżnikowa (X): od 220215 do 240788 m;
- rozciągłość południkowa (Y): od 612249 do 634976 m.

Po analizie budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych w oparciu o przekroje hydrogeologiczne i układ powierzchni zwierciadeł wód podziemnych, dla rozwiązania postawionego zadania w modelu numerycznym przyjęto schemat dwóch warstw wodonośnych rozdzielnych warstwami słabo przepuszczalnymi.

Pierwszą warstwę wodonośną (II warstwa modelowa) tworzy poziom wód gruntowych związany z czwartorzędowymi utworami fluwioglacjalnymi i rzecznyymi w dolinie Iny i na równinie na zachód od tej doliny. W strefie wysoczyzn poziom wód gruntowych występuje jako poziom swobodny lub naporowy w osadach fluwioglacjalnych tworzących poziom międzyglinowy górny.

Drugą warstwę wodonośną (IV warstwa modelowa) tworzy głównie czwartorzędowy poziom międzyglinowy dolny reprezentowany przez osady zlodowacenia środkowopolskiego.

Pomiędzy tymi warstwami oraz na powierzchni warstwy II na obszarze wysoczyzn występują warstwy słabo przepuszczalne I, III i V. Ta ostatnia stanowi miąższy pakiet osadów gliniastych, stanowiący nieprzepuszczalny spąg modelu.

7.1. Wybór programu obliczeniowego

Do realizacji badań modelowych wykorzystano oprogramowanie Groundwater Vistas – wersja 6.7 (Build 4, 32-bit) z 2010 r. z serii programowej Modflow firmy Environmental Simulations Inc. Program wykorzystywany jest m.in. do rozwiązywania przepływów wód podziemnych we wzajemnej więzi z wodami powierzchniowymi, dla warunków filtracji ustalonej.

7.2. Dyskretyzacja obszaru badań

Do potrzeb modelu matematycznego przyjęty obszar badań zdyskretyzowano siatką kwadratową o kroku $\Delta x = \Delta y = 100$ m. Powierzchnia bloku obliczeniowego wynosiła 0,01 km². Dla przyjętego kroku siatki otrzymano podział obszaru prostokąta na 236 wierszy i 216 kolumny. Liczba bloków w 4 warstwach modelu wynosi 203904. Na obszarze ujęcia Lubowo siatka dyskretyzacyjna została zagęszczona do bloków o wymiarach 25x25 m.

7.3. Warunki brzegowe modelu

Warunek brzegowy I rodzaju Constant Head ($H = \text{const.}$), symulujący regionalny odpływ wód podziemnych z modelowanego obszaru, przyjęto wzdłuż krawędzi modelu. Ze względu na fakt, że granice modelu nie są naturalnymi granicami hydrodynamicznymi, na krawędziach modelu przyjęto rzędne lustra wody odczytane z regionalnych map dynamiki wód podziemnych.

Warunkiem brzegowym II rodzaju jest zasilanie z infiltracji opadów atmosferycznych do pierwszej warstwy modelowej. Infiltrację efektywną opadów atmosferycznych wprowadzono jako warunek brzegowy $Q = \text{const}$ w postaci stałego zasilania powierzchniowego. Na obszarach, gdzie nie występuje warstwa I, zasilanie przenoszone było bezpośrednio do kolejnej pierwszej aktywnej warstwy modelu (warstwa II lub III).

