**AKADEMIA GÓRNICZO – HUTNICZA**
**im. Stanisława Staszica w Krakowie**

**Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska**

**Katedra Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej**

## Praca doktorska

**mgr Jerzy Mizera**

# Sterowanie eksploatacją wód podziemnych w celu ochrony zasobów ujęcia Łobodno przed zanieczyszczeniem azotanami

**Promotor:**

**Prof. dr hab. inż. Grzegorz Malina**

**Kraków, kwiecień 2010**

# SPIS TREŚCI


str.

Spis tabel ..... 3

Spis rycin ..... 5

Spis załączników ..... 6

Wykaz stosowanych skrótów ..... 7

**1. Wprowadzenie** ..... 8

**2. Teza, cel i zakres pracy** ..... 11

**3. Występowanie związków azotu w wodach podziemnych** ..... 13

3.1. Właściwości i przemiany biochemiczne związków azotu ..... 13
3.2. Przyczyny zanieczyszczenia wód podziemnych azotanami ..... 15
3.3. Migracja azotanów w wodach podziemnych ..... 17

**4. Charakterystyka obszaru badań** ..... 20

4.1. Położenie i granice ..... 20
4.2. Morfologia, hydrografia, klimat ..... 21
4.3. Zarys budowy geologicznej ..... 25

4.3.1. Jura środkowa ..... 26
4.3.2. Jura górna ..... 28
4.3.3. Czwartorzęd ..... 31

4.4. Warunki występowania wód podziemnych ..... 33

4.4.1. Czwartorzędowe piętro wodonośne ..... 34
4.4.2. Górnojurajski poziom wodonośny ..... 36
4.4.3. Główny Zbiornik Wód Podziemnych 326 ..... 38

**5. Charakterystyka ujęcia wody podziemnej Łobodno** ..... 40

5.1. Charakterystyka techniczna, strefy ochronne i podstawy prawne eksploatacji ..... 40

5.2. Przegląd dotychczasowych prac i badań ..... 42

**6. Metodyka badań** ..... 46

6.1. Prac terenowe ..... 46
6.2. Badania laboratoryjne ..... 50
6.3. Badania modelowe ..... 52

**7. Opracowanie wyników badań terenowych i laboratoryjnych** ..... 53

7.1. Badania terenowe ..... 53
7.1.1. Warunki sozologiczne ..... 53
7.1.2. Analiza wielkości poboru wody na ujęciu Łobodno ..... 55
7.1.3. Analiza warunków hydrogeologicznych ujęcia Łobodno ..... 59

7.1.4. Analiza więzi hydraulicznej piętra czwartorzędowego i poziomu jury górnej ..... 65
7.1.5. Analiza wzajemnego oddziaływania studni na ujęciu Łobodno ..... 67
7.1.6. Zmienność stężeń azotanów w czasie pompowania badawczego ujęcia ..... 68

7.2. Badania laboratoryjne ..... 71

7.2.1. Analiza jakości wód poziomu jury górnej ..... 71
7.2.2. Analiza jakości wód podziemnych piętra czwartorzędowego ..... 75
7.2.3. Analiza jakości wód powierzchniowych ..... 77

**8. Wyniki badań modelowych** ..... 78

8.1. Analiza dynamiki wód podziemnych ..... 78
8.2. Analiza migracji azotanów w poziomie jury górnej ..... 89

**9. Koncepcja sterowania eksploatacją wód podziemnych dla ochrony zasobów ujęcia Łobodno przed zanieczyszczeniem azotanami** ..... 92

9.1. Warunki eksploatacji wód podziemnych ..... 92
9.2. Monitoring osłonowy ujęcia ..... 111
9.2.1. Organizacja monitoringu ..... 111
9.2.2. Koncepcja rozbudowy sieci i jej rola ostrzegawcza ..... 114
9.3. Weryfikacja strefy ochrony pośredniej ujęcia ..... 118
9.4. Planowanie przestrzenne, a ochrona zasobów ujęcia ..... 122

**10. Podsumowanie** ..... 125

**11. Wnioski** ..... 129

**Literatura** ..... 131

**Powoływane akty i dokumenty prawne** ..... 136

# Spis tabel


| | | str. |
|---|---|---|
| 1. | Stratygrafia, litologia i warunki hydrogeologiczne obszaru badań | 27 |
| 2. | Zasoby (maksymalna wydajność eksploatacyjna) studni ujęcia Łobodno | 41 |
| 3. | Analizowane wskaźniki i metodyka oznaczeń | 47 |
| 4. | Zestawienie parametrów hydrogeologicznych studni ujęcia Łobodno | 59 |
| 5. | Zestawienie danych geologicznych eksploatowanych studni ujęcia Łobodna | 61 |
| 6. | Zestawienie danych geologicznych otworów uznanych za negatywne w rejonie ujęcia Łobodno | 63 |
| 7. | Natężenie przepływu w rzece Biała Oksza i jej dopływie Bród w 2005 roku (pomiar metodą młynkowania hydrometrycznego) | 66 |
| 8. | Graniczne wartości stężeń azotanów (w $NO_3/dm^3$) w poszczególnych klasach jakości wód podziemnych dla prezentowania ich stanu | 69 |
| 9. | Stężenie azotanów (w mg $NO_3/dm^3$) w studniach i w wodzie podawanej do odbiorców ze stacji pomp ujęcia Łobodno (druga połowa 2008 roku) | 72 |
| 10. | Wyniki opróbowania w otworach obserwacyjnych ujęcia Łobodno (2008 rok) | 75 |
| 11. | Wyniki opróbowania prywatnych studni kopanych (piętro czwartorzędowe) | 76 |
| 12. | Wyniki badań fizykochemicznych wody rzeki Białej Okszy | 77 |
| 13. | Wydajności pracy ujęcia Łobodno w poszczególnych wariantach (1 ÷ 12) | 93 |
| 14. | Porównanie ładunków azotanów możliwych do wyniesienia podczas ciągłego pompowania studni ujęcia Łobodno z wydajnością eksploatacyjną | 94 |
| 15. | Warunki eksploatacji ujęcia Łobodno - wariant 1 (wydajność: 100 $m^3/h$) | 96 |
| 16. | Warunki eksploatacji ujęcia Łobodno - wariant 2 (wydajność: 200 $m^3/h$) | 96 |
| 17. | Warunki eksploatacji ujęcia Łobodno - wariant 3 (wydajność: 300 $m^3/h$) | 97 |
| 18. | Warunki eksploatacji ujęcia Łobodno - wariant 4 (wydajność: 400 $m^3/h$) | 98 |
| 19. | Warunki eksploatacji ujęcia Łobodno - wariant 5 (wydajność: 500 $m^3/h$) | 98 |
| 20. | Warunki eksploatacji ujęcia Łobodno - wariant 6 (wydajność: 600 $m^3/h$) | 99 |
| 21. | Warunki eksploatacji ujęcia Łobodno - wariant 7 (wydajność: 700 $m^3/h$) | 100 |
| 22. | Warunki eksploatacji ujęcia Łobodno - wariant 8 (wydajność: 820 $m^3/h$) | 101 |
| 23. | Warunki eksploatacji ujęcia Łobodno - wariant 9 (wydajność: 275 $m^3/h$) | 102 |
| 24. | Warunki eksploatacji ujęcia Łobodno - wariant 10 (wydajność: 320 $m^3/h$) | 102 |
| 25. | Warunki eksploatacji ujęcia Łobodno - wariant 11 (wydajność: 370 $m^3/h$) | 103 |
| 26. | Warunki eksploatacji ujęcia Łobodno - wariant 12 (wydajność: 415 $m^3/h$) | 104 |
| 27. | Zbiorcze zestawienie symulowanych wariantów: 1 ÷ 12 eksploatacji ujęcia Łobodno, z wyszczególnieniem stężenia i ładunków azotanów | 105 |
| 28. | Porównanie ładunków $NO_3$ możliwych do wyniesienia podczas ciągłego pompowania studni S - 3 i S - 8 ujęcia Łobodno z obniżoną wydajnością | 107 |
| 29. | Warunki eksploatacji ujęcia Łobodno - wariant 13: studnia S - 7 (Q = 75 $m^3/h$) i studnia S - 8 (Q = 100 $m^3/h$) | 108 |

30. Warunki eksploatacji ujęcia Łobodno - wariant 14: studnia S - 7 (Q = 75 $m^3$/h) i studnia S - 3 (Q = 100 $m^3$/h) ..... 109
31. Warunki eksploatacji ujęcia Łobodno - wariant 15: studnia S - 7 (Q = 75 $m^3$/h), S - 3 (Q = 100 $m^3$/h) i S - 8 (Q = 100 $m^3$/h) ..... 110
32. Zbiorcze zestawienie symulowanych wariantów: 13 ÷ 15 eksploatacji ujęcia, z wyszczególnieniem stężenia i ładunków $NO_3$ ..... 110
33. Wykaz, lokalizacja i przeznaczenie istniejących otworów obserwacyjnych na ujęciu Łobodno ..... 113
34. Lokalizacja i podstawowe dane geologiczno - techniczne przewidzianych do odwiercenia piezometrów sieci monitoringu osłonowego ujęcia Łobodno ..... 114
35. Powierzchnia strefy ochrony pośredniej ujęcia Łobodno ..... 119

# Spis rycin


str.

1. Lokalizacja podstawowych ujęć wody w obszarze GZWP 326 ..... 8
2. Obieg azotu w glebie, strefie aeracji i w wodach podziemnych ..... 14
3. Procentowy wzrost zawartości azotanów w wodach podziemnych (w stosunku do sumy składników azotowych) w rejonie niekontrolowanych składowisk odpadów komunalnych ..... 19
4. Położenie obszaru badań na tle jednostek fizycznogeograficznych ..... 22
5. Rzeka Biała Oksza – widok koryta z mostu w Łobodnie w kierunku zachodnim (droga wojewódzka nr 491: Działoszyn – Łobodno – Częstochowa) ..... 23
6. Wycinek mapy geologicznej Polski – odkrytej, z zaznaczeniem zasięgów stratygraficznych ..... 26
7. Odsłonięcia wapieni oksfordu w Górze Katarowa ..... 30
8. Położenie obszaru badań w stosunku do GZWP i JCWPd wydzielonych w subregionie wyżynnym Warty ..... 34
9. Zasięg GZWP 326 na tle sąsiednich zbiorników wód podziemnych ..... 39
10. Przyrządy do opróbowywania otworów obserwacyjnych i pomiarów położenia zwierciadła wody podziemnej ..... 46
11. Młynek hydrometryczny OTT C31 w mocowaniu drążkowym ..... 47
12. Schemat młynka hydrometrycznego ..... 47
13. Zależność prędkości przepływu od głębokości (tachoida) ..... 48
14. Przekrój poprzeczny koryta z pionami hydrometrycznymi ..... 48
15. Spektrofotometr UV / VIS i fotometr – wyposażenie CLBWiŚ ..... 51
16. Zależność absorbancji od stężenia ..... 51
17. Niekontrolowane składowisko odpadów w wyrobisku po eksploatacji piasku (około 300 metrów na północny – wschód od zabudowań Łobodna) ..... 54
18. Niekontrolowane składowiska w wyrobisku po eksploatacji wapienia w Górze Katarowa ..... 54
19. Pryzmy słomy i obornika gromadzone w pobliżu studni ujęcia Łobodno ..... 55
20. Pobór wody przez studnie ujęcia Łobodno w latach 1979 ÷ 2008 (w przeliczeniu na pobór średnioroczny, w $m^3/h$) ..... 56
21. Pobór wody przez studnie ujęcia Łobodno w latach 2004 ÷ 2008 (w przeliczeniu na pobór średnioroczny, w $m^3/h$) ..... 57
22. Procentowy udział studni ujęcia Łobodno w poborze rocznym w latach 2004 ÷ 2008 ..... 58
23. Wydajności eksploatacyjne (w $m^3/h$) studni ujęcia Łobodno (2005 r.) ..... 60

24. Stężenia azotanów (w $NO_3/dm^3$) podczas ciągłego pompowania S – 8 i S – 7 w okresie: 1.09 ÷ 2.11.2004 ..... 69

25. Stężenia azotanów (w mg $NO_3/dm^3$) w studniach i w wodzie podawanej do odbiorców ze stacji pomp ujęcia Łobodno w latach 1983 ÷ 2008 ..... 71

26. Stężenia azotanów (w mg $NO_3/dm^3$) w studni S - 3 ujęcia Łobodno w latach 1995 ÷ 2008, z wyszczególnieniem rocznego przyrostu ponad wartości dopuszczalne ..... 73

27. Stężenia azotanów (w mg $NO_3/dm^3$) w studni S - 8 ujęcia Łobodna w latach 1995 ÷ 2008, z wyszczególnieniem rocznego przyrostu ponad wartości dopuszczalne ..... 73

28. Mapa zwierciadła wody podziemnej i linii prądu rejonu ujęcia Łobodno (stan na 2005 rok) ..... 80

29. Mapa prognozy położenia hydroizohips i linii prądu w rejonie ujęcia Łobodno (pobór wody: 820 $m^3/h$) ..... 81

30. Mapa czasu infiltracji wód opadowych przez strefę aeracji w rejonie ujęcia Łobodno ..... 84

31. Mapa czasu przepływu wód podziemnych w warstwie wodonośnej do studni ujęcia Łobodno ..... 85

32. Mapa łącznego czasu dopływu wód do studni ujęcia Łobodno ..... 88

33. Mapa rozkładu stężeń azotanów w rejonie ujęcia Łobodno (stan na 2005 rok) .... 90

34. Stężenia azotanów (w mg $NO_3/dm^3$) w studniach ujęcia Łobodna – wartości średnie w drugim półroczu 2008 roku ..... 94

35. Ładunki azotanów (w kg $NO_3/m^3$) wynoszone ze studni ujęcia Łobodna, podczas ich pracy z wydajnościami eksploatacyjnymi – drugie półrocze 2008 r. 94

36. Mapa lokalizacyjna otworów piezometrycznych w obszarze ujęcia Łobodno na podkładzie siatki hydrodynamicznej (siatka hydrodynamiczna - stan na rok 2005) ..... 115

37. Mapa zasięgu zweryfikowanych granic strefy ochrony pośredniej oraz obszaru spływu wód (OSW) do studni ujęcia Łobodno ..... 121

# Spis załączników

1. Mapa dokumentacyjna (skala 1 : 25 000)

2 a. Zgeneralizowane przekroje hydrogeologiczne: przekrój C – D i objaśnienia

2 b. Zgeneralizowane przekroje hydrogeologiczne: przekrój A – B

3. Średnioroczne stężenia azotanów [mg $NO_3/dm^3$] w wodach ujęcia Łobodno w latach: 1983 ÷ 2009 z zestawieniem tabelarycznym stężeń

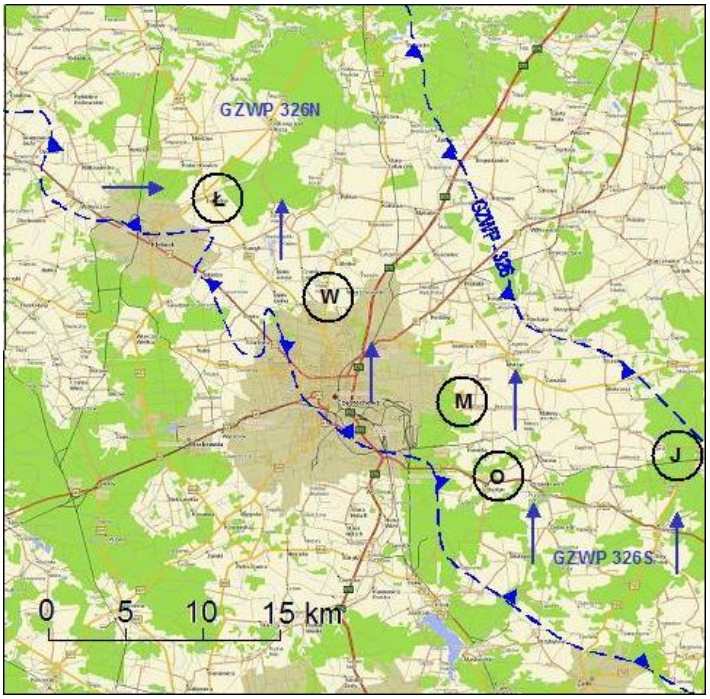
# Wykaz stosowanych skrótów

| | | |
|---|---|---|
| **CLBWiŚ** | – | Centralne Laboratorium Badania Wody i Ścieków (przy PWiKOCz) |
| **GPS** | – | Global Positioning System (Globalny System Nawigacji) |
| **GZWP** | – | Główny Zbiornik Wód Podziemnych. |
| **GZWP 325** | – | Główny Zbiornik Wód Podziemnych 325 |
| **GZWP 326** | – | Główny Zbiornik Wód Podziemnych 326 |
| **GZWP 326 N** | – | część północna Głównego Zbiornika Wód Podziemnych 326 |
| **$J_1$** | – | jura dolna |
| **$J_2$** | – | jura środkowa |
| **$J_3$** | – | jura górna |
| **JCWPd** | – | jednolita część wód podziemnych |
| **K** | – | kreda |
| **n.w.** | – | nie występują (wykrywalne stężenia) |
| **ONO** | – | obszary (wymagające) najwyższej ochrony |
| **OSW** | – | obszar spływu wód podziemnych |
| **OWO** | – | obszary (wymagające) wysokiej ochrony |
| **OZ** | – | obszar zasobowy |
| **PIOŚ** | – | Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska |
| **PMŚ** | – | Państwowy Monitoring Środowiska |
| **PWiKOCz** | – | Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Okręgu Częstochowskiego Spółka Akcyjna |
| **Q** | – | czwartorzęd |
| **T** | – | trias |
| **$T_1$** | – | trias dolny |
| **$T_2$** | – | trias środkowy |
| **$T_3$** | – | trias górny |
| **UPWP** | – | użytkowy poziom wód podziemnych |
| **ZSGiO** | – | Zintegrowany System Gospodarowania i Ochrony |

# 1. Wprowadzenie

Podstawowym źródłem zaopatrzenia w wodę regionu częstochowskiego są wody podziemne, czerpane ze spękanych i skrasowiałych skał węglanowych Głównego Zbiornika Wód Podziemnych nr 326 (GZWP 326), który ze względu na liczne wychodnie warstw wodonośnych jest stale narażony na degradację jakościową wód. Brak utworów izolujących od powierzchni sprzyja zasilaniu z infiltracji opadów atmosferycznych, a jednocześnie jest przyczyną zwiększonej podatności na przenikanie zanieczyszczeń. Zatem, mimo że na ogół zbiornik tworzą wody wysokiej jakości, to lokalnie są one zanieczyszczone, głównie związkami azotu w stopniu obniżającym ich jakość i przydatność do spożycia [30, 31]. Obserwowany od pewnego czasu wzrost zanieczyszczenia wód podziemnych jest skutkiem antropopresji. W szczególnym stopniu do pogorszenia jakości wód podziemnych w regionie częstochowskim przyczyniły się zanieczyszczenia komunalne, dostające się do wód podziemnych z powodu braku kanalizacji lub jej nieszczelności oraz wprowadzania nieoczyszczonych ścieków do ziemi i wód podziemnych.