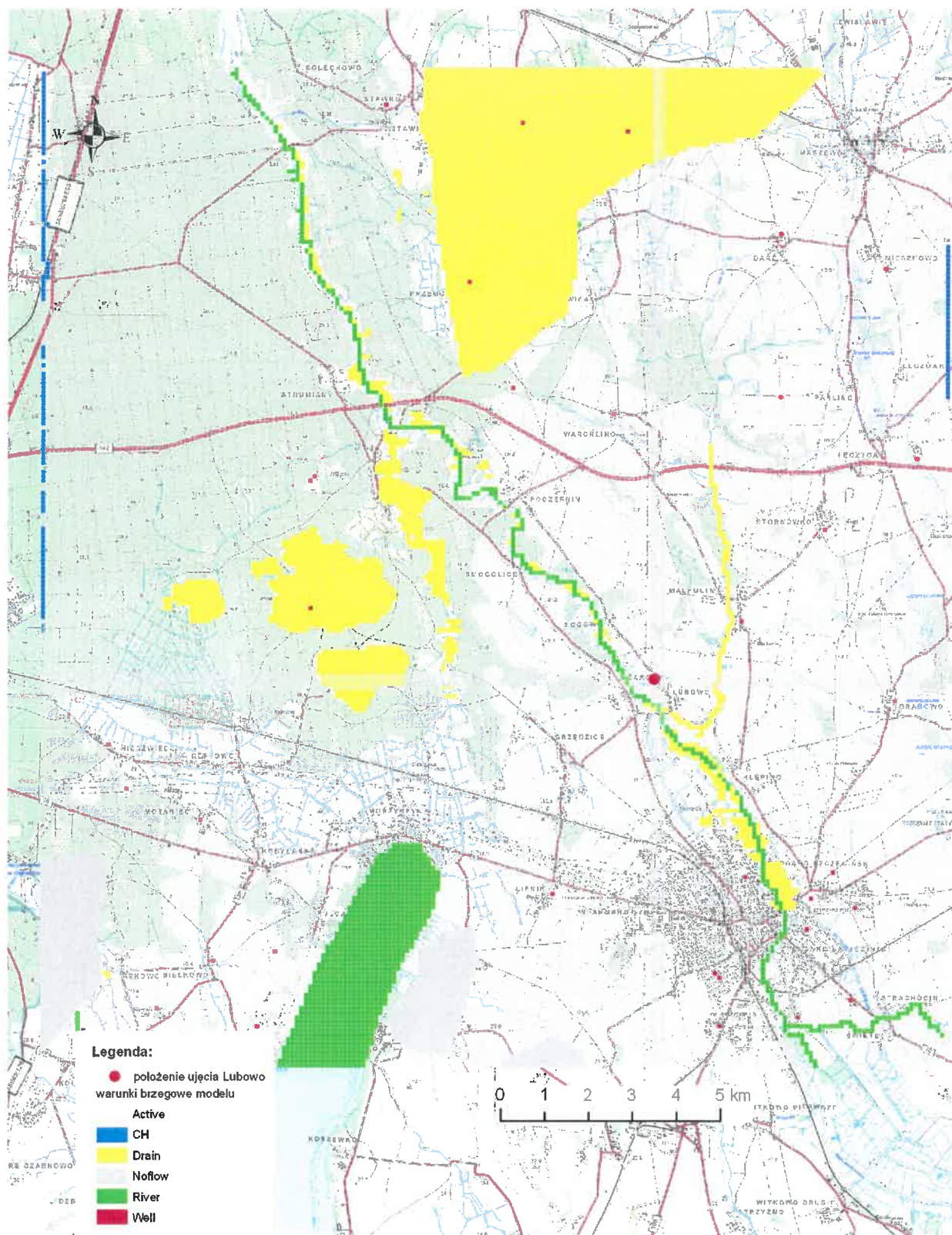
Warunkiem brzegowym II rodzaju Well (studnia) symulowano pobory wód podziemnych. Warunek well odwzorowuje pobory ujęć wód podziemnych zadanych w poszczególnych warstwach modelowych. W modelu uwzględniono wszystkie czynne ujęcia wód podziemnych występujące na obszarze badań, które symulowano, zadając $Q = \text{const}$, jako średni pobór wód podziemnych, w zależności od symulacji przeliczony na m^3/h z poborów aktualnych, a na ujęciu Lubowo przyjmowany w wielkościach założonych w poszczególnych symulacjach. Warunkiem tym symulowano również dodatkowe miejsca poboru na ujęciu Lubowo, które wraz ze studniami istniejącymi zastosowano do ustalenia możliwych do ustalenia zasobów eksploatacyjnych ujęcia.

Warunkami brzegowymi III rodzaju typu RIVER (rzeka) oraz DRAIN (dren) odwzorowano na modelu sieć hydrograficzną. Warunek RIVER zastosowano w przypadku głównych rzek oraz jeziora Miedwie, co pozwalało na odwzorowanie wpływu zwierciadła wody w rzece na poziomy wód podziemnych. Warunek RIVER pozwala w każdym bloku obliczeniowym odwzorować kontakt hydrauliczny wód podziemnych z powierzchniowymi i obliczyć przepływ wody pomiędzy ciekim a pozostającą z nim w kontakcie warstwą wodonośną.

Warunkiem typu DRAIN odwzorowano sieć mniejszych cieków i rowów, drenujących zwłaszcza tereny dolinne.

Warunek Noflow (brak przepływu) zadano w warstwach wodonośnych jako bloki nieaktywne na obszarach braku warstwy wodonośnej lub poza granicami modelu. W obrębie modelu bloki z tym warunkiem oznaczają brak warstwy modelowej, umożliwiają jednak przejście zasilania infiltracyjnego do kolejnej warstwy modelowej.

Warunki brzegowe w poszczególnych założone na modelu oraz siatkę dyskretyzacyjną przedstawiono rycinie poniżej.



Ryc. 10. Warunki brzegowe modelu

7.4. Parametry modelu i ocena wiarygodności

Dane początkowe do konstrukcji modelu zestawione zostały w postaci cyfrowych map parametrów hydraulicznych i geometrii warstw wodonośnych i rozdzielających je warstw słabo przepuszczalnych. Były to zapisane w formacie .shp mapy: współczynnika filtracji, stropów poszczególnych warstw modelowych oraz powierzchni terenu.

Współczynnik filtracji dla poszczególnych warstw modelu jest zmienny w przedziałach:

- I warstwa: od 0,01 m/h do 1,08 m/h, przy wartości średniej 0,130 m/h (warstwa słabo przepuszczalna, $k_x=k_y=k_z$)
- II warstwa: od 0,2 do 1,5 m/h, przy wartości średniej 0,743 m/h (warstwa wodonośna, $k_x=k_y$, $k_z=k_x/10$)
- III warstwa: od 0,005 do 2,95 m/h, przy wartości średniej 0,316 m/h (warstwa słabo przepuszczalna, $k_x=k_y=k_z$)
- IV warstwa: od 0,2 do 3,0 m/h, przy wartości średniej 1,275 m/h (warstwa wodonośna, $k_x=k_y$, $k_z=k_x/10$)

Następnym etapem w konstrukcji modelu matematycznego była jego weryfikacja i kalibracja (tarowanie). Wiarygodność wyników poszczególnych symulacji przeprowadzonych na modelu cyfrowym zależy od jego prawidłowej weryfikacji i kalibracji.

Ostatecznie w całym modelu numerycznym uwzględniono 10 punktów kalibracyjnych, w tym:

- w warstwie II 1 punktów kalibracyjnych,
- w warstwie IV 9 punkt kalibracyjny,

W tabeli poniżej zamieszczono obliczone przez model po zakończeniu kalibracji i obserwowane wartości wysokości hydraulicznej w punktach obserwacyjnych. Dodatkowo relację pomiędzy obliczonymi i obserwowanymi wartościami wysokości hydraulicznej po zakończeniu kalibracji modelu przedstawiono na Ryc. 10.

Tabela 2. Wysokości hydrauliczne pomierzone i obliczone na modelu.

L,p	Oznaczenie otworu Nr z Banku Hydro	Współrzędne (układ 1992)		Rzędna zwierciadła wody [m n.p.m.]			Różnica [m]
		X	Y	Warstwa modelowa*	Z pomiaru ręcznego	Obliczona w modelu	
1		233378.1	622113.7	2	17.1	17.19991	-0.09991
2	Piezometr Kłépino	235614.9	618159.2	4	18.99	17.99965	0.990346
3	Auto Sieradzan	234557	617608.8	4	19.84	17.92273	1.917267
4	Stargum	233987.4	617159.1	4	19.89	17.91348	1.976524
5	PEC	234181.8	617065.1	4	19.9	17.96405	1.935948
6	ENEA	233228.9	616238	4	19.6	17.89271	1.707294

L,p	Oznaczenie otworu Nr z Banku Hydro	Współrzędne (układ 1992)		Rzędna zwierciadła wody [m n.p.m.]			Różnica [m]
		X	Y	Warstwa modelowa*	Z pomiaru ręcznego	Obliczona w modelu	
7	POD	235798.8	617415.6	4	20.08	18.18674	1.893261
8	Rarytas	235745	616843.1	4	19.92	18.22613	1.693872
9	Stadion	236286.1	616903.7	4	19.6	18.20481	1.395191
10	Lubowo	234195.5	621166.2	4	19.05	17.25457	1.795432

8. WYNIKI SYMULACJI NA MODELU NUMERYCZNYM

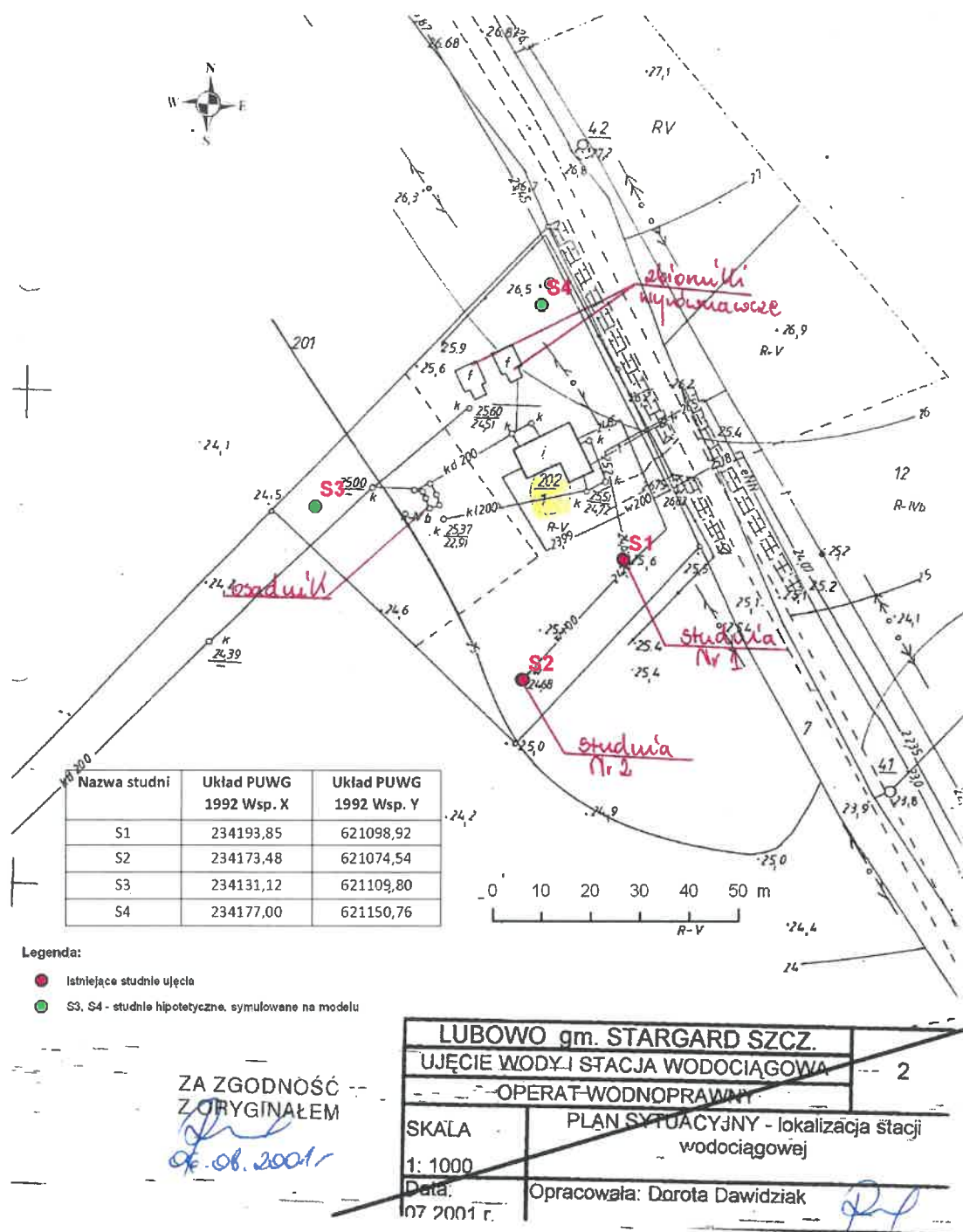
W symulacjach na modelu numerycznym przewidziano zarówno wykorzystanie istniejącego potencjału technicznego ujęcia, w postaci dwóch istniejących studni, jak i jego powiększenie poprzez budowę 2 nowych studni. Zaplanowano wykonanie symulacji dla dwóch istniejących i dwóch nowych hipotetycznych studni zlokalizowanych w obrębie ogrodzenia SUW Lubowo. W przypadku negatywnych wyników symulacji dopływu wód do studni w tej lokalizacji planowano wyjść z hipotetycznymi lokalizacjami nowych studni poza obecny teren ujęcia wody. W wyniku przeprowadzonej analizy stwierdzono, że możliwe jest wykonanie nowych studni na terenie ujęcia wody.