Głównym użytkownikiem wód podziemnych korzystającym z zasobów GZWP 326 jest Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Okręgu Częstochowskiego w Częstochowie (PWiKOCz), które eksploatując 4 ujęcia grupowe (Mirów, Olsztyn, Wierzchowisko, Łobodno) i kilka mniejszych, stworzyło centralny system zaopatrzenia w wodę dla około 350 tys. mieszkańców oraz licznych zakładów produkcyjnych (ryc. 1).




**Ryc. 1.** Lokalizacja podstawowych ujęć wody w obszarze GZWP 326 (strzałki pokazują główne kierunki przepływu wód podziemnych)

Oznaczenia: Ł – ujęcie Łobodno,
W – Ujęcie Wierzchowisko,
M – ujęcie Mirów,
O – ujęcie Olsztyn,
J – ujęcie Julianka

Jednym z ujęć przedsiębiorstwa o podstawowym znaczeniu dla zapatrzenia aglomeracji częstochowskiej w wodę jest ujęcie Łobodno, zlokalizowane w północnej części GZWP 326, w odległości około 15 km na północny - zachód od Częstochowy (gmina Kłobuck, województwo śląskie). W skład ujęcia wchodzi 5 studni głębinowych o łącznej wydajności eksploatacyjnej 820 $m^3$/h, zlokalizowanych na południowy – wschód od miejscowości Łobodno (S – 2, S – 3, S –8, S –10) oraz w rejonie miejscowości Kołaczkowice (S –7) – załącznik 1.

Ujmowane od 1979 roku wody podziemne w rejonie Łobodna należały do jakościowo bardzo dobrych i odpowiadały bez uzdatniania wymaganiom obowiązujących norm sanitarnych. Jednak prowadzone rutynowe badania fizykochemiczne wody wskazały na pojawienie się w obszarze zasilania ujęcia od roku 1997 podwyższonych stężeń azotanów ($NO_3$) i ich trend wzrostu w latach następnych. Począwszy od roku 2001, nastąpiło przekroczenie stężeń dopuszczalnych tj. 50 mg $NO_3/dm^3$, w przypadku studni S - 3 i S – 8 [16], a średnioroczne stężenia azotanów w roku 2008 wyniosły: w S – 3: 61,42 mg $NO_3/dm^3$, a w S – 8: 60,70 mg $NO_3/dm^3$ [1]. Badania wykonane w 1999 roku [50, 51] wskazują, że w warunkach iniekcji zanieczyszczeń do warstwy wodonośnej, w takich ilościach jak obecnie oraz eksploatacji ujęcia na zbliżonym poziomie, po roku 2010 poziom azotanów przekroczy wartości dopuszczalne w większości studni i może spowodować konieczność zastosowania kosztownej technologii uzdatniania [16, 50, 51]. Ponadnormatywne zawartości azotanów w wodach podziemnych spowodowały już konieczność uzdatniania wody na sąsiednim ujęciu Wierzchowisko.

W obszarze zasilania ujęcia Łobodno znajdują się liczne potencjalne i faktyczne ogniska zanieczyszczeń azotanami: obszary zrzutu ścieków do gruntu, nieszczelne zbiorniki na fekalia, nielegalne punkty zlewne, niekontrolowane wysypiska odpadów oraz miejsca magazynowania nawozów organicznych. Miejscowość Łobodno posiadała wodociąg z chwilą uruchomienia ujęcia, natomiast kanalizację sanitarną oddano do użytku dopiero w 2006 roku. Na terenach wiejskich podłączonych do wodociągu sytuacja ta doprowadzała do wzrostu ilości ścieków gospodarczych, które praktycznie przez 30 lat były wprowadzane do ziemi i wód powierzchniowych. Ładunki azotanów migrujące z ognisk zanieczyszczeń zostały już wprowadzone do strefy aeracji, a także znalazły się w wodach podziemnych, na kierunkach przepływu wymuszonych pracą studni ujęcia [50, 51].

Zakres i stopień zagrożenia środowiska gruntowo – wodnego związkami azotu jest słabo rozpoznany z uwagi na małą ilość punktów stacjonarnego poboru prób wody podziemnej, zarówno z poziomu jury górnej jak i z piętra czwartorzędowego. Brak jest rozeznania, jakie

czynniki i w jaki sposób mogą wpływać na szybkość migracji związków azotu w środowisku gruntowo – wodnym w obszarze zasilania studni ujęcia Łobodno.

Od 2007 roku w PWiKOCz funkcjonuje Zintegrowany System Gospodarowania i Ochrony (ZSGiO) zasobów wodnych GZWP 326. Oczekuje się, że w wyniku stosowania wprowadzonych procedur można będzie uniknąć kosztów związanych z budową kolejnej stacji uzdatniania wody oraz uzyska się efekt środowiskowy związany z poprawą stanu chemicznego wód podziemnych, dzięki skuteczniejszej kontroli ognisk zanieczyszczeń, ograniczeniu dopływu nowych zanieczyszczeń oraz efektywnemu sterowaniu pracą studni [30, 31]. Dla osiągnięcia tego celu niezbędna jest optymalizacja sterowania pracą ujęcia Łobodno na podstawie wyników modelowania dynamiki wód podziemnych i migracji zanieczyszczeń w części północnej (GZWP 326 N), z uwzględnieniem monitoringu lokalnego i osłonowego, a także w nawiązaniu do funkcjonowania stref ochrony pośredniej oraz planów zagospodarowania przestrzennego terenu [30, 31].

# 2. Teza, cel i zakres pracy

Rutynowe badania wody wskazują na pojawienie się podwyższonych stężeń azotanów w obszarze zasilania studni ujęcia Łobodno. W znaczącym stopniu połączone czwartorzędowe piętro wodonośne z poziomem jury górnej (malm) GZWP 326, brak wystarczającej izolacji zbiornika górnojurajskiego od wpływów antropogenicznych z powierzchni oraz kierunki przepływu wód podziemnych, wskazują na możliwość stosunkowo szybkiej migracji azotanów w kierunku poszczególnych studni ujęcia. Przenikanie azotanów do otworów studziennych może w konsekwencji doprowadzić do konieczności zastosowania kosztownej technologii uzdatniania wody. Istnieje zatem pilna konieczność opracowania aktywnej strategii ochrony zasobów wodnych ujęcia Łobodno przed zanieczyszczeniem azotanami. W związku z tym postawiono następujące tezy pracy:

- azotany mogą się przemieszczać z ognisk zanieczyszczeń do obszaru zasilania ujęcia wody Łobodno, a następnie do studni eksploatujących wodę pitną dla potrzeb aglomeracji częstochowskiej, miasta i gminy Kłobucka oraz gminy Miedźno, stanowiąc tym samym ważny problem zarówno dla producenta jak i konsumentów wody pitnej,
- włączenie do opracowanego, a wymagającego okresowej weryfikacji modelu hydrodynamiki i migracji zanieczyszczeń, nowych punktów monitoringu uczyni go bardziej wiarygodnym i pozwoli na bardziej precyzyjne zobrazowanie kierunków i czasu migracji zanieczyszczeń,
- możliwe jest opracowanie strategii sterowania eksploatacją studni ujęcia, która stwarzając odpowiednie warunki hydrogeologiczne (wymuszenie kontrolowanymi wydatkami pracy studzien pożądanych kierunków przepływu wód), zapewni ochronę zasobów ujęcia Łobodno i utrzymanie w wodzie podawanej do odbiorców stężenia azotanów poniżej wartości dopuszczalnych.

W związku z przedstawioną tezą pracy, za jej główny cel przyjęto ocenę stopnia zagrożenia i opracowanie optymalnej strategii sterowania pracą ujęcia Łobodno dla ochrony jakościowej (stanu chemicznego) eksploatowanych wód podziemnych przed zagrożeniem azotanami.

Dla realizacji celu badań i udowodnienia przyjętych tez, w zakresie badań uwzględniono:

- zebranie, analizę i weryfikację dostępnych danych archiwalnych dotyczących budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych rejonu badań,
- uporządkowanie danych dotyczących analiz fizykochemicznych wody i wielkości poborów wody w rejonie ujęcia Łobodno,

- weryfikację potencjalnych i faktycznych ognisk zanieczyszczeń azotanami w obszarze zasilania ujęcia Łobodno,
- interpretację wyników badań hydrogeologicznych, sozologicznych i modelowych w celu ustalenia warunków hydrodynamiki wód podziemnych i migracji azotanów w obszarach zasilania poszczególnych studni ujęcia Łobodno,
- przedstawienie koncepcji ochrony wód podziemnych, z wyróżnieniem rejonów szczególnie zagrożonych oraz z zaleceniami odnośnie likwidacji ognisk zanieczyszczeń w strefie ochrony pośredniej ujęcia Łobodno,
- rozszerzenie zakresu monitoringu lokalnego o znaczeniu osłonowym ujęcia Łobodno,
- opracowanie koncepcji optymalnego sterowania eksploatacją studni dla ochrony zasobów ujęcia Łobodno.

Tak przyjęty zakres badań uwzględniał badania terenowe oraz prace kameralne. Prace terenowe obejmowały między innymi:

- pobory prób wody z otworów obserwacyjnych (piezometrów), studni kopanych i cieków powierzchniowych,
- pomiary zwierciadła wody podziemnej w studniach i piezometrach,
- pomiary natężenia przepływów wody w ciekach powierzchniowych,
- lokalizację systemem nawigacji satelitarnej GPS zebranych w terenie danych geologicznych, hydrogeologicznych, hydrologicznych oraz sozologicznych.

Zebrane dane stanowiły materiał do prac kameralnych, obejmujących między innymi: wykonanie tabel, wykresów, map i przekrojów hydrogeologicznych.

# 3. Występowanie związków azotu w wodach podziemnych

## 3.1. Właściwości i przemiany biochemiczne związków azotu

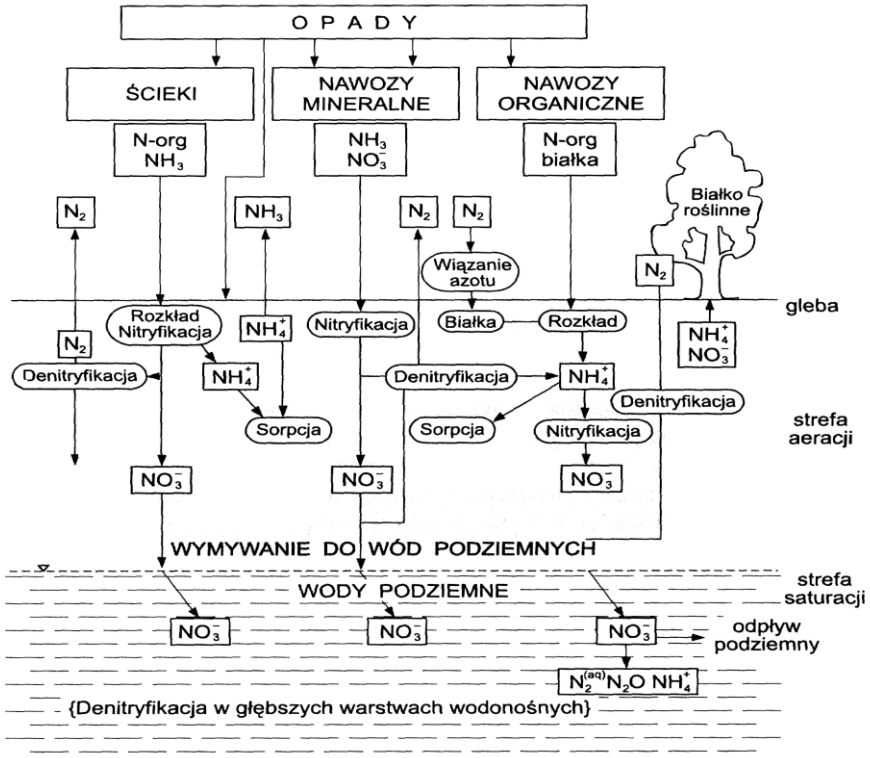
Azot jest gazem bezbarwnym, bez zapachu i nieco lżejszym od powietrza, którego jest podstawowym składnikiem (98 %). Jest słabo rozpuszczalny w wodzie i ropie naftowej i nie wykazuje przy tym aktywności chemicznej. W litosferze występuje w solach mineralnych, głównie w azotanach, azotynach i solach amonowych. Jest także głównym składnikiem białka, nieodzownym pierwiastkiem w życiu roślin i zwierząt. Do wód podziemnych przenika z powietrza, lecz może być również wydzielany w biochemicznych procesach nitryfikacji. Azot jest pierwiastkiem biogennym, podlegającym cyklicznemu krążeniu w przyrodzie, podczas którego zachodzi szereg procesów biochemicznych [4, 17]:

- wiązanie azotu polegające na przekształcaniu azotu cząsteczkowego $N_2$ z atmosfery do amoniaku ($NH_3$), który wraz z opadami atmosferycznymi przedostaje się do gleby,
- przyswajanie przez rośliny azotu w postaci azotanów ($NO_3$) i amoniaku oraz wprowadzanie ich w aminokwasy i białka roślinne,
- wykorzystywanie azotu w postaci białek roślinnych przez konsumentów (zwierzęta),
- rozkład obumarłych białek roślin i zwierząt do azotu amonowego – $NH_4^+$ (amonifikacja) lub utleniane ich w procesie nitryfikacji przez bakterie nitryfikujące do przyswajalnych przez rośliny azotanów,
- rozkład wydalanych przez zwierzęta: mocznika lub kwasu moczowego do azotu amonowego i ponownie wykorzystywane go przez rośliny oraz bakterie nitryfikacyjne.

Obieg azotu w glebie, strefie aeracji i wodach podziemnych przedstawia ryc. 2.

Związki azotu nie wykorzystane przez rośliny gromadzą się w glebie albo ulegają denitryfikacji, polegającej na przekształceniu ich przez bakterie denitryfikacyjne w azot amonowy (pozostający w glebie i migrujący do wód podziemnych) i wolny azot, który wraca do atmosfery [33]. Azotany są anionami i dlatego, nie ulegając adsorpcji przez ujemnie naładowane koloidy glebowe, są mobilne w roztworze glebowym [25]. Azot w wodach podziemnych występuje w różnych formach organicznych i nieorganicznych: azot organiczny ($N_{org}$), azot amonowy ($NH_4^+$), azotany ($NO_3$), azotyny ($NO_2$), rozpuszczony gazowy azot cząsteczkowy ($N_2$) [17]. Najpowszechniejszą jednak formą występowania azotu w wodach podziemnych w warunkach utleniających są jony azotanowe ($NO_3$), występujące na 5 stopniu utlenienia (+5) powszechnie nazywane azotanami. Jon azotynowy ($NO_2$) jest natomiast mało

stabilną formą azotu, traktowaną jako wskaźnik świeżego, antropogenicznego zanieczyszczenia wód. Występuje na 3 stopniu utlenienia (+3), często współwystępując z jonami azotanowymi. Jest bowiem pośrednią nietrwałą formą azotu. Stężenia jonów azotynowych są znacznie niższe niż azotanowych. Występując w wodach potocznie określane są azotynami [8].