Na rycinie poniżej pokazano lokalizację studni istniejących i nowych studni symulowanych na modelu.

Współrzędne studni zestawiono w tabeli.

Tabela 3. Współrzędne studni istniejących i symulowanych

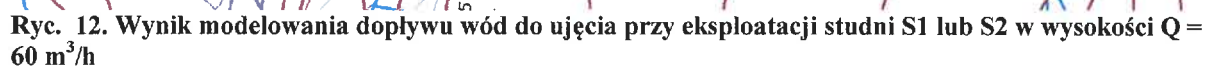
Nazwa studni	Układ PUWG 1992 Wsp. X	Układ PUWG 1992 Wsp. Y
S1	234193,85	621098,92
S2	234173,48	621074,54
S3	234131,12	621109,80
S4	234177,00	621150,76



Ryc. 11. Położenie studni istniejących i symulowanych na mapie sytuacyjno-wysokościowej ujęcia

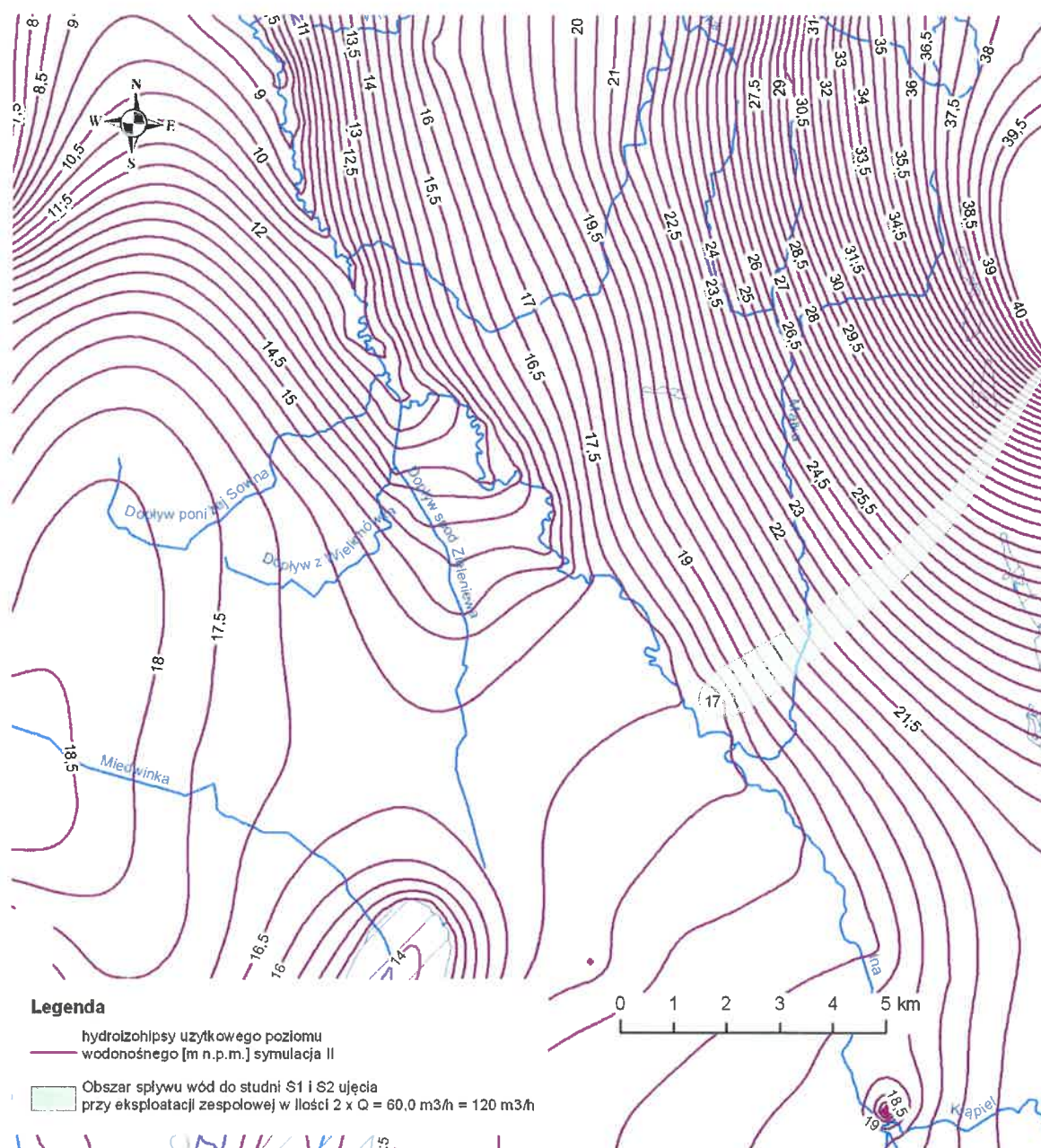
Symulacja I

W symulacji I założono pobory wód z istniejących na ujęciu studni S1 i S2 w ilości ustalonych dla tych studni zasobów eksploatacyjnych, które wynoszą po 60 m³/h. Studnie w tej symulacji eksploatowane są pojedynczo. W wyniku symulacji uzyskano rozkład hydroizohips pokazany na Ryc. 12. Obszar spływu wód do ujęcia położony jest w całości na wysoczyźnie na NE od ujęcia. Jego powierzchnia wynosi 2,5 km². Wykonany na modelu



Symulacja II

W symulacji II założono pobory wód z istniejących na ujęciu studni S1 i S2 w ilości ustalonych dla tych studni zasobów eksploatacyjnych, które wynoszą po 60 m³/h. Studnie w tej symulacji eksploatowane są zespołowo. Wynika stąd, że symulowane zasoby eksploatacyjne z istniejących na ujęciu studni wyniosły $Q_e = 120,0 \text{ m}^3/\text{h}$. W wyniku symulacji uzyskano rozkład hydroizohips pokazany na Ryc. 13. Obszar spływu wód do ujęcia położony jest w całości na wysoczyźnie na NE od ujęcia. Jego powierzchnia wynosi 5,0 km². Wykonany na modelu bilans wód dla tej symulacji wskazuje, że zasoby odnawialne są równe symulowanym poborom wód. Oznacza to, że system wodonośny jest w stanie pokryć dopływ tej ilości wód z wyznaczonego obszaru spływu wód do ujęcia. Depresja wód na ujęciu przy symulowanym poborze wód wyniesie około 0,7 m.



Ryc. 13. Wynik modelowania dopływu wód do ujęcia przy eksploatacji studni S1 i S2 zespołowo w wysokości $2 \times Q = 60 \text{ m}^3/\text{h} = 120 \text{ m}^3/\text{h}$