**Ryc. 2.** Obieg azotu w glebie, strefie aeracji i w wodach podziemnych [17, 26]

Występowanie różnych form azotu w wodach podziemnych zależy w istotny sposób od warunków utleniająco – redukcyjnych oraz aktywności mikroorganizmów pośredniczących w reakcjach utleniania – redukcji. W glebie, strefie aeracji i w płytkich odkrytych warstwach wodonośnych mamy najczęściej do czynienia ze środowiskiem utleniającym. Przebiegają wtedy procesy biochemicznego utleniania i rozkładu (mineralizacji) substancji organicznej. Azot amonowy, który pojawia się w wodach w wyniku rozkładu azotu organicznego, bakterie nitryfikacyjne utleniają do azotynów i azotanów. W głębszych warstwach wodonośnych, gdzie panują warunki bardziej redukcyjne, utlenione formy azotu ($NO_3$ i $NO_2$) praktycznie nie występują. W strefach tych najważniejszym procesem mikrobiologicznym jest denitryfikacja. Prowadzi ona (przy udziale węgla organicznego) do redukcji azotanów do azotu gazowego i w efekcie całkowitego zaniku azotanów w wodzie. Przebieg denitryfikacji

w warstwie wodonośnej może być ograniczony ze względu na warunki utleniająco – redukcyjne, zbyt małą zawartość węgla organicznego i aktywność mikroorganizmów [26]. Azotany są zatem powszechnie spotykaną formą azotu w płytkich wodach podziemnych, gdzie ich stężenie waha się z reguły od ułamków mg $NO_3/dm^3$ do kilkudziesięciu $NO_3/dm^3$.

Nadmiar azotanów w postaci pięciododatniego (+5) jonu azotanowego ($NO_3$) w wodzie pitnej może wywołać u niemowląt sinicę (methemoglobinemia). Azotany są szkodliwe dla niemowląt, gdyż ich układ pokarmowy zawiera bakterie zdolne redukować azotany do trujących azotynów. Azotyny przechodzą do krwi tworząc z hemoglobiną methemoglobinę niezdolną do przenoszenia tlenu. Wywołuje to niedotlenienie i nawet śmierć.

Dopuszczalna zawartość w wodach pitnych wynosząca 50 mg $NO_3/dm^3$ *(5)* ustanowiona jest właśnie ze względu na zagrożenie niemowląt. Zagrożenie dla osób dorosłych i zwierząt gospodarskich powstaje przy stężeniu azotanów rzędu 100 ÷ 200 $mg/dm^3$ [59].

## 3.2. Przyczyny zanieczyszczenia wód podziemnych azotanami

Zanieczyszczenie wód to zmiana ich składu lub stanu, spowodowana bezpośrednio lub pośrednio działalnością człowieka, która czyni wody mniej przydatnymi dla jednego lub wszystkich celów, którym mogłaby służyć w swym stanie naturalnym. Niekorzystne zmiany mogą być zmianami fizycznymi, chemicznymi i biologicznymi [18]. Zanieczyszczenia emitowane są najczęściej z ognisk zanieczyszczeń o zróżnicowanym charakterze przestrzennym: wielkopowierzchniowym, małopowierzchniowym, punktowym, liniowym (pasmowym). Ogniska zanieczyszczeń występują najczęściej na powierzchni terenu i znajdują się w naturalnym cyklu hydrogeologicznym. Emisje z ognisk przenikają do zbiorników wód podziemnych wraz z infiltracją opadów atmosferycznych lub bezpośrednio w środowisko wodno – gruntowe [17].

Zanieczyszczenie wód azotanami jest jednym z zasadniczych problemów przedsiębiorstw wodociągowych eksploatujących wody podziemne. Wg danych Izby Gospodarczej Wodociągi Polskie w Bydgoszczy z 2002 roku, w 23 zakładach wodociągowych na terenie Polski stwierdzono ponadnormatywne stężenia azotanów (powyżej 50 mg $NO_3/dm^3$) w wodach podziemnych. Zanieczyszczona woda pochodzi z ujęć o zróżnicowanej charakterystyce pod względem budowy geologicznej, warunków

hydrogeologicznych i zagospodarowania przestrzennego, położonych zarówno na wiejskich terenach wykorzystywanych rolniczo jak i na terenach zabudowanych miast [33].

Zanieczyszczenia wód podziemnych azotanami mogą się łączyć z bardzo różnorodną działalnością człowieka. Najważniejsze łączą się z rolnictwem i gospodarką komunalną. Część ma charakter obszarowy, jak stosowanie nawozów azotowych, odpadów z produkcji zwierzęcej (szczególnie gnojowica) i odpadów z produkcji roślinnej np. soki kiszonkowe. Do obszarowych ognisk można coraz częściej zaliczyć obszar zabudowy wiejskiej, ze względu na nieuporządkowaną gospodarkę ściekową, nie nadążającą za rozbudową wodociągów. Do ognisk małopowierzchniowych i średniopowierzchniowych należą np. składowiska odpadów komunalnych i przemysłu rolno - spożywczego, niewłaściwie zabezpieczone magazyny nawozów itp. [26]. Rolnicze zanieczyszczenia wód podziemnych występują powszechnie na obszarach wiejskich i zależą zarówno od sposobu zagospodarownia terenu jak i warunków hydrogeologicznych. Do najważniejszych przyczyn zanieczyszczenia wód podziemnych w obszarach wiejskich należy [17]:

- chemizacja rolnictwa,
- intensyfikacja hodowli,
- nieracjonalnie prowadzona gospodarka wodno – ściekowa.

Przyczyny te zwykle współwystępują, a występowanie $NO_3$ jako wskaźnika zanieczyszczenia jest charakterystyczne dla każdej z nich. Zanieczyszczenia rolnicze mogą występować zarówno jako ogniska lokalne jak i przestrzenne. Ogniska rolnicze wywołują coraz większe przekształcenia hydrogeochemiczne wód podziemnych pierwszego poziomu wodonośnego i drenujących je wód powierzchniowych na terenach wiejskich. Najwyraźniej są one widoczne w obrębie samych wsi, gdzie w wielu studniach występują wody silnie zanieczyszczone azotanami. Największe zmiany jakości wód podziemnych występują, gdy wieś objęta jest siecią wodociągową, lecz nie jest skanalizowana (nieszczelne zbiorniki na fekalia).

Zanieczyszczenia rolnicze związane z chemizacją rolnictwa charakteryzują się występowaniem rozległych przestrzennych ognisk zanieczyszczeń. Zanieczyszczenia te związane są głównie z niewłaściwie stosowanymi nawozami mineralnymi i środkami ochrony roślin. Zanieczyszczenia wód występują również przy stosowaniu nawozów organicznych, zwłaszcza gnojowicy. Hodowla zwierząt na skalę przemysłową prowadzi z reguły do rozległego zanieczyszczenia wód podziemnych.

Zanieczyszczenia wód podziemnych związane z gospodarką komunalną występują w formie przestrzennej także w aglomeracjach miejskich. Największym zagrożeniem dla wód podziemnych są gromadzone na wysypiskach odpady komunalne i wylewiska ścieków [26].
Źródłem nadmiernego stężenia azotanów w wodach podziemnych jest także depozycja sucha lub mokra. Stężenia azotanów w opadach atmosferycznych zależą od stopnia zanieczyszczenia powietrza. W warunkach naturalnych nie przekraczają zwykle 1 ÷ 2 mg $NO_3/dm^3$ [25]. Emisja gazowa w zakładach przemysłowych cechuje się znaczną zawartością tlenków azotu ($NO_x$) i istotnie powiększa tę koncentrację. Wg danych PMŚ sprawowanego przez PIOŚ w rejonie Częstochowy stężenie $NO_2$ w roku 2008 wynosiło 23,1 μg $NO_2/dm^3$ przy dopuszczalnej normie 40 μg $NO_2/dm^3$ [63].
W wodach podziemnych mogą ponadto występować azotany pochodzące z matrycy skalnej utworów tworzących warstwę wodonośną [33]. Wody głównych zbiorników wód podziemnych (GZWP) w Polsce zawierają najczęściej poniżej 20 mg $NO_3/dm^3$ [17].

## 3.3. Migracja azotanów w wodach podziemnych

Przepływ wód podziemnych w warunkach naturalnych odbywa się pod wpływem różnicy wysokości naporu, wynikającej z różnego położenia obszarów zasilania i drenażu wód podziemnych oraz z różnicy ciśnień w tych strefach. Cechą charakterystyczną dla wód podziemnych jest stosunkowo mała szybkość przepływu tychże wód, mierzona najczęściej w dziesiątkach lub setkach m/rok. Dotyczy to zarówno pionowego przesączania w procesie infiltracji wód przez strefę aeracji, jak i podziemnej szybkości migracji przy przepływie w zbiornikach wód podziemnych. Naturalne bariery na drodze przepływu wód podziemnych stanowią skały i grunty słaboprzepuszczalne (utwory pylaste i ilaste). Bariery takie odgrywają pozytywna rolę w ograniczaniu migracji zanieczyszczeń do wód podziemnych. Izolująca rola skał, istotna w skali lokalnej, nie ma często praktycznego znaczenia przy dużych powierzchniach w skali regionalnej. System przepływu wód podziemnych jest niezmiernie skomplikowany w przypadku warunków szczelinowo – krasowych [17]. Fakt, że wody podziemne pochodzą z powierzchni terenu z infiltracji opadów atmosferycznych powoduje, że niosą one na sobie piętno związane z charakterem zagospodarowania terenu. Omywając bryły składowisk, aglomeracje miejsko – przemysłowe, obszary upraw rolnych itp. przenoszą

występujące tam zanieczyszczenia w głąb. Migracja tych zanieczyszczeń stanowi podstawowe zagrożenie dla zasobów wód podziemnych [26].

Azotany są mobilne, łatwo przemieszczają się poniżej strefy korzeniowej do wód podziemnych. Wysoka rozpuszczalność powoduje, że łatwo migrują w wodach podziemnych. Najwyższe stężenia przekraczające nawet 1000 mg $NO_3/dm^3$ są obserwowane w [25, 26]:

- płytkich wodach gruntowych na obszarach rolniczych,
- studniach kopanych w zabudowie wiejskiej o nieuregulowanej gospodarce ściekowej,
- strefach spływu zanieczyszczeń ze składowisk odpadów komunalnych i odpadów przemysłu rolno-spożywczego.

Azotany migrują w formie rozpuszczonej w wodzie podlegając wielorakim czynnikom i procesom [17]:

- konwekcyjnemu przenoszeniu (adwekcji) wraz z wodą podziemną zgodnie z przeciętną szybkością wody (tzw. wypieranie „tłokowe"),
- gradientowi gęstościowemu (wody zanieczyszczone o większej mineralizacji, a więc gęstości, mają tendencję do przenikania do głębszych stref strumienia wód podziemnych),
- dyfuzji molekularnej w kierunku zgodnym z gradientem stężeń,
- dyspersji hydrodynamicznej (rozproszeniu substancji na skutek zróżnicowanych prędkości poszczególnych strug wody),
- reakcjom fizykochemicznym i biochemicznym (z udziałem mikroorganizmów) wywołującym rozpad i/lub biodegradację zanieczyszczeń – w wyniku reakcji mogą tworzyć się nowe substancje zanieczyszczające wody.

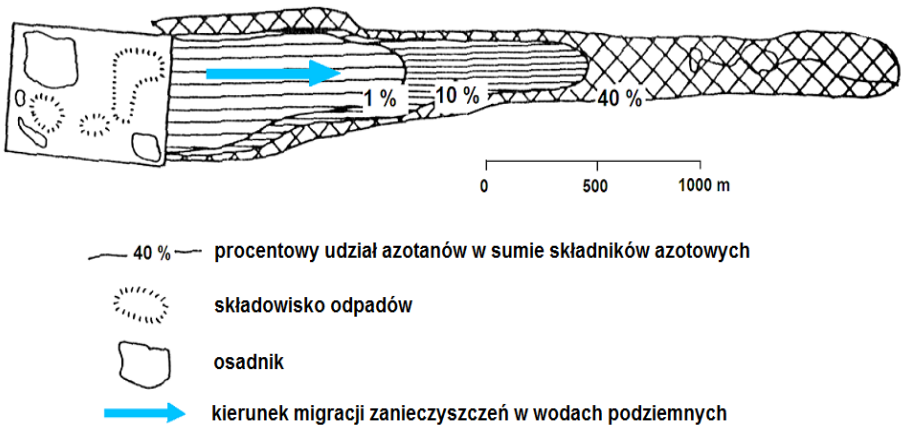
Migracja azotanów odbywa się najczęściej w naturalnym cyklu hydrogeologicznym i składa się z dwóch elementów:

- migracji pionowej przez strefę aeracji,
- migracji generalnie poziomej (lateralnej) w zbiorniku wód podziemnych (warstwie wodonośnej).

W warunkach naturalnych azotany są wolno degradowane. Czas połowicznej eliminacji w strefie saturacji można ocenić na $t_{1/2} \approx 20$ lat. Jednak głównym czynnikiem znacznie opóźniającym migrację azotanów do warstw wodonośnych stanowią pokrywające je warstwy słaboprzepuszczalne (np. gliny). Opóźnienie to może trwać od kilku do kilkudziesięciu lat [4, 17]. Znajomość podstawowych procesów migracji azotanów w funkcji czasu umożliwia [17]:

- określenie niezbędnego przedziału czasu, w którym należy podjąć przeciwdziałania, pozwalające uniknąć przeniknięcia azotanów do zbiorników wód podziemnych,
- oszacowanie czasu, po którym możliwe jest samooczyszczenie się wód, gdyż szereg procesów z tym związanych jak rozpad, biodegradacja da się wyrazić w funkcji czasu,
- ocenę efektywności barier naturalnych i sztucznych, chroniących wody podziemne, uwzględniając opóźnienie wynikające z powolnej migracji przez skały słabo przepuszczalne.

Wysokie stężenia azotanów mogą wystąpić dopiero w pewnej odległości od ognisk zanieczyszczeń np. niekontrolowanych składowisk odpadów. W odciekach bezpośrednio pod składowiskiem dominują: azot organiczny i azot amonowy. Niskie zawartości azotanów w pobliżu składowisk wynikają także z obecności azotu organiczny i azot amonowego jako dominujących składników. Procesy takie pojawiają się na obszarach spływu wód podziemnych do studni ujęcia Łobodno. Wzrost zawartości azotanów w wodach podziemnych w stosunku do sumy składników azotowych w rejonie składowisk odpadów komunalnych przedstawia ryc. 3 [17].




**Ryc. 3.** Procentowy wzrost zawartości azotanów w wodach podziemnych (w stosunku do sumy składników azotowych) w rejonie niekontrolowanych składowisk odpadów komunalnych [17]

# 4. Charakterystyka obszaru badań

## 4.1. Położenie i granice

Teren badań leży w północnej części województwa śląskiego, w powiecie kłobuckim i obejmuje częściowo tereny gmin: Kłobuck i Miedźno. Ujęcie wielootworowe Łobodno położone jest w rejonie miejscowości Łobodno w odległości około 4,5 km na północny - wschód od Kłobucka. Miejscowości: Kłobuck i Łobodno znajdują się w odległości około 15 km na północny - zachód od Częstochowy (załącznik 1). Południowa granica obszaru objętego badaniami przebiega:

- drogą krajową nr 43 (Częstochowa – Wieluń – Poznań) na odcinku jej przebiegu: od stacji paliw i terenów przemysłowych, położonych w północno – zachodniej części Kłobucka, do mostu na rzece czarna Oksza w miejscowości Libidza: dwukrotnie granica terenu badań wykracza około 0,4 ÷ 0,7 km na południowy - zachód poza nią, zgodnie z przebiegiem granicy zasięgu utworów górnojurajskich,
- korytem rzecznym w dół Czarnej Oksza od mostu w Libidzy przy drodze nr 43, do mostu w miejscowości Przybyłów,
- korytem rzeki Czarna Oksza na odcinku jej biegu: od mostu w Przybyłowie, do mostu w miejscowości Kamyk na drodze wojewódzkiej nr 491 (Działoszyn – Łobodno – Częstochowa).

Południowa granica obszaru badań na odcinku od Kłobucka do miejscowości Kamyk w dużym przybliżeniu pokrywa się z południową granicą zasięgu występowania utworów jury górnej.

Granica wschodnia biegnie południkowo w kierunku północnym: od mostu w miejscowości Kamyk na drodze wojewódzkiej nr 491, obszarami leśnymi poprzez koryto rzeki Białej Okszy, do drogi wojewódzkiej nr 492 (Ważne Młyny – Łobodno – Kłobuck – Blachownia) na wysokości Klesińskich Łanów.

Granicę północną stanowią drogi polne i lokalne przebiegające w kierunku generalnie zachodnim od drogi wojewódzkiej nr 492, poprzez Dębiniec, Wiktorów, Kołaczkowice Małe, aż do skrzyżowania dróg w miejscowości Mokra Trzecia.

Natomiast granicę zachodnią obszaru badań wyznacza:

- droga lokalna przebiegająca z Mokrej Trzeciej na południe do Kolonii Mokra,

- droga polna z Kolonii Mokra do Kolonii Kurzelówka oraz droga polana z Kolonii Kurzelówka do miejscowości Julianów,
- droga lokalna w Julianowie do drogi krajowej nr 43 na wysokości miejscowości Brzytwice,
- droga krajowa 43 na odcinku od miejscowości Brzytwice do stacji paliw i terenów przemysłowych położonych w północno – zachodniej części Kłobucka.

Obszar objęty badaniami w całości zawiera strefę ochrony pośredniej ujęcia Łobodno. Sieć komunikacyjna jest dobrze rozwinięta. Składają się na nią linie PKP relacji Katowice – Herby – Gdynia, oraz główne drogi:

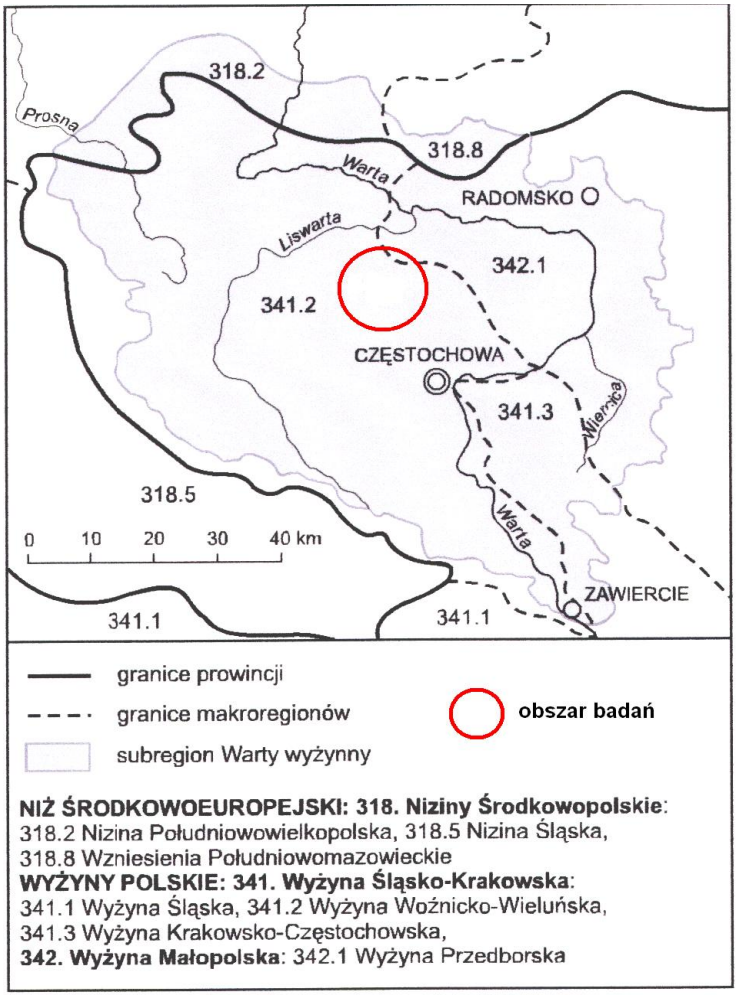
- krajowa nr 43 (Częstochowa – Wieluń – Poznań) – o największym ruchu tranzytowym,
- wojewódzka nr 491 (Działoszyn – Łobodno – Częstochowa),
- wojewódzka nr 492 (Ważne Młyny – Łobodno – Kłobuck – Blachownia).

Sieć komunikacyjną tworzą także drogi powiatowe i gminne o różnej nawierzchni.

Pod względem zagospodarowania rozpatrywany teren w przeważającej części ma charakter rolniczy. Zakłady przemysłowe zlokalizowane są głównie w zachodniej i południowo – zachodniej części obszaru, głównie na terenie miasta Kłobuck. Kłobuck jest siedzibą władz gminy, która obejmuje 10 sołectw: Kamyk, Łobodno, Biała, Lgota, Gruszewnia, Libidza, Nowa Wieś, Borowianka, Kopiec, Rybno oraz 5 sołectw w obrębie granic administracyjnych miasta Kłobucka: Brody Malina, Niwa Skrzeszów, Przybyłów, Smugi, Zakrzew.

## 4.2. Morfologia, hydrografia, klimat

Według podziału na regiony wodne, obszar badań należy do subregionu Warty wyżynnego [38]. Natomiast wg podziału fizycznogeograficznego Polski znajduje się w prowincji: Wyżyny Polskie i podprowincji: Wyżyna Śląsko – Krakowska [22]. Przestrzenne zróżnicowanie budowy geologicznej oraz rzeźby terenu pozwoliło na wyodrębnienie makroregionu Wyżyny Woźnicko – Wieluńskiej, którego centralną część stanowią tereny objęte badaniami (ryc. 4). Charakteryzuje się on nieznacznym zróżnicowaniem ukształtowania powierzchni, co wiąże się z pokryciem mezozoicznego podłoża utworami czwartorzędowymi, o znacznym rozprzestrzenieniu i miąższości, dochodzącej miejscami do kilkudziesięciu metrów.




**Ryc. 4.** Położenie obszaru badań na tle jednostek fizycznogeograficznych [38]

Decydującym czynnikiem rzutującym na współczesną rzeźbę terenu były zlodowacenia. Pozostałością po nich jest wysoczyzna polodowcowa, którą cechuje rzeźba falista z pagórkami, o nieznacznych deniwelacjach z rozcięciami erozyjnymi dopływów Liswarty. Są to tzw. Pagóry Kłobuckie – niewysokie, rozłożyste wzniesienia o charakterze polodowcowym, z wyraźnymi elementami rzeźby progowej, poddane obecnie erozji [22].

Spod pokrywy czwartorzędowej akumulacji lodowcowej i wodnolodowcowej sporadycznie wyłania się podłoże zbudowane z wapieni jury górnej. Dominującymi elementami w rzeźbie są pojedyncze wzniesienia ostańcowe zbudowane z wapieni jury górnej, wyniesione ponad otaczającą powierzchnię 20 ÷ 25 m oraz przełomowa dolina Białej i Czarnej Okszy. Wzgórza zbudowane z wapieni malmu są nieliczne i niewysokie, w formie skrasowiałych i zaokrąglonych pagórów i wałów o łagodnych zboczach. Najwyższe z nich Góra Kamyk osiąga rzędną około 275,5 m n.p.m. Na wzgórzach eksploatowano wapień, używając go jako

kamienia budowlanego lub surowca do produkcji wapna palonego. Pozostały liczne odkrywki do głębokości 15 metrów [9].

W kierunku dolin rzek Białej i Czarnej Okszy oraz generalnie w kierunku północno – wschodnim teren łagodnie opada od rzędnej około 260 m n.p.m. w rejonie Smug do 220 m n.p.m. w północno – wschodniej części obszaru badań. Zachodnią granicę Wyżyny Wieluńskiej stanowi próg strukturalny założony na wychodniach wapieni malmu. Zarys jego ulega złagodzeniu pod pokrywą czwartorzędową. W niektórych miejscach, szczególnie w części północnej obszaru badań, na powierzchni ujawniają się zjawiska krasowe w postaci lejów zapadliskowych [9].

Obszar badań leży w dorzeczu Odry, zlewni Warty, a dokładniej Białej i Czarnej Okszy, będących prawobrzeżnymi dopływami Liswarty – lewobrzeżnego dopływu Warty. Sieć hydrograficzna w dolinie Białej Okszy składa się z rzeki głównej i szeregu mniejszych dopływów oraz rowów melioracyjnych, odwadniających przylegające łąki. Części zlewni rzek Białej i Czarnej Okszy obejmują obszar zasięgu oddziaływania ujęcia Łobodno. Wymienione rzeki główne płyną mniej więcej równolegle do siebie w odległości około 4 km, a dział wodny między nimi jest bardzo płaski – „niewyraźny". Górne odcinki większych dopływów i części ich zlewni znajdują się poza obszarem badań. Niektóre z mniejszych dopływów prowadzą wodę okresowo [57].

Hydrograficzną oś obszaru stanowi rzeka Biała Oksza, która na odcinku objętym badaniami jest uregulowana (ryc. 5).

**Ryc. 5.** Rzeka Biała Oksza – widok koryta z mostu w Łobodnie w kierunku zachodnim (droga wojewódzka nr 491: Działoszyn – Łobodno – Częstochowa)

Łąki w dolinie rzeki, niegdyś bagniste, obecnie są zmeliorowane. Woda w rzece jest bardzo zanieczyszczona i należy do wód klasy V *(9)*. Jej źródła znajdują się poza zachodnią granicą gminy, w pobliżu wsi Hutka, około 8 km od Kłobucka na wysokości około 285 m n.p.m.. Rzeka płynie w kierunku północno – wschodnim przez Rybno, Kłobuck, Łobodno, Ostrowy, a następnie skręca na północ i uchodzi do Liswarty poniżej Władysławowa, w gminie Miedźno [42].

W obszarze badań przeciętna szerokość koryta Białej Okszy wynosi 3,5 m i jest intensywnie zabudowana jazami. Całkowita powierzchnia zlewni wynosi 143,50 $km^2$, jej przeciętna szerokość około 7 km, a długość około 20 km. Teren zlewni Białej Okszy graniczy od południa i wschodu ze zlewnią Czarnej Okszy, od zachodu ze zlewnią Pankówki i Opatówki, a od północy ze zlewnią własną Liswarty. Biała Oksza z obu stron zasilana jest przez niewielkie cieki:

- ciek Leśny o powierzchni zlewni 6,30 $km^2$,
- potok Bród o długości około 8 km i powierzchni zlewni 23,9 $km^2$, uchodzący do Białej Okszy poniżej Kłobucka,
- potok z Miedźna o powierzchni zlewni 19,05 $km^2$.

Pozostałe dopływy Białej Okszy to bezimienne cieki o długości od 2 do 5 km.

Druga pod względem wielkości Czarna Oksza wypływa między Truskolasami i Golcami. Płynie równoleżnikowo na wschód przez tereny leśne do Grodziska, a następnie skręca na północny – wschód. Pomiędzy miejscowościami Libidza i Kamyk płynie w wąskiej dolinie, o stromych, wysokich (około 20 ÷ 30 m) zboczach. Dno doliny jest płaskie, podmokłe, o szerokości około 500 m. Rzeka jest uregulowana o wyprostowanym miejscami biegu. Jej zlewnia zajmuje powierzchnię 257,8 $km^2$ i obejmuje południowo – wschodnią część gminy Kłobuck. Największym dopływem jest rzeka Białka, której przy ujściu towarzyszą stawy rybne koło wsi Kopiec. Pozostałe dopływy to krótkie cieki prowadzące niewielkie ilości wody. Od miejscowości Kocin, Czarna Oksza zmienia nazwę i na odcinku do ujścia nazywana jest Kocinką [42].

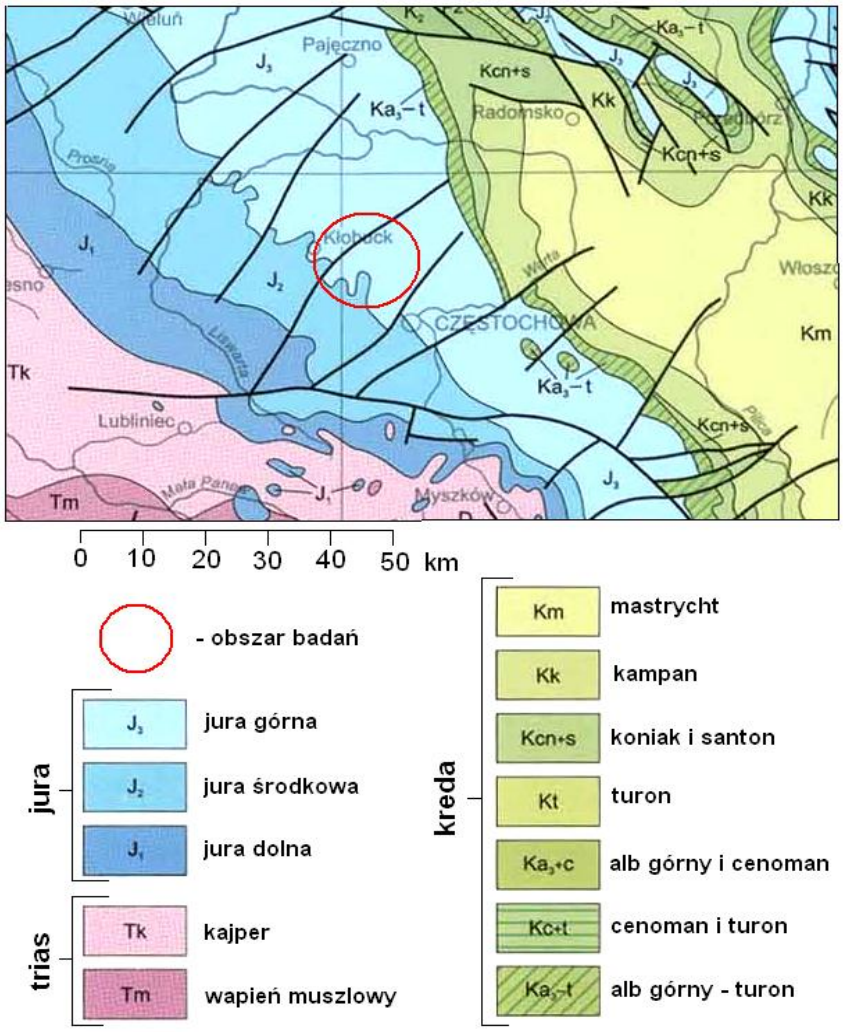
Sieć hydrograficzna w obszarze badań nawiązuje do morfologii oraz budowy geologicznej. W układzie sieci rzecznej charakterystyczny jest łamany kształt cieków. Sieć składa się z odcinków południkowych i poprzecznych do nich odcinków równoleżnikowych. Taki układ sieci rzecznej jest pozostałością po epoce lodowcowej. Podczas zlodowaceń powstawały odcinki równoleżnikowe, a podczas interglacjałów rzeki tworzyły odcinki południkowe [57]. Rzeki rejonu badań charakteryzują się śnieżno – deszczowym reżimem zasilania. Roczne wahania wodostanów Białej i Czarnej Okszy wskazują na wezbrania

wiosenne i letnie. Wyżówki wiosenne związane są z odprowadzaniem wód roztopowych i najczęściej przypadają na marzec. Krótkotrwałe wezbrania letnie związane są z gwałtownymi i ciągłymi opadami atmosferycznymi występującymi najczęściej w lipcu. Niskie stany wód obserwowane są najczęściej w sierpniu. Niżówki zimowe pojawiają się głównie w okresach suchej oraz mroźnej pogody [9].

Średnia roczna suma opadów atmosferycznych w rejonie badań wynosi 600 ÷ 700 mm, z maksymalnymi sumami miesięcznymi w miesiącach letnich. Opady cechuje duża rozpiętość średnich sum opadów rocznych. W latach suchych wynosi ona około 400 ÷ 500 mm, natomiast w latach wilgotnych dochodzi do 800 ÷ 900 mm. Maksymalna suma miesięczna opadów przypada na lipiec i wynosi zwykle 102 mm. Minimalna ilość opadów przypada zazwyczaj na luty i wynosi 36 mm [32].