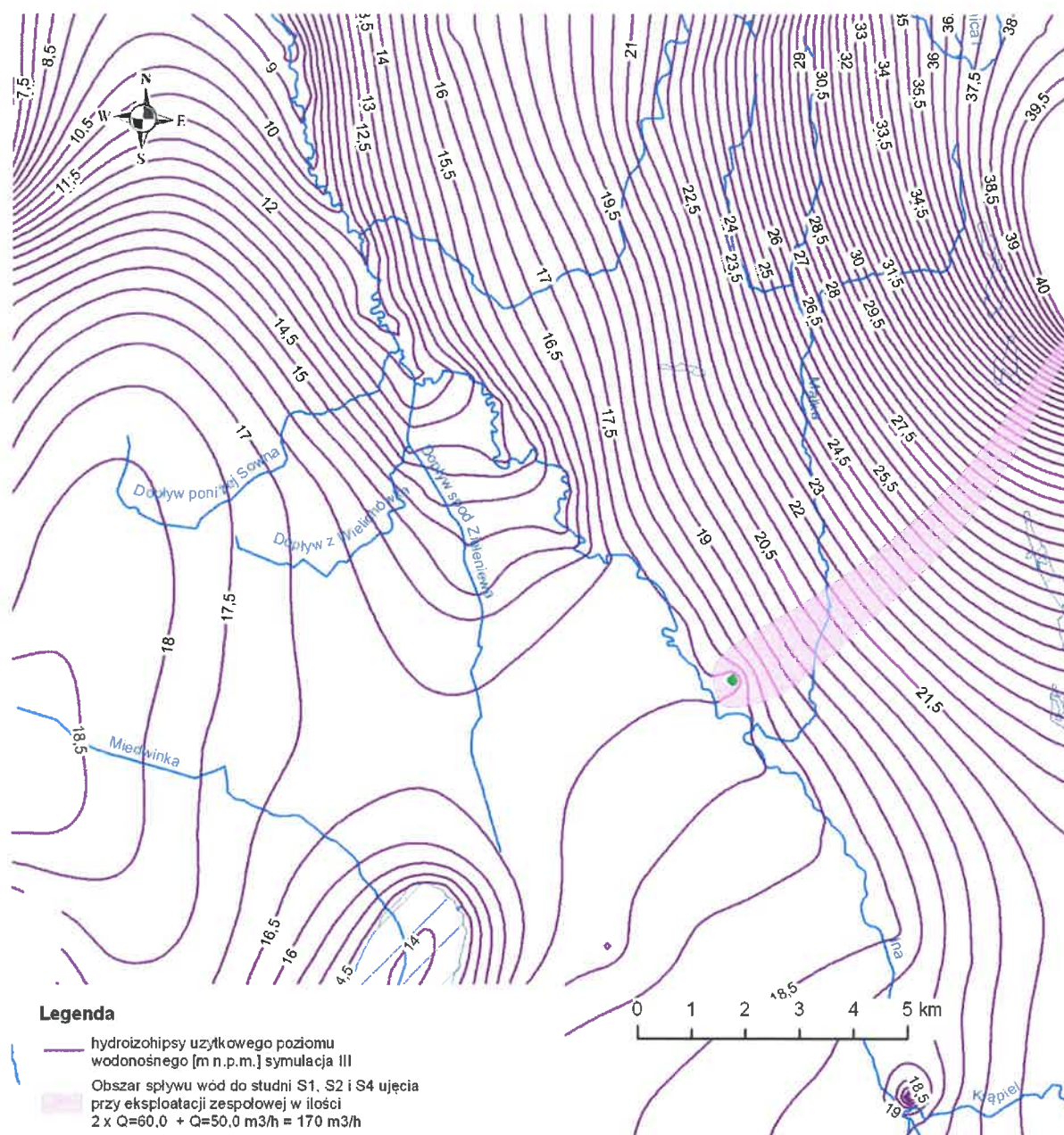
Symulacja III

W symulacji III założono pobory wód z istniejących na ujęciu studni S1 i S2 w ilości ustalonych dla tych studni zasobów eksploatacyjnych, które wynoszą po $60 \text{ m}^3/\text{h}$. Studnie w tej symulacji eksploatowane są zespołowo. Ponadto w proponowanym punkcie lokalizacji studni S4 symulowano pobór wód w wysokości $Q = 50,0 \text{ m}^3/\text{h}$. Wynika stąd, że symulowane zasoby eksploatacyjne z istniejących na ujęciu studni i jednej dodatkowej wyniosły $Q_e = 170,0 \text{ m}^3/\text{h}$. W