## 4.3. Zarys budowy geologicznej

Obszar badań jest częścią wielkiej tzw. śląsko - krakowskiej struktury monoklinalnej, o rozciągłości z południowego – wschodu na północny – zachód, a zapadającej na północny – wschód pod kątem 1 ÷ 4°. Monoklina zbudowana jest z utworów mezozoicznych pokrytych na omawianym obszarze utworami czwartorzędowymi. Najstarszymi utworami ery mezozoicznej w rejonie Łobodna są utwory triasu [9, 11]. Trias dolny i środkowy wykształcony jest w facji węglanowej, natomiast górny w ilastej. Strop tych utworów występuje w rejonie badań na głębokości około 400 m. Na utworach triasu zalegają osady jury dolnej, które są bardzo zróżnicowane litologicznie: w części spągowej występują utwory żwirowo – piaskowcowe, wyżej ilasto – piaskowcowe. Powyżej utworów jury dolnej zalegają ilaste osady jury środkowej (dogger) podścielające osady górnojurajskie (malm), w których występuje podstawowy poziom wodonośny, z którego zasobów czerpie ujęcie Łobodno. Utwory jury górnej pokrywają osady czwartorzędowe [9]. Podstawowe dane dotyczące stratygrafii, litologii i warunków hydrogeologicznych obszaru badań przedstawiają: ryc. 6, tabela 1 oraz zgeneralizowane przekroje geologiczne przez odwiercone otwory hydrogeologiczne przedstawione w załączniku 2.




**Ryc. 6.** Wycinek mapy geologicznej Polski – odkrytej, z zaznaczeniem zasięgów stratygraficznych [opracowano na podstawie Mapy Geologicznej Polski bez utworów kenozoiku w skali 1: 1 000 000 – PIG Warszawa 2000 – *http://www.pgi.pl*]

### 4.3.1. Jura środkowa

Jura środkowa o całkowitej miąższości około 200 ÷ 220 m reprezentowana jest w spągu (piętra: aalen i bajos dolny) przez utwory piaszczysto - piaskowcowe zwane „warstwami kościeliskimi" o miąższości około 40 m. Wychodnie warstw kościeliskich rozprzestrzeniają się poza obszarem badań. Z warstwami kościeliskimi związany jest szczelinowo – porowy poziom wodonośny, tworzący GZWP 325, obejmujący południowo – zachodnie krańce gminy Kłobuck. Poziom wodonośny warstw kościeliskich chroniony jest od zanieczyszczeń z powierzchni przez naturalny ekran izolujący, który stanowią nadległe skały ilaste batonu o miąższości około 170 ÷ 200 m [11, 12].

**Tabela 1.** Stratygrafia, litologia i warunki hydrogeologiczne obszaru badań [opracowanie własne]

| Ea | Okres | Epoka | Piętro (wiek) | | Wykształcenie litologiczne | Warunki hydrogeologiczne (uwagi) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Era kenozoiczna (kenozoik)** | Czwartorzęd **(Q)** | holocen | | | W dolinach Białej i Czarnej Okszy: piaski oraz torfy piaszczyste. | Stanowią obszary infiltracji wód opadowych. |
| | | **Plejstocen** | Ostatni interglacjał eemski | | Piaski i żwiry (osady fluwioglacjalne) na wysoczyźnie oraz w dolinach, często zalegają bezpośrednio na wapieniach | W dolinach rzecznych stanowią strefy infiltracji wód rzecznych, do wapieni jurajskich. |
| | | | Zlodowacenie środkowopolskie (Riss) | | Górna warstwa gliny zwałowych | Warstwy względnie słaboprzepuszalne |
| | | | Wielki interglacjał mazowiecki | | Piaski i żwiry wodnolodowcowe, mułki i iły warwowe, powstałe w okresie transgresji lądolodu | 2 poziomy wodonośne bez znaczenia gospodarczego |
| | | | Zlodowacenie krakowskie (Mindel) | | Dolna warstwa gliny zwałowych | Warstwy względnie słaboprzepuszalne |
| | | | Preglacjał | | Gliny zwietrzelinowe | Utwory ilaste słabo przepuszczalne |
| **Era mezozoiczna (mezozoik)** | **Jura (J)** | **Jura górna** – malm, jura biała **($J_3$)** miąższość około 360 m | **oksford** (dolne piętro jury górnej) | oksford górny | Zwięzłe wapienie skaliste (warstwy mirowskie) przechodzące w stropie w wapienie margliste, kredowate barwy białej, na ogół wyraźnie uławicone oraz niebieskoszare margle o miąższości powyżej 200 m. | Szczelinowo – krasowy poziom wodonośny, tworzący GZWP 326, o zasadniczym znaczeniu w zaopatrzeniu aglomeracji częstochowskiej. Zbiornik jest otwarty, zasilany w znacznej mierze bezpośrednio poprzez wychodnie utworów jury górnej. Stąd istnieje potencjalne zagrożenie zanieczyszczenia jego wód skażonymi wodami infiltrującymi z powierzchni |
| | | | | oksford środkowy | Kremowe wapienie płytowe w dolnej części przewarstwiane z marglami, ku górze przechodzące w skaliste, o miąższości całkowitej około 150 m | |
| | | | | oksford dolny | Wapienie i margle gąbkowe oraz wapienie płytowe i margle łupkowo – płytowe, barwy białej lub kremowo – białej o miąższości nie przekraczającej 10 m (warstwy jasnogórskie i zawodziańskie) | |
| | | **Jura środkowa** – dogger, jura brunatna **($J_2$)** miąższość 200 ÷ 220 m | kelowej | | Wapienie piaszczyste barwy żółto – brunatnej, przewarstwiane szaro – zielonymi marglami z glaukonitem | |
| | | | baton | | Szare skały ilaste (iły, iłowce, łupki ilaste) oraz piaski i piaskowce o miąższości: 170 ÷ 200 m | Kompleks słaboprzepuszczalny izolujący poziom wodonośny doggeru od poziomu malmu |
| | | | bajos górny | | | |
| | | | bajos dolny | | Utwory piaszczysto – piaskowcowe tzw. warstwy kościeliskie, o miąższości około 40 m | Szczelinowo – porowy poziom wodonośny, tworzący GZWP 325 |
| | | | aalen | | | |
| | | Jura dolna - lias, jura czarna ($J_1$) | | | W części spągowej występują utwory żwirowo – piaskowcowe, wyżej ilasto – piaskowcowe. | *Brak rozpoznania hydrogeologicznego w rejonie badań* |
| | **Trias (T)** | Górny **($T_3$)** | | | kajper – (facja ilasta) | |
| | | Środkowy **($T_2$)** | | | wapień muszlowy (facja węglanowa) | |
| | | Dolny **($T_1$)** | | | pstry piaskowiec (facja węglanowa) | |

Szare iły batonu są właściwymi osadami podścielającymi, stanowiąc kompleks słaboprzepuszczalnych utworów oddzielających poziom wodonośny doggeru (piaskowce kościeliskie) od poziomu malmu, z którego zasilane jest ujęcie w Łobodnie. Nad serią skał batonu, zalegają utwory keloweju. Na granicy batonu i keloweju następuje ostra zmiana facji. Utwory ilaste stopniowo zanikają, a dominują wapienie piaszczyste przewarstwiane szaro - zielonymi marglami. Charakterystyczną cechą tych skał jest obecność ziaren glaukonitu. Miąższość keloweju w okolicach Łobodna jest niewielka i nie przekracza 10 m, co jest spowodowane luką sedymentacyjną. Wapienie piaszczyste keloweju ze względu na swój płytowy charakter, tworzą poziom wodonośny i z punktu widzenia hydrogeologicznego mogą być rozpatrywane łącznie z całym kompleksem wyżej ległych osadów malmu. Pomiędzy osadami keloweju i malmu istnieje jednak ostra granica wyrażona szybką zmianą typu wykształcenia osadów, podkreślona gwałtowną zmianą ich barwy. Wapienie piaszczyste keloweju są barwy żółto – brunatnej, podczas gdy wapienie wyżej leżącego malmu są z reguły białe lub kremowo – białe [47].

### 4.3.2. Jura górna

Utwory jury górnej scharakteryzowano szerzej, ze względu na to, że są one kolektorem zawierającym wody podziemne, z którego zasobów czerpią wodę studnie ujęcia Łobodno.

Kompleks osadów górnojurajskich zalega na utworach keloweju. Granica zasięgu malmu przebiega w odległości około 5 km na południowy - zachód od ujęcia Łobodno. W obszarze badań linia intersekcyjna spągu utworów malmu biegnie postrzępioną krzywą od dzielnicy Kłobucka Zagórze na południe, poprzez centrum Kłobucka i dalej na wschód do miejscowości Kamyk [9, 47]. Cała seria wapieni ma zmienną miąższość – od kilku metrów w południowej i zachodniej części obszaru badań w pobliżu kuesty (okolice Kłobucka), do kilkuset metrów we wschodniej i południowo – wschodniej części. Generalnie w kierunku północno - wschodnim, zgodnie z upadem, miąższość wapieni rośnie. Przyrost miąższości ze względu na nierówną podczwartorzędową powierzchnię nie jest regularny. W otworach badawczo – eksploatacyjnych ujęcia miąższość malmu wynosi od 27 m (otwór P – 6) do około 80 m (studnia S – 8) [47, 48]. Badania geofizyczne (e1ektrooporowe) dowodzą, że w rejonie miejscowości Ostrowy mogą one osiągać grubość do 169 m [49].

Osady górnojurajskie to zespół skał węglanowych o zróżnicowaniu facjalnym w profilu pionowym, często także poziomym. W okolicy Łobodna występuje dolne piętro malmu – oksford, wykształcone w postaci wapieni skalistych i płytowych, z przerostami margli w spągu profilu.

Partie spągowe malmu budują osady oksfordu dolnego. Jest to warstwa stromatolitowa z cienką warstwą iłu marglistego, powyżej którego występują wapienie i margle gąbkowe oraz wapienie płytowe i margle łupkowo – płytowe. Osady te noszą nazwę warstw jasnogórskich i zawodziańskich, a ich miąższość nie przekracza 10 m [11, 12].

Wyżej leżące utwory zaliczane są do oksfordu środkowego. Stanowią je kremowe wapienie płytowe w dolnej części przewarstwiane marglami. W spągu serii osadów oksfordu środkowego udział margli jest znaczny (do 50 %). Miąższość poszczególnych ławic wapieni i margli waha się w granicach 10 ÷ 30 cm. Ku stropowi udział margli spada i w wyżej leżących wapieniach płytowych występują one jedynie sporadycznie. Grubość ławic wzrasta natomiast do 1 m. Wapienie te są zbite i kruche, i często zawierają konkrecje białych krzemieni. Wapienie płytowe są w poważnym stopniu uszczelnione. Szczeliny z reguły są puste lub rzadziej, wypełnione druzgotem wapiennym. Ku górze udział wapieni typu skalistego stale wzrasta. Początkowo drobne soczewki wapienia skalistego stają się coraz większe, by w wyższych partiach stać się dominującymi. Są to wapienie masywne, twarde, o barwie białej, często zsylifikowane zawierające konkrecje czarnych lub żółtych krzemieni o średnicy 10 ÷ 50 cm. Z reguły nie są warstwowane, ale tworzą grube ławice o zmiennej miąższości, maksymalnie osiągając wartość do 5 m. W istniejących odkrywkach często obserwuje się poziome przechodzenie wapienia skalistego w wapień płytowy. Miąższość osadów oksfordu środkowego ocenia się na około 150 m. Osady oksfordu dolnego i środkowego występują na powierzchni w rejonie Kamyka i Kłobucka.

Oksford górny budują w dolnej części profilu zwięzłe wapienie skaliste (warstwy mirowskie) przechodzące w stropie w wapienie margliste, kredowate barwy białej, na ogół wyraźnie uławicone oraz niebieskoszare margle [9, 47, 49]. Oksford górny tworzy wychodnie na powierzchni w rejonie Łobodna i Kołaczkowic, a jego miąższość wynosi powyżej 200 m. W Górze Katarowa (ryc. 6) oraz Kamyk w wapieniach tych występują stare łomy poeksploatacyjne oraz jaskinie częściowo wypełnione namułami lub kalcytem.

**Ryc. 7.** Odsłonięcia wapieni oksfordu w Górze Katarowa

Powierzchnia stropu jury górnej jest silnie urozmaicona. Na jej ukształtowanie duży wpływ miały ruchy tektoniczne, a w późniejszym czasie wietrzenie i erozja. Spąg jury górnej na ogół równy (z wyjątkiem dyslokacji) opada pod katem $1 \div 4^0$ ku północnemu - wschodowi. Natomiast strop utworów jury górnej tworzy bardzo nierówną powierzchnię. Uwzględniając ostańcowe wzniesienia stwierdzona maksymalna deniwelacja wynosi 75,5 m:

- najwyższy punkt stropu jury: Góra Kamyk (275,5 m n.p.m.)
- najwyższy punkt stropu jury w okolicy Łobodna: Góra Katarowa (250,8 m n.p.m.)
- najniższy nawiercony punkt stropu jury: Otwór nr 5 (200,0 m n.p.m.)

Wzdłuż głównych dyslokacji wytworzyła się sieć głęboko wciętych dolin rzecznych, z których dwie są wykorzystywane przez Białą i Czarną Okszę [9]. W części centralnej obszaru badań obserwuje się obniżenie powierzchni stropu jury górnej, stanowiące podłoże czwartorzędowej pradoliny. Oś obniżenia ma ogólny przebieg wzdłuż Czarnej Okszy, po czym kieruje się na północ. Dno obniżenia kształtuje się na rzędnej 204,8 m n.p.m. w południowej części, a w pozostałej poniżej 180 m n.p.m. [57].

Warstwy monokliny śląsko - krakowskiej mają bieg z południowego – wschodu na północny – zachód i zapadają w kierunku północno-wschodnim pod utwory kredy niecki miechowskiej (wychodnie kredy poza obszarem badań). Monoklina nie jest sfałdowana. Dotknięta jest ona jedynie bardzo szerokopromiennymi spaczeniami oraz tektoniką uskokową, która porozbijała ją na szereg bloków tworząc w wielu miejscach różnej wielkości struktury zrębowe i rowowe. Uskoki te są prostopadłe do biegu warstw. Amplitudy zrzutów utrzymują się w granicach od kilku do kilkudziesięciu metrów [47, 57].

Cechą charakterystyczną wapieni górnojurajskich jest gęsty system spękań pionowych, rzadziej poziomych. Najczęściej spotykanymi spękaniami są szczeliny o kierunku z południowego – zachodu na północny - wschód. Wzdłuż spękań rozwinęły się najsilniej zjawiska krasowe, ponieważ kierunek spękań jest mniej więcej zgodny z ruchem wód szczelinowo - krasowych występujących w wapieniach górnojurajskich. Kanały krasowe o znacznej szerokości powstały na skutek krążenia wód i rozpuszczania się węglanu wapnia. Wapienie malmu w zależności od typu wykształcenia litologicznego w odmienny sposób reagowały na działające na nie siły. Najbardziej podatne na spękania były kruche wapienie płytowe. Sieć spękań jest w nich najczęstsza. Stopień spękania wapieni skalistych w stosunku do wapieni płytowych jest znacznie mniejszy [47]. Zróżnicowanie spękań zależy od rodzaju skał. Wapienie skaliste nieuławicone wykazują głównie szczeliny pionowe lub zbliżone do pionowych. W wapieniach skalistych ławicowych są ponadto szczeliny międzyławicowe ułatwiające krążenie wód. W marglach, które są stosunkowo plastyczne, nie obserwuje się spękań. Istniejące w wapieniu skalistym szczeliny zazwyczaj wypełnione są gliną zwietrzelinową, druzgotem wapiennym lub piaskiem. Na podstawie pomiarów wykonanych w kamieniołomach na terenie Łobodna, Kołaczkowic, Kamyka, ustalono, że szerokość szczelin najczęściej waha się w granicach 2 ÷ 15 cm, a odległość pomiędzy nimi w granicach 20 ÷ 300 cm [47].

### 4.3.3. Czwartorzęd

Warunki występowania osadów czwartorzędowych decydują o zasilaniu górnojurajskiego poziomu wodonośnego i o wzajemnym oddziaływaniu ujęcia i kopanych studni gospodarskich. Utwory czwartorzędowe występujące w okolicach Łobodna odznaczają się dużym urozmaiceniem wykształcenia litologicznego, miąższości i rozprzestrzenienia, skutkiem nałożenia się szeregu procesów geologicznych zachodzących w czwartorzędzie. W części zachodniej obszaru badań pokrywa czwartorzędowa jest w znacznym stopniu zniszczona i zachowała się jedynie w dolinach rzek Białej i Czarnej Okszy, które wytworzyły doliny w obrębie starszych, przedczwartorzędowych form erozyjnych. Natomiast w części wschodniej osady czwartorzędu osiągają miąższość przeciętnie do kilkunastu metrów. Lokalnie, głównie w obniżeniach na południe i południowy - wschód od Łobodna, miąższość osadów osiąga 35 m. Osady czwartorzędowe są pochodzenia wietrzeniowego (w partiach spągowych), glacjalnego, fluwioglacjalnego (zlodowacenia południowopolskiego

i środkowopolskiego), eolicznego, niewielkich płytkich zastoisk oraz holoceńskich dolin rzecznych. Reprezentowane są przez gliny zwietrzelinowe, gliny zwałowe, piaski, mułki i iły międzymorenowe powstałe w plejstocenie oraz młodsze – utworzone w holocenie: piaski, żwiry i torfy [57].