wyniku symulacji uzyskano rozkład hydroizohips pokazany na Ryc. 14. Obszar spływu wód do ujęcia położony jest w całości na wysoczyźnie na NE od ujęcia. Jego powierzchnia wynosi $7,16 \text{ km}^2$. Wykonany na modelu bilans wód dla tej symulacji wskazuje,

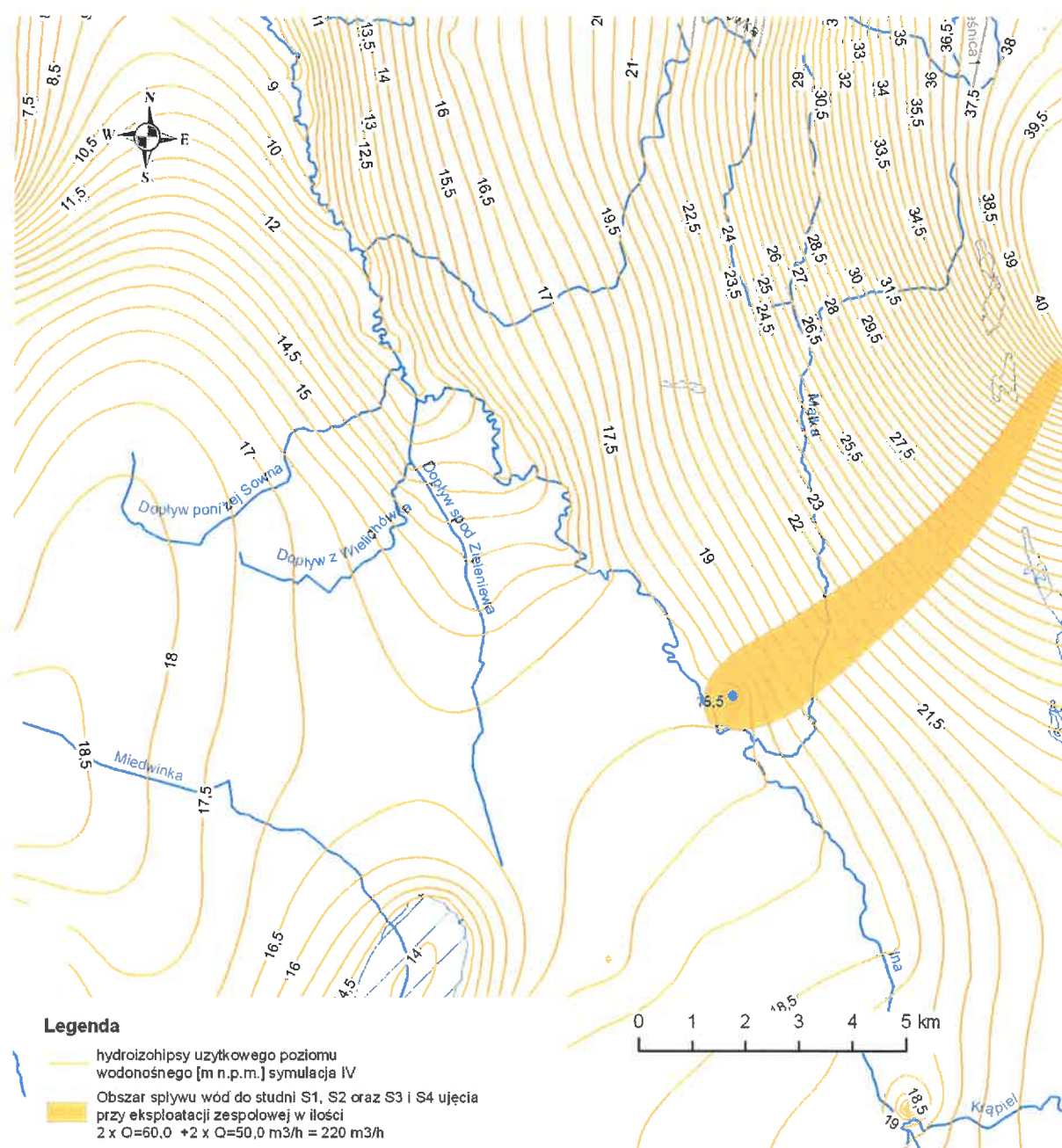
ze zasoby odnawialne są równe symulowanym poborom wód. Oznacza to, że system wodonośny jest w stanie pokryć dopływ tej ilości wód z wyznaczonego obszaru spływu wód do ujęcia. Depresja wód na ujęciu przy symulowanym poborze wód wyniesie około 1,0 m.

Symulacja IV

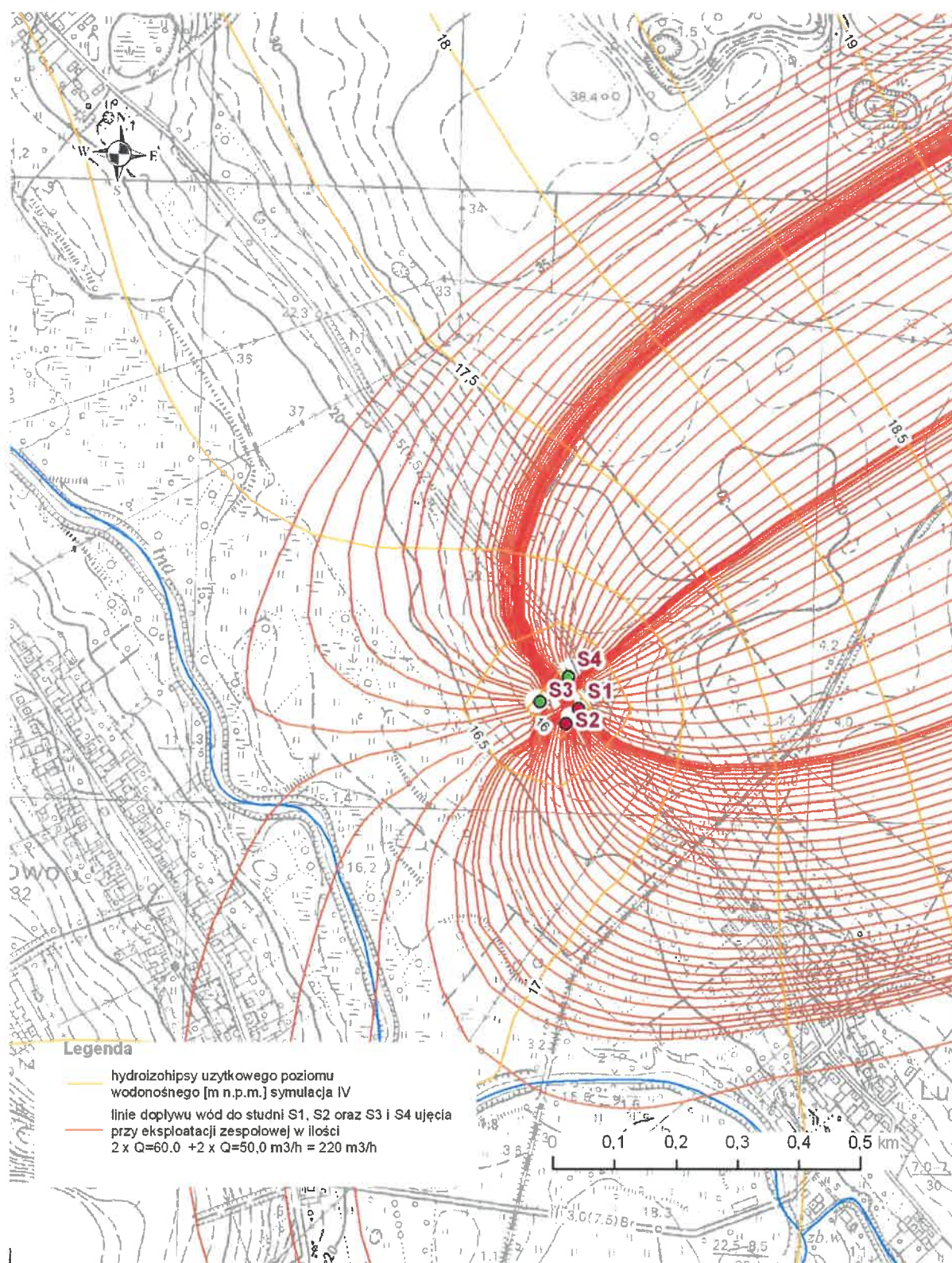
W symulacji IV założono pobory wód z istniejących na ujęciu studni S1 i S2 w ilości ustalonych dla tych studni zasobów eksploatacyjnych, które wynoszą po 60 m³/h. Studnie w tej symulacji eksploatowane są zespołowo. Ponadto w proponowanym punkcie lokalizacji studni S3 i S4 symulowano pobór wód w wysokości po $Q = 50,0 \text{ m}^3/\text{h}$. Wynika stąd, że symulowane zasoby eksploatacyjne z istniejących na ujęciu studni i dwóch symulowanych studni dodatkowych wyniosły $Q_e = 220,0 \text{ m}^3/\text{h}$. W wyniku symulacji uzyskano rozkład hydroizohips pokazany na Ryc. 15. Obszar spływu wód do ujęcia położony jest w 90% na wysoczyźnie na NE od ujęcia. Jego powierzchnia wynosi na tym obszarze 9,28 km². Wykonany na modelu bilans wód dla tej symulacji wskazuje, że zasoby odnawialne są równe symulowanym poborom wód. Oznacza to, że system wodonośny jest w stanie pokryć dopływ tej ilości wód z wyznaczonego obszaru spływu wód do ujęcia. Depresja wód na ujęciu przy symulowanym poborze wód wyniesie około 1,5 m. Wykonany bilans wskazuje również, że dopływ do ujęcia w wysokości 12 m³/h pochodzić będzie z doliny Iny. Fakt ten nie jest istotny dla jakości wód na ujęciu, ponieważ warstwa wodonośna użytkowa jest w dolinie Iny Izolowana utworami słabo przepuszczalnymi od głównego użytkowego poziomu wodonośnego.