Gliny zwietrzelinowe występują na powierzchni osadów jurajskich, zarówno na ich wychodniach jak i pod przykryciem młodszymi osadami czwartorzędowymi, z wyjątkiem wyniesień oraz dolin rzecznych, w których to miejscach uległy rozmyciu. Z reguły są to utwory ilaste o barwie brązowej lub żółtej, zawierające znaczne domieszki gruzu wapiennego i krzemieni. Miąższość ich jest różna. Na obszarach płaskich z reguły nie przekracza 40 cm, natomiast na powierzchniach rozdartych krasowo tworzą się kotły do kilkunastu metrów głębokości. Pokrywa glin zwietrzelinowych nie jest ciągła, występuje głównie w lejach i innych zagłębieniach krasowych utworzonych na powierzchni wapieni. Gliny zwietrzelinowe występują także pod powierzchnią wapieni wypełniając miejscami pustki i szczeliny krasowe. Utwory ilaste stanowią warstwy bardzo słabo przepuszczalne, przez które, jedynie na skutek lokalnych rozmyć, czyli tzw. oknami erozyjnymi mogą przenikać wody z piętra czwartorzędowego do poziomu jury górnej [47].

Gliny zwałowe przeważają na południowy - zachód od linii otworów badawczo – eksploatacyjnych ujęcia Łobodno. W dolinach rzecznych oraz na kulminacjach jurajskich uległy rozmyciu. Gliny zwałowe tworzą dwie warstwy rozdzielone piaskami, mułkami i iłami warwowymi. Dolna warstwa odpowiada zlodowaceniu krakowskiemu, górna środkowopolskiemu. Są to utwory ilaste koloru brązowego i szaro – brązowego, zawierające znaczne domieszki piasku i okruchów skał skandynawskich i lokalnych. Dwie warstwy gliny zwałowej napotkane zostały tylko w nielicznych otworach. W zdecydowanej większości otworów występuje tylko jedna warstwa gliny zwałowej. Gliny zwałowe tworzą poziomy względnie słabo przepuszczalne [57].

Piaski i żwiry wodnolodowcowe powstałe w okresie transgresji lądolodu tworzą zwarty i wyrównany poziom, dominując na północny – wschód od linii otworów badawczo – eksploatacyjnych ujęcia Łobodno. Wiekowo odpowiadają osadom interglacjału wielkiego i wczesnym stadiom zlodowacenia środkowopolskiego. Miąższość ich nie przekracza zazwyczaj 4 m. W omawianych osadach występują dwa poziomy wodonośne: dolny, bardziej wydajny w żwirach i piaskach drobnoziarnistych oraz mniej wydajny górny, w piaskach średnioziarnistych [47].

W okresie postglacjalnym powstały piaski i żwiry występujące na powierzchni wysoczyzny na wschód od linii Przybyłów - zachodni skraj Łobodna oraz w dolinach rzecznych (seria

piasków ze żwirem miąższości do 20 m). Są to osady fluwioglacjalne pochodzące z okresu deglacjacji zlodowacenia środkowopolskiego. W wielu przypadkach leżą one bezpośrednio na wapieniach, a w dolinach rzecznych mają poważne znaczenie jako strefy infiltracji wód rzecznych, do wapieni jurajskich. Rzeki Biała i Czarna Oksza wyerodowały w tym okresie własne doliny w utworach czwartorzędowych, nanosząc osady rzeczne o miąższości około 10 m, reprezentowane przez piaski różnoziarniste. Blisko powierzchni terenu występują też warstwy słaboprzepuszczalne, na co wskazuje zabagnienie dolin [57].

W holocenie w stropowej części osadów czwartorzędu w obniżeniach terenu naniesione zostały piaski, stanowiące obszary infiltracji wód opadowych, a w dolinach Białej i Czarnej Okszy utworzyły się torfy piaszczyste, zawierając nierozłożone części roślin, o miąższości rzędu 50 ÷ 80 cm [47, 57].

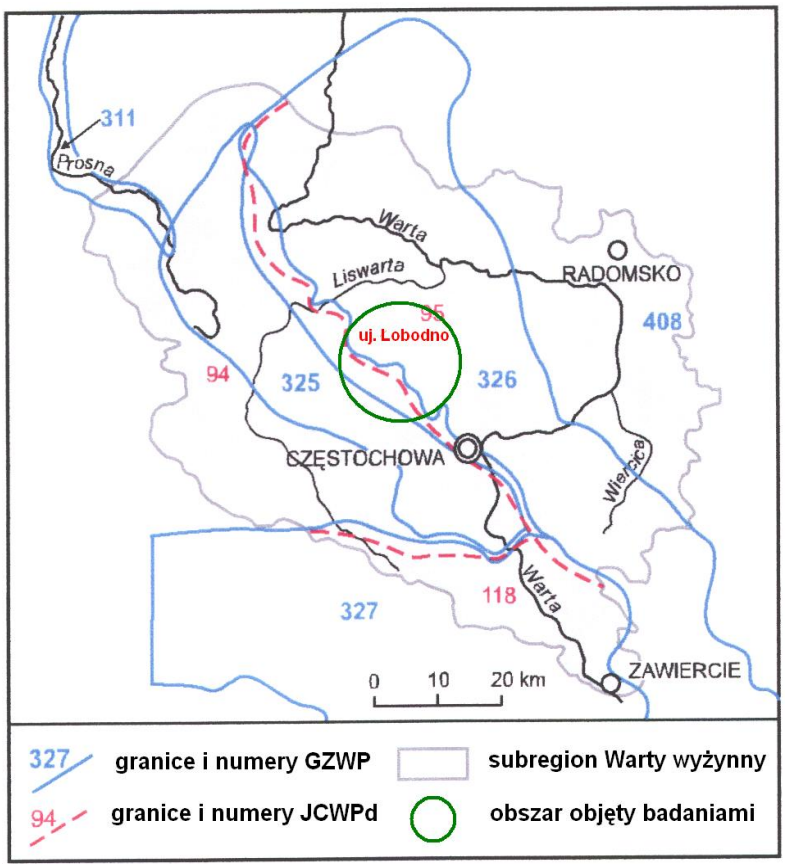
## 4.4. Warunki występowania wód podziemnych

Wody podziemne występują na terenie badań w dwóch piętrach wodonośnych: jurajskim i czwartorzędowym. Piętro jurajskie należy do wieluńsko – krakowskiego regionu hydrogeologicznego z głównymi poziomami użytkowymi w skałach mezozoicznych, a w jego zasięgu wyróżnia się [19, 46]:

- Podregion wieluński, z poziomem wodonośnym szczelinowo – porowym w piaskowcach i piaskach jury środkowej, który obejmuje zachodnią część gminy Kłobuck i tworzy GZWP 325. Poziom ten eksploatowany za pomocą jednej studni głębinowej o wydajności 110 $m^3$/h i głębokości 273 m, zlokalizowanej w Kłobucku, posiada naturalną izolację od zanieczyszczeń z powierzchni oraz od wód eksploatowanych przez ujęcie Łobodno – dlatego nie jest rozważany w tej pracy.
- Podregion krakowsko – częstochowski, z poziomem wodonośnym szczelinowo – krasowym w wapieniach jury górnej, który obejmuje wschodnią część gminy Kłobuck i całą gminę Miedźno oraz tworzy GZWP 326. Warunki hydrogeologiczne tego zbiornika w rejonie badań omówiono szczegółowo, gdyż czerpią z niego wodę studnie ujęcia Łobodno.

W obszarze badań zostały wydzielone dwie jednolite części wód podziemnych (JCWPd) o numerach: 94 i 95. JCWPd nr 94 obejmuje swym zasięgiem poziomy wodonośne jury dolnej i środkowej, natomiast JCWPd nr 95 tworzą poziomy wodonośne jury górnej,

których wody eksploatowane są przez ujęcie Łobodno. Położenie obszaru badań w stosunku do GZWP i JCWPd, wydzielonych w subregionie wyżynnym Warty przedstawia ryc. 8 [38].




**Ryc. 8.** Położenie obszaru badań w stosunku do GZWP i JCWPd, wydzielonych w subregionie wyżynnym Warty [38]

### 4.4.1. Czwartorzędowe piętro wodonośne

Chociaż czwartorzędowe piętro wodonośne występuje tylko lokalnie, a jego wartość użytkowa jest bardzo mała i nie ma znaczenia gospodarczego, to zostało opisane szczegółowo, ponieważ pozostaje w więzi hydraulicznej z poziomem jury górnej w obszarze zasilania niektórych studni ujęcia Łobodno oraz decyduje o zasilaniu górnojurajskiego poziomu wodonośnego. Czwartorzędowe piętro wodonośne jest związane z występowaniem osadów piaszczysto – żwirowych, a jego zasobność uzależniona jest od miąższości tych utworów. Często występuje w nim kilka lokalnych warstw wodonośnych zawieszonych na glinach zwałowych lub mułkach zastoiskowych, co uwarunkowane jest nieciągłością osadów plejstoceńskich. Zawodnione utwory czwartorzędowe o dużej przepuszczalności jak fluwioglacjalne piaski i żwiry nagromadzone są głównie w obniżeniach starszego podłoża,

przede wszystkim w dolinach kopalnych rzek Białej i Czarnej Okszy. W dolinie kopalnej Białej Okszy warstwę wodonośną stanowią piaski o zmiennej granulacji, dla których wartość współczynnika filtracji można przyjąć na poziomie 3,0 ÷ 5,0 × $10^{-5}$ m/s. Zwierciadło wody o charakterze swobodnym związane jest ściśle z poziomem wody w rzece, stanowiącej w tym rejonie podstawę drenażu [9, 32].

Zasilanie piętra czwartorzędowego w dolinach rzecznych następuje przez infiltrację opadów atmosferycznych i wód rzecznych, a także przez przelewanie się wód z poziomu górnojurajskiego. W obrębie wysoczyzn polodowcowych zwierciadło wody gruntowej kształtuje się na zmiennym poziomie w zależności od miąższości utworów piaszczysto – żwirowych oraz podścielających lub przedzielających je utworów gliniasto – ilastych. Wody tego poziomu występują na niewielkiej głębokości, począwszy od 0,5 m p.p.t. Dolny poziom zwierciadła wód gruntowych tego piętra nie przekracza zazwyczaj 5 m p.p.t. Zwierciadło wód czwartorzędowych jest swobodne, a kierunki odpływu podziemnego są uwarunkowane przebiegiem dolin rzecznych. Duża zmienność czwartorzędu jest przyczyną zróżnicowanej wodonośności tego piętra. Udział warstw przepuszczalnych jest zróżnicowany, a ich rozprzestrzenienie nieregularne. Występują przeważnie 1 ÷ 2 warstwy wodonośne. Utworami rozdzielającymi są słaboprzepuszczalne mułki, piaski gliniaste i gliny [9, 57].

Podścielającą warstwą izolującą zbiornik czwartorzędowy są gliny morenowe ze zlodowacenia środkowopolskiego oraz występujące nielicznie gliny zwietrzelinowe. Duża zmienność przestrzennego występowania utworów o różnym stopniu przepuszczalności utrudnia ocenę infiltracji wód opadowych oraz powoduje duże zróżnicowanie powiązań wód czwartorzędowych i jurajskich. Ocenę więzi hydraulicznej utrudnią ponadto nieregularne występowanie glin zwietrzelinowych w stropie wapieni jurajskich. W rejonie miejscowości Łobodno więź hydrauliczna jest na ogół silna [57].

Piętro czwartorzędowe ujmują głównie indywidualne studnie kopane. Jakość wód jest różna, często są to wody silnie zażelazione z podwyższonymi stężeniami manganu lub zawierają znaczne ilości azotu. Na niską jakość wpływa głównie chemizacja rolnictwa oraz zanieczyszczenie środowiska naturalnego z wielu niekontrolowanych składowisk odpadów gromadzonych w licznych piaskowniach, żwirowniach, łomach wapiennych, a nawet przydrożnych rowach [32].

### 4.4.2. Górnojurajski poziom wodonośny

W rejonie Łobodna występują wody szczelinowo - krasowe krążące w wapieniach górnojurajskich, głównie rozgałęzioną siecią drobnych spękań. Zasilanie górnojurajskiego poziomu wodonośnego odbywa się drogą infiltracji wód atmosferycznych poprzez warstwy czwartorzędowe, a następnie ich przesiąkanie do niżej leżących wapieni, bądź bezpośrednio przez przenikanie wód do szczelin w miejscach pozbawionych nadkładu osadów czwartorzędowych. Wody podziemne w obszarze badań zasilane są głównie przez wody opadowe [57]:

- zbierane na powierzchni leżącej na północny - zachód od kuesty górnojurajskiej (wychodnie jury górnej) i przedostające się w serie spękanych wapieni,
- infiltrujące z głęboko wciętych (od 30 ÷ 50 m) dolin czwartorzędowych wypełnionych piaskami i żwirami, którymi płyną Biała i Czarna Oksza, których górna obszerna część zlewni leży na obszarze wychodni iłów rudonośnych środkowej jury.

Na obszarze o przewadze utworów piaszczystych w czwartorzędzie woda opadowa może łatwo wsiąkać w grunt i osiągać strefę saturacji, ponieważ teren jest dość płaski, co utrudnia odpływ powierzchniowy.

Na zdecydowanie przeważającej części obszaru badań występują na powierzchni utwory piaszczyste. Teren przeważnie jest słabo urzeźbiony, w dużej części porośnięty lasami. W rejonie Miedźno - Ostrowy występuje szereg bezodpływowych zagłębień o krasowej genezie. Warunki infiltracji wód opadowych są więc na ogół korzystne. Tam gdzie przeważają utwory słabo przepuszczalne i infiltracja jest utrudniona, mogą tworzyć się lokalne zbiorowiska wody zawieszonej. Możliwość przesiąkania wody z czwartorzędu do wapieni komplikuje fakt, że w stropie malmu występują partie wapienia nie spękanego lub szczeliny wypełnione są materiałem ilastym. Pewna ilość wody dopływa, spoza obszaru występowania wapieni, w utworach czwartorzędowych głównie dolinami rzek. Istnieje duże prawdopodobieństwo infiltracji wód z rzek Białej i Czarnej Okszy na odcinkach w granicach lejów depresji ujęć Łobodno [57].

Izolacja między poziomami wodonośnymi: czwartorzędowym, a górnojurajskim nie jest ciągła i miejscami nieszczelna. Wykształcenie litologiczne i rozprzestrzenianie utworów czwartorzędowych jest bardzo zmienne, z tego względu trudno jest wydzielić strefy, w których na pewno występuje kontakt hydrauliczny, lub strefy gdzie dobrze przepuszczalne utwory czwartorzędowe izolowane są od górnojurajskich wapieni. W dolinie Białej Okszy

obserwuje się bezpośrednie kontaktowanie się wapieni z piaskami oraz wód piętra czwartorzędowego z poziomem górnojurajskim, co umożliwia mieszanie się infiltrujących zanieczyszczonych wód powierzchniowych z podziemnymi. Sytuacje, w których piaski bezpośrednio kontaktują się z wapieniami występują rzadko i tylko w takich przypadkach, gdy do doliny rzecznej przylegają kulminacje zbudowane z wapieni (głównie w zachodniej części Łobodna w rejonie wychodni wapieni). Można więc przyjąć, że między piętrem czwartorzędowym, a górnojurajskim poziomem wodonośnym istnieje, choć w różnym stopniu więź hydrauliczna, a zwierciadło wody obserwowane w studniach gospodarskich, zwłaszcza po dłuższych okresach bez opadów, jest wspólne [32, 57].

Na obszarze kontaktów wód czwartorzędowych i jurajskich następuje przepływ w dwu kierunkach, z czwartorzędu do jury i odwrotnie, w zależności od położenia stropu jury i stanów wód podziemnych. Dużą rolę w kontaktowaniu się wód różnych pięter odgrywają uskoki. Ich działanie może być dwojakiego rodzaju - mogą ułatwiać przepływ wód podziemnych bądź go ekranować. Kierunki spływu wód podziemnych uzależnione są od rzeźby terenu. Generalnie, wody spływają z kierunku północno - zachodniego zgodnie ze spadkiem terenu. Rzeki Biała i Czarna Oksza spełniają rolę rowów drenujących obszar zasilania ujęcia Łobodno. Naturalny kierunek przepływu wód podziemnych zakłócają studnie komunalnego ujęcia wody Łobodno drenujące poziom jury górnej [32].