Ryc. 14. Wynik modelowania dopływu wód do ujęcia przy eksploatacji studni S1 i S2 zespołowo w wysokości $2 \times Q = 60 \text{ m}^3/\text{h} = 120 \text{ m}^3/\text{h}$ oraz studni symulowanej S4 w wysokości $Q=50,0 \text{ m}^3/\text{h}$, łącznie $Q_e=170 \text{ m}^3/\text{h}$



Ryc. 15. Wynik modelowania dopływu wód do ujęcia przy eksploatacji studni S1 i S2 zespołowo w wysokości $2 \times Q = 60 \text{ m}^3/\text{h} = 120 \text{ m}^3/\text{h}$ oraz studni symulowanych S3 i S4 w wysokości $2 \times Q = 50,0 \text{ m}^3/\text{h}$, łącznie $Q_e = 220 \text{ m}^3/\text{h}$



Ryc. 16. Przybliżenie linii dopływu wód w symulacji IV

9. WNIOSKI KOŃCOWE

1. Wszystkie wykonane symulacje spełniały wstępne kryteria ograniczające: system wodonośny jest w stanie zabezpieczyć dopływ wód do ujęcia w taki sposób, że zasoby eksploatacyjne są mniejsze od odnawialnych $Q_e \leq Q_o$.
2. W żadnej symulacji położenie lustra wody nie było niższe niż zakładane 10 m n.p.m. W najdalej idącej symulacji nr IV, lustro wody na ujęciu spadło do 16,5 m n.p.m. (depresja rejonowa 1,5 m).
3. Istniejące na ujęciu studnie umożliwiają, bez budowy nowych studni, zwiększyć zasoby eksploatacyjne ujęcia do 120 m³/h.
4. Zaproponowane dwie nowe lokalizacje S3 i S4 umożliwiają wybudowanie nowych studni, dzięki którym zasoby ujęcia będzie można zwiększyć do 220 m³/h.
5. Zwiększenie zasobów ujęcia bez wiercenia nowych studni, możliwe jest przez wykonanie na ujęciu pompowań zespołowych studni istniejących i wykonanie nowego dodatku do dokumentacji hydrogeologicznej.
6. Zwiększenie zasobów ujęcia związane z budową jednej lub dwóch nowych studni na ujęciu, wymaga wykonania:
 - projektu robót geologicznych (uzyskanie decyzji zatwierdzającej)
 - Karty Informacyjnej Przedsięwzięcia polegającego na rozbudowie ujęcia oraz uzyskania decyzji środowiskowej dla przedsięwzięcia,
 - Operatu wodnoprawnego na wykonanie urządzenia wodnego oraz uzyskanie pozwolenia wodnoprawnego na budowę studni,
 - Dodatku do dokumentacji hydrogeologicznej,
 - Operatu wodnoprawnego na pobór wód podziemnych oraz uzyskanie pozwolenia wodnoprawnego.

10. WYKORZYSTANE MATERIAŁY

1. Operat wodnoprawny na pobór wód podziemnych i eksploatację urządzeń. Wodociąg Lubowo, gm. Stargard Szcz. Ujęcie wody i stacja wodociągowa. Dawidziak D., Goleniów 2001.
2. Dokumentacja hydrogeologiczna ujęcia wody podziemnej z utworów czwartorzędowych – aneks do regionalnej dokumentacji hydrogeologicznej z ustaleniem zasobów wody podziemnej w rejonie Stargardu Szczecińskiego. Lubowo. Żdan S., Szczecin 1992.
3. Projekt prac hydrogeologicznych związanych z wykonaniem studni nr 2 na terenie ujęcia wody podziemnej z utworów czwartorzędowych. Lubowo. Żdan S., Szczecin 1993.
4. Dokumentacja hydrogeologiczna ujęcia wody podziemnej z utworów czwartorzędowych – aneks nr 2 do regionalnej dokumentacji hydrogeologicznej z ustaleniem zasobów wody podziemnej w rejonie Stargardu Szczecińskiego. Lubowo. Żdan S., Szczecin 1993.