Wodonośność górnojurajskiego poziom wodonośnego uzależniona jest od stopnia zaawansowania zjawisk krasowych i tektonicznych oraz warunków zasilania i drenażu. W wapieniach woda wypełnia bardzo skomplikowaną sieć szczelin tektonicznych i strukturalnych oraz różnego rodzaju pustki krasowe (kawerny, kanały itp.), nierównomiernie rozłożone w całym masywie. O możliwości przepływu w szczelinach oraz kanałach krasowych decyduje ich rozmiar, stopień wypełnienia i rodzaj materiału wypełniającego. W szczelinach nie wypełnionych materiałem skalnym lub wypełnionych piaskiem przepływ jest łatwy, w szczelinach wypełnionych materiałem ilastym utrudniony lub niemożliwy. Czynniki te sprawiają, że warunki hydrogeologiczne w wapieniach malmu są bardzo skomplikowane. Generalnie, system drożnych szczelin i kanałów krasowych jest na ogół dobrze rozwinięty, o czym świadczą wydatki studni i wysokie współczynniki filtracji. Jednak lokalnie, wapienie mają bardzo słabo rozwinięty system drożnych szczelin. Na ujęciu Łobodno z 11 odwierconych otworów tylko w 5 przypadkach uzyskano wydatki wystarczające, by uznać te otwory za pozytywne i ująć nawiercone warstwy wodonośne [9].

Główną serię wodonośną, dzięki silnemu spękaniu, stanowi seria wapieni płytowych. Jednak wody są tu bardziej rozproszone niż w masywnych wapieniach skalistych, gdzie

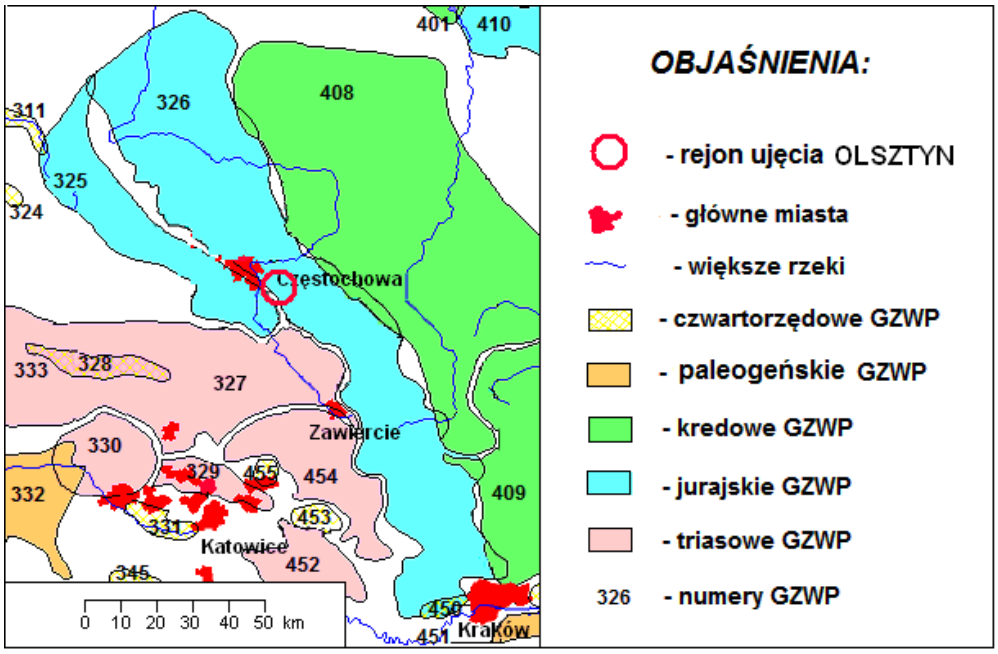
wprawdzie jest mniej szczelin, ale szerokość ich jest na ogół większa, umożliwiająca dopływ nimi większej ilości wody. W najwyższych częściach obszaru zwierciadło wód podziemnych górnojurajskiego poziomu ma charakter swobodny. W miarę oddalania się od kuesty pojawia się naporowe zwierciadło wody (wody subartezyjskie). Powodem naporu są różnice ciśnienia piezometrycznego wywołane występowaniem utworów izolujących. Zwierciadło wody w większości otworów hydrogeologicznych jest napięte. Warstwę napinającą stanowią gliny czwartorzędowe lub pozbawione szczelin wapienie [9, 57].

### 4.4.3. Główny Zbiornik Wód Podziemnych 326

GZWP 326, którego zasięg przedstawiono na ryc. 6 i 9 ma zasadnicze znaczenie w zaopatrzeniu odbiorców aglomeracji częstochowskiej, stanowiąc w skali kraju czwarty pod względem zasobów wodnych rezerwuar wód podziemnych, o zasobach dyspozycyjnych szacowanych na 1 020 000 $m^3$/d [19, 21]. Część zbiornika leżąca na północny – zachód od miasta Częstochowy: GZWP 326 N (na północ od rzeki Warty), posiada zatwierdzone zasoby eksploatacyjne w wysokości 8900 $m^3$/h, na udokumentowanej powierzchni około 570 $km^2$ i zasila między innymi grupowe ujęcie wody Łobodno *(11)*.

GZWP 326 jest zbiornikiem szczelinowo – krasowym o wodach charakteryzujących się bardzo dobrą jakością i należących najczęściej do I klasy jakości wg *„Klasyfikacji jakości zwykłych wód podziemnych dla potrzeb monitoringu”* – PIOŚ 1995 rok [58]. Szczegóły tej klasyfikacji określono w rozdziale 7.2.1. Ryc. 9 przedstawia położenie GZWP 326 w stosunku do sąsiednich zbiorników.

GZWP 326 wykazuje znaczną miąższość (5 ÷ 400 m), z tendencją wzrostu w kierunku północno – wschodnim. Jest to jednak zbiornik otwarty zasilany w znacznej mierze bezpośrednio poprzez wychodnie utworów jury górnej. Brak utworów izolujących od powierzchni sprzyja zasilaniu z infiltracji opadów atmosferycznych, a jednocześnie jest przyczyną zwiększonej podatności na przenikanie zanieczyszczeń. Zatem, mimo że na ogół występują tu wody wysokiej jakości, to lokalnie są one zanieczyszczone, głównie związkami azotu pochodzenia rolniczego, w stopniu obniżającym ich jakość i przydatność do spożycia. Obszary bardzo silnego i silnego zagrożenia wód podziemnych skutkiem pionowego przesiąkania zanieczyszczonych wód infiltrujących z powierzchni terenu stanowią około 50 % powierzchni zbiornika. Przy niewielkich nawet punktowych ogniskach zanieczyszczeń, najmniejsze zanieczyszczenie może być przyczyną długotrwałej degradacji wód podziemnych [19, 21].




**Ryc. 9.** Zasięg GZWP 326 na tle sąsiednich zbiorników wód podziemnych
[opracowano na podstawie mapy: *www.psh.gov.pl/gzwp*]

Na podstawie oceny potencjalnego zagrożenia wód GZWP 326 wydzielono [21]: Obszary (wymagające) Najwyższej Ochrony (ONO) oraz Obszary (wymagające) Wysokiej Ochrony (OWO). ONO obejmują obszary zasilania GZWP 326, w obrębie których powinny być wprowadzone nakazy, zakazy i ograniczenia (przepisy prawne) w zakresie zagospodarowania przestrzennego. OWO stanowią części zbiornika, w których istnieją lepsze niż w przypadku ONO naturalne warunki ochrony wód (izolacja od powierzchni) i powinny być stosowane zaostrzone kryteria w zakresie przestrzennego zagospodarowania i wykorzystania. Obszary ONO i OWO miały w założeniu zabezpieczać zasoby wód GZWP 326, jednak w praktyce powyższe zasady nie zostały do końca wprowadzone i nie są w pełni przestrzegane [30, 31].

GZWP 326 ma powierzchnię całkowitą 3257 km$^2$, z czego na ONO przypada 709 km$^2$, a na OWO 615 km$^2$. Cały obszar badań w obrębie występowania wapieni jury górnej stanowi obszar ONO [19, 21].

# 5. Charakterystyka ujęcia wody podziemnej Łobodno

## 5.1. Charakterystyka techniczna, strefy ochronne i podstawy prawne eksploatacji

Eksploatacja wód poziomu górnojurajskiego w rejonie badań wiąże się z podstawowym ujęciem komunalnym Łobodno. Ujęcie to zlokalizowane jest około 15 km na północny - zachód od Częstochowy (wsie: Łobodno i Kołaczkowice Duże). Administracyjnie ujęcie jest położone w gminie Kłobuck, w powiecie kłobuckim, w województwie śląskim. Stacja wodociągowa ujęcia składa się z następujących obiektów [56]:

- 5 studni głębinowych o numerach: S – 2, S – 3, S – 7, S – 8, S – 10,
- 2 zbiorniki technologiczne wody o pojemności 150 $m^3$ każdy,
- pompownia wody drugiego stopnia,
- stacja dozowania podchlorynu sodu (chlorownia).

Wymienione obiekty połączone są rurociągami wyposażonymi w armaturę odcinającą, zwrotną i pomiarową. W obudowach studni zainstalowane są wodomierze śrubowe oraz zasuwy odcinające. Podwodne agregaty pompowe w otworach studziennych załączane są zdalnie przez dyspozytora z pulpitu sterowniczego lub z komputera w dyspozytorni. Ich wydajność dostosowana jest do zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych ujęcia, warunków pozwolenia wodnoprawnego i innych dokumentacji techniczno – ruchowych [56]. Pompownia wody w stacji wodociągowej w Łobodnie za pomocą pomp drugiego stopnia podaje wcześniej zdezynfekowaną wodę do odbiorców w dwóch kierunkach:

- miasto Częstochowa,
- miasto i gmina Kłobuck oraz gmina Miedźno.

W celu obniżenia zwartości azotanów w wodzie podawanej do odbiorców na ujęciu Łobodno wody ze studni z ponadnormatywną zawartością azotanów miesza się z wodami z otworów o ich mniejszym stężeniu. Zabieg ten jest jednak coraz trudniejszy z uwagi na wzrost stężeń azotanów we wszystkich eksploatowanych studniach.

Łączne zasoby eksploatacyjne dla wielootworowego ujęcia wód podziemnych z utworów jury górnej w rejonie Łobodna ustalone przez Wojewodę Śląskiego Decyzją nr ŚR-V-7441/JK/25.2/05 z dnia 28.12.2005 roku wynoszą 820 $m^3$/h przy depresji w zakresie 0,7 ÷ 8,1 m (wg stanu na dzień 10.12.2005 roku) – *(12)*. Na mocy decyzji Wojewody Śląskiego (nr ŚR-I6811/JK/149/05) z dnia 17.01.2006 roku PWiKOCz otrzymało pozwolenie wodnoprawne na pobór wód podziemnych dla potrzeb komunalnych z ujęcia Łobodno

w ilości 820 $m^3$/h, z terminem ważności do 17.01.2026 roku *(13)*. Kluczowe znaczenie dla ujęcia mają studnie głębinowe, których zasoby eksploatacyjne równe wydatkom eksploatacyjnym przedstawiono w tabeli 2. Łączne ich zasoby eksploatacyjne (maksymalna wydajność eksploatacyjna) wynosi 820 $m^3$/h [11, 56].

**Tabela 2.** Zasoby (maksymalna wydajność eksploatacyjna) studni ujęcia Łobodno

| Numer studni | Zasoby eksploatacyjne (maksymalna wydajność eksploatacyjna) $Q_e$ [$m^3$/h] | Maks. wydajność eksploatacyjna $Q_e$ [$m^3$/d] | Max. wydajność eksploatacyjna $Q_e$ [$m^3$/rok] |
|---|---|---|---|
| S –2 | **205** | 4 920 | 1 795 800 |
| S –3 | **200** | 4 800 | 1 752 000 |
| S –7 | **75** | 1 800 | 657 000 |
| S –8 | **245** | 5 880 | 2 146 200 |
| S –10 | **95** | 2 280 | 832 200 |
| ∑ | **820** | 19 680 | 7 183 200 |

Obecnie zapotrzebowanie na wodę z ujęcia jest niewielkie i rzeczywisty pobór wód z ujęcia w latach 2007 ÷ 2008 wynosił zaledwie 16,2 % wartości określonej w pozwoleniu.

Do 10 września 2008 roku w rejonie ujęcia Łobodno obowiązywała strefa ochrony pośredniej ustanowiona Decyzją Wojewody Częstochowskiego z dnia 15.12.1997 roku *(14)*. Na jej terenie obowiązywały zakazy:

- wprowadzania ścieków nieczyszczonych do ziemi i wód powierzchniowych,
- rolniczego wykorzystania ścieków komunalnych,
- składowania odpadów komunalnych i przemysłowych,
- lokalizowania obiektów przemysłowych, produkcyjnych i uciążliwych i ferm zwierząt nie spełniających wymogów ochrony środowiska.

Poczynione obserwacje terenowe, a także wyniki badań laboratoryjnych i modelowych wskazały, że zakres wprowadzonych zakazów był niewystarczający dla właściwej ochrony wód w rejonie ujęcia, a zasięg obszaru strefy pośredniej należy zmodyfikować, dostosowując go do aktualnych wyników badań hydrodynamiki wód podziemnych i migracji azotanów, co korzystnie wpłynie na ochronę zasobów wodnych. W związku z tym przeprowadzono weryfikację granic strefy oraz obowiązujących w jej obrębie nakazów i ograniczeń, co szczegółowo udokumentowano [15] i opisano w rozdziale 9.4. W konsekwencji podjętych działań Rozporządzeniem Dyrektora Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Poznaniu z dnia 10 września 2008 roku *(15)* ustanowiono strefę ochrony pośredniej ujęcia Łobodno w zweryfikowanych granicach i z większą ilością obowiązujących w jej obrębie zakazów i ograniczeń.

Ujęcie Łobodno posiada także strefy ochrony bezpośredniej obejmujące tereny, na których zlokalizowane są studnie z urządzeniami związanymi z poborem wody wraz z przyległymi pasami gruntu. Zabezpieczają one strefy przyotworowe przed zanieczyszczeniem z powierzchni. Tereny stref bezpośrednich zabezpieczają trwałe ogrodzenia betonowe lub z siatki stalowej, a w ich w obrębie znajdują się asfaltowe lub betonowe drogi dojazdowe do obudowy studni i place manewrowe, a tereny niezagospodarowane zostały obsiane trawą. W widocznych miejscach zainstalowano tablice zawierające informacje o ujęciu wody i zakazie wstępu osób nieupoważnionych *(6, 7).* Na terenach stref ochrony bezpośredniej zabronione jest użytkowanie gruntów do celów niezwiązanych z eksploatacją ujęcia, a do obowiązków użytkownika należy *(2)*:

- odprowadzanie wód opadowych w sposób uniemożliwiający przedostawanie się ich do urządzeń służących do poboru wody,
- zagospodarowanie terenu zielenią,
- odprowadzanie poza granicę terenu ochrony bezpośredniej ścieków z urządzeń sanitarnych, przeznaczonych do użytku osób zatrudnionych przy obsłudze urządzeń służących do poboru wody,
- ograniczanie do niezbędnych potrzeb przebywania osób nie zatrudnionych przy obsłudze urządzeń służących do poboru wody.

## 5.2. Przegląd dotychczasowych prac i badań

Informacje hydrogeologiczne odnośnie eksploatowanego poziomu wodonośnego jury górnej pochodzą przede wszystkim z badań prowadzonych dla rozpoznania i udokumentowania zasobów wody oraz budowy ujęć wód podziemnych. Pierwsze prace związane z hydrogeologicznym rozpoznaniem rejonu Łobodna w 1958 roku prowadzone były w celu zaopatrzenia w wodę pitną miasta Kłobucka i dotyczyły wykonania 3 otworów badawczo-studziennych. Do 1966 roku odwiercono i przebadano jedynie otwór S - 2 oraz rozpoczęto głębienie otworu P – 1. W tym samym czasie opracowano „*Dokumentację hydrogeologiczną w kat. C wraz z projektem robót na ujęcie wód podziemnych w rejonie Łobodna”* [48], przy założeniu perspektywicznego zaopatrzenia w wodę centralnego wodociągu, obejmującego swym zasięgiem miasta: Częstochowa i Kłobuck oraz szereg mniejszych jednostek administracyjnych w tym rejonie. Potwierdzono wstępnie możliwość

uzyskania z tego rejonu wydajności rzędu 15 tys. $m^3$ /d oraz zaprojektowano wykonanie 7 otworów studziennych, rozmieszczonych wzdłuż linii o kierunku z południowego – wschodu na północny – zachód, od otworu P – 1 do wsi Kołaczkowice Duże, w odstępach po około 450 m. Stwierdzono bardzo zróżnicowane warunki hydrogeologiczne panujące w wapieniach górnojurajskich na badanym obszarze, o czym świadczą diametralnie różniące się wydatki jednostkowe odwierconych otworów, które wahają się od 0,2 ÷ 99 $m^3$/h/1 ms. Spośród 7 odwierconych otworów, 4 (P –1, nr 4, nr 5 i P – 6) z uwagi na bardzo mały wydatek jednostkowy uznano za negatywne [49]. Z pozostałych 3 otworów (S –2, S –3 oraz S –7) uzyskano łącznie 461,2 $m^3$/h (tj. 1108 $m^3$/d), a zatem około 73 % spodziewanej ilości wody. Poza tym znaczna odległość (około 3 km) studni S –7 od dwóch pozostałych otworów, stwarzała niekorzystne warunki eksploatacji grupowej. Program dalszych prac obejmował przeprowadzenie badań geofizycznych (elektrooporowych) w rejonie korzystnych otworów S – 2 i S – 3 oraz odwiercenie dwóch dodatkowych otworów badawczo - eksploatacyjnych i przeprowadzenie pompowań zespołowych. W 1968 roku wykonano następne 2 otwory: S – 8 oraz P – 9. W otworze S – 8 uzyskano bardzo dobre wyniki (wydatek jednostkowy ponad 30 $m^3$/h/1mS), natomiast otwór P – 9 uznano za negatywny z uwagi na niską wydajność. Przeprowadzone w 1968 roku pompowanie zespołowe otworów S – 2, S – 3, S – 8 i S – 7 potwierdziło, że w rejonie Łobodna z odwierconych otworów można uzyskać wydajność 804 $m^3$/h (tj. 19 269 $m^3$ /d), a zasoby eksploatacyjne ujęcia ustalono w „*Dokumentacji hydrogeologicznej w kategorii B wraz z projektem robót na ujęcie wód podziemnych w rejonie Łobodna"* [49]. W 1978 roku odwiercono w rejonie Łobodna, w pobliżu budowanej w tym czasie stacji pomp (na zachód od grupy otworów S – 2, S – 3 i S – 8), dodatkowy otwór studzienny S – 10, który miał pełnić rolę ujęcia awaryjnego.

W 1991 roku odwiercono kolejny otwór studzienny P – 11, z przeznaczeniem na zasilanie wodociągu wiejskiego w gminie Miedźno. Ze względu na niezadawalające ilości wody otwór uznano za negatywny, z przeznaczeniem do stacjonarnych obserwacji zwierciadła wody [13]. W „*Dokumentacji hydrogeologicznej zasobów wód podziemnych z utworów jury górnej na północ od miasta Częstochowy"* [9], udokumentowano zasoby eksploatacyjne północnej części GZWP 326 wynoszące 8900 $m^3$/h przy depresji 1 ÷ 15 m, wg stanu na dzień 30.06.1988 roku *(11).* Z opracowania wynika, że:

– GZWP 326 N ma znaczne rezerwy zasobów wodnych w stosunku do aktualnych i przewidywanych w przyszłości poborów,
– występuje systematyczny wzrost zawartości azotanów w studniach ujęć położonych na północ od miasta Częstochowy.

Ustalone w 1968 roku zasoby eksploatacyjne ujęcia Łobodno zostały zweryfikowane na podstawie pompowań pomiarowych wykonanych w 2005 roku na poziomie 820 $m^3$/h [11]. Ujęcie Łobodno eksploatowane jest obecnie na podstawie pozwolenia wodnoprawnego uzyskanego w oparciu o wykonany w 2005 roku „*Operat wodnoprawny – pobór wód podziemnych z jury górnej za pomocą ujęcia wielootworowego w rejonie miejscowości Łobodno”,* w ilości maksymalnej 820 $m^3$/h [56].

W 1982 roku opracowano ekspertyzę dotyczącą rozwoju leja depresyjnego wywołanego poborem wody z ujęcia Łobodno. W tym celu wykonana została inwentaryzacja studni gospodarskich położonych w obrębie przewidywanego oddziaływania. Wytypowano 20 studni stacjonarnych obserwacji. Interpretację wyników obserwacji, w nawiązaniu do wielkości poboru wody z ujęcia, opadów atmosferycznych oraz analizy miąższości i litologii czwartorzędu w obrębie obszaru oddziaływania ujęcia, przedstawiono w opracowaniu: „*Operat hydrogeologiczny dotyczący rozwoju leja depresyjnego wywołanego eksploatacją wody z ujęcia Łobodno*” [32].

W 1999 roku w związku z obserwowanym postępującym zanieczyszczeniem wód podziemnych azotanami w studniach m.in. ujęcia Łobodno wykonano symulacje modelowe hydrodynamiki wód podziemnych oraz migracji zanieczyszczeń, które wskazały ciągły wzrost stężenia azotanów w wodach ujmowanych przez studnie ujęcia Łobodno, jak i w całym modelowanym obszarze [50]. Oszacowano, że w rejonie ujęć położonych na północ od Częstochowy, zanieczyszczenia komunalne dostające się do wód podziemnych z powodu braku kanalizacji lub jej nieszczelności oraz wprowadzania nieoczyszczonych ścieków do ziemi i wód podziemnych, dostarczają około 73 % ładunku azotanów. Stwierdzono ponadto, że w związku z oddziaływaniem aglomeracji miejskich (Częstochowa, Kłobuck), z punktu widzenia wzrostu zawartości azotanów do najbardziej zagrożonych obecnie i w przyszłości należy ujęcie Łobodno [50, 51]. W związku z tym zalecono podjęcie prac projektowych, a następnie realizację i eksploatację sieci monitoringu osłonowego ujęć eksploatowanych przez PWiKOCz.

W 2005 roku przy wsparciu finansowym Komitetu Badań Naukowych w Warszawie opracowano w ramach projektu celowego zintegrowany system gospodarowania i ochrony (ZSGiO) zasobów wodnych GZWP 326 [30, 31]. W efekcie szeroko zakrojonych prac terenowych określono warunki hydrogeologiczne, hydrogeochemiczne i sozologiczne części zbiornika GZWP 326 będącej w eksploatacji PWIKOCz (w tym obszaru zasilania ujęcia Łobodno). Opracowano cyfrowe modele hydrodynamiki wód podziemnych i migracji zanieczyszczeń dla północnej części zbiornika

GZWP 326 (ujęcie Łobodno i Wierzchowisko). Wykazano m.in. szybszy wzrost stężenia azotanów o około 10 % niż przewidywano w roku 1999 [14, 16].

Opracowany ZSGiO zasobów wodnych GZWP 326 ma za zadanie umożliwić znacznie wcześniejsze wykrycie ewentualnych zagrożeń zanieczyszczeniem wód podziemnych, pozwalając tym samym na skuteczniejszą ochronę jakościową zasobów wód oraz ich efektywne zagospodarowanie. Obejmuje także wytyczne prowadzenia monitoringu wód podziemnych oraz zalecenia dotyczące kierunków zagospodarowania przestrzennego w rejonach zbiornika GZWP 326, szczególnie narażonych na zanieczyszczenia. ZSGiO zasobów wodnych GZWP 326 jest realizowany przez PWiKOCz od roku 2007.

# 6. Metodyka badań

## 6.1. Prac terenowe

Do lokalizacji wszelkich istotnych punktów badawczych, ognisk skażeń, danych geologicznych, hydrogeologicznych, hydrologicznych oraz sozologicznych stosowano systemem nawigacji satelitarnej (GPS).

W celu uzyskania aktualnych danych dotyczących jakości wody podziemnej w obszarze badań pobrano próby wody z otworów obserwacyjnych, studni kopanych i cieków powierzchniowych. Z istniejących otworów obserwacyjnych ujęcia Łobodno, ze ściśle określonych głębokości pobierano próby wody, za pomocą próbnika typu Kemmerer (ryc. 10). Próbnik umożliwia pobór próby wody w ilości około 1 $dm^3$ z pożądanej głębokości, gdyż zamykanie komory próbnika następuje przez opuszczenie na lince nośnej ciężarka tzw. posłańca. Próbnik posiada zawór upustowy do opróżniania komory w sposób kontrolowany.

**Ryc. 10.** Przyrządy do opróbowywania otworów obserwacyjnych i pomiarów położenia zwierciadła wody podziemnej

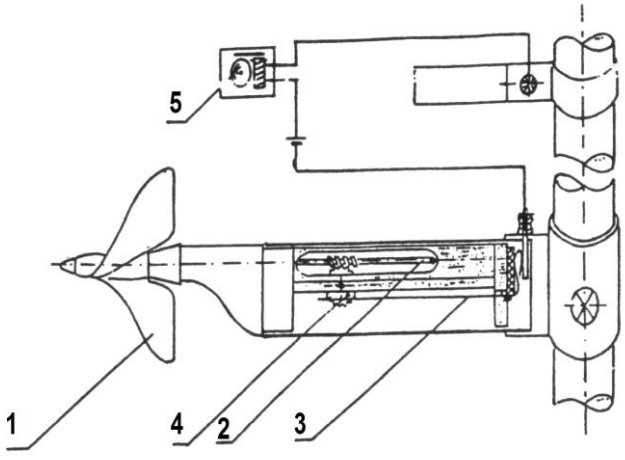
Ze studni kopanych oraz z cieków powierzchniowych próby wody pobierano do naczyń laboratoryjnych za pomocą czerpaka zawieszonego na lince. Pomiary zwierciadła wody podziemnej w studniach oraz w otworach obserwacyjnych wykonywano za pomocą czujnika elektrycznego, wyposażonego w taśmę mierniczą z sondą tzw. poziomowskazu geologicznego (ryc. 10). Pobrane próby dostarczano do Centralnego Laboratorium Badania Wody i Ścieków (CLBWiŚ), gdzie wykonywano analizy wody w zakresie określonym w tabeli 3.

**Tabela 3.** Analizowane wskaźniki i metodyka oznaczeń

| Oznaczany wskaźnik | Jednostka | Zastosowana metodyka |
|---|---|---|
| azotany | mg $NO_3/dm^3$ | PN-C-04576-08:1982 |
| azotyny | mg $NO_2/dm^3$ | PN – EN 26777: 1999 |
| amoniak | $N(NH_4)$ $/dm^3$ | PN – C – 04576 – 4: 1994 |
| chlorki | mg $Cl/dm^3$ | PN – ISO 9297: 1994 |
| siarczany | $SO_4/dm^3$ | PB - 41 wyd. 1 z dn. 21.02.2005 r. |
| chrom ogólny | mg $Cr/dm^3$ | PN-EN ISO 15586: 2005 |
| odczyn | pH | ---- |

Pomiary natężenia przepływów wody w ciekach powierzchniowych (rzeka Oksza i jej dopływ Bród) wykonano za pomocą uniwersalnego młynka hydrometrycznego typu OTT C31 z rejestratorem obrotów (ryc. 11 i 12). Przyrząd ten służył do punktowego pomiaru prędkości wody płynącej metodą „powierzchnia - prędkość" w korytach wodnych wymienionych cieków. Nadawał się on do pomiarów prędkości przepływu w granicach: 0,025 m/s ÷ 10 m/s. Młynek mógł być w różny sposób mocowany: jako młynek drążkowy lub pływakowy. Możliwość wykonywania pomiarów brodząc i z mostów umożliwił drążkowy sposób mocowania młynka. Zetknięcie trzpienia ze sprężynką zamyka obwód elektryczny, co powoduje przekazanie impulsu do rejestratora obrotów. Zetknięcie to następuje za każdym pełnym obrotem kółka zębatego, któremu odpowiada dokładnie określona liczba obrotów skrzydełek. Rejestrator określa ilość impulsów (obrotów) w jednostkach czasu.

**Ryc. 11.** Młynek hydrometryczny OTT C31 w mocowaniu drążkowym




**Ryc. 12.** Schemat młynka hydrometrycznego
1 – skrzydełka 2 – oś młynka
3 – sprężynka stykowa izolowana
4 – trzpień stykowy na kółku zębatym
5 – rejestrator obrotów

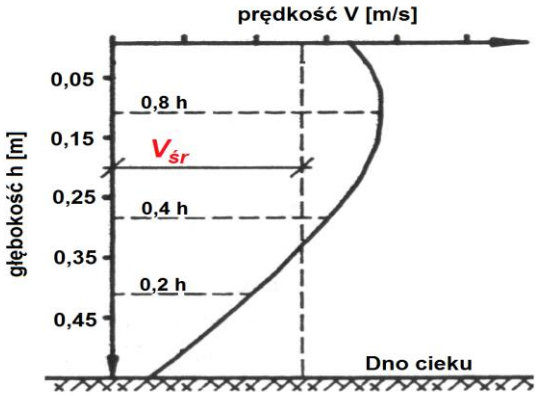
W celu uzyskania wartości prędkości przepływu niezbędnym było określenie powierzchni przekrojów w których mierzone były przepływy (profile hydrometryczne) oraz prędkości wody w punktach pomiarowych [6]. Prędkość wody jest funkcją prędkości obrotowej wirnika, która jest ilorazem zliczonej ilości obrotów i czasu wykonywania pomiaru. Określono ją z równania młynka:

$$V = \alpha + ß\, n \qquad (1)$$

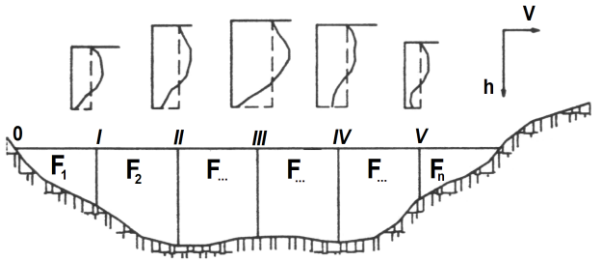
gdzie:

α i ß – współczynniki młynka określone w wyniku cechowania w kanale hydrometrycznym,
n – ilość obrotów młynka w jednostce czasu [obr./s].

Na podstawie pomierzonych w terenie prędkości przepływów w poszczególnych profilach za pomocą młynka hydrometrycznego. Służyły one do określenia tachoid – krzywych rozkładu prędkości w pionach (ryc. 13). Dzieląc pole tachoidy przez wysokość (h) otrzymywano średnią prędkość w pionie. Po wykreśleniu przekrojów poprzecznych z zaznaczeniem pionów hydrometrycznych (ryc. 14), w których dokonano punktowego pomiaru prędkości przepływu obliczano pola przekroju wydzielone tymi pionami $F_0$, $F_1$, $F_2$, ... $F_n$ oraz prędkości średnie w poszczególnych pionach hydrometrycznych w oparciu o tachoidy [61].




**Ryc. 13.** Zależność prędkości przepływu od głębokości (tachoida)




**Ryc. 14.** Przekrój poprzeczny koryta z pionami hydrometrycznymi

Przeciętne wartości prędkości średnich dla pól zawartych między pionami obliczano jako średnią arytmetyczną prędkości średnich w pionach ograniczających dane pole:

$$v_{sr\,I-II} = \frac{v_{sr\,I} + v_{sr\,II}}{2} \qquad (2)$$

Dla pól skrajnych średnia prędkości jest równa 2/3 prędkości w najbliższym pionie:

$$v_{0-I} = \frac{2}{3} v_I \tag{3}$$

Obliczenie objętości przepływu polegało na zsumowaniu iloczynów pól cząstkowych $F_i$ i prędkości średnich $v_i$:

$$Q = \sum_{i=1}^{n} F_i \, v_{sr\,i} \tag{4}$$

gdzie:

Q - natężenie przepływu [m /s],
$F_i$ - powierzchnie przekroju między pionami hydrometrycznymi [$m^2$],
$v_i$ - przeciętna wartość prędkości średnich w sąsiadujących pionach [m/s].

Zsumowanie iloczynów powierzchni cząstkowych i prędkości średnich dawało w rezultacie natężenie przepływu wody w rzece.

Obliczone wartości porównano z metodą obliczeń nie wymagającą kreślenia tachoid. Średnie prędkości w pionach hydrologicznych $v_{śr}$ obliczane były wg poniżej podanych wzorów:

– jeśli pomiar prędkości wykonano w 1 punkcie pionu hydrometrycznego:

$$v_{sr} = \alpha + \beta n_{0.4h} \tag{5}$$

– jeśli pomiar prędkości wykonano w 3 punktach pionu hydrometrycznego (ryc. 10):

$$v_{sr} = \alpha + 0.25\,\beta\left(n_{0.2h} + 2n_{0.4h} + n_{0.8h}\right) \tag{6}$$

Objętość przepływu w przekroju poprzecznym (ryc. 11) wyliczana była ze wzoru:

$$Q = \phi v_{sr_1} F_1 + v_{sr_2} F_2 + \ldots + v_{sr_{n-1}} F_{n-1} + \phi v_{sr_n} F_n \tag{7}$$

gdzie:

Q – przepływ [m /s],
$F_1, F_2, \ldots, F_n$ – powierzchnie zawarte między pionami hydrometrycznymi lub brzegiem, a pionem [$m^2$],
$v_{śr\,1}, v_{śr\,2}, \ldots, v_{śr\,n}$ – średnie prędkości w polach między pionami hydrometrycznymi [m/s],
$\phi$– współczynnik redukcyjny średniej prędkości w skrajnych polach czynnego przekroju [61].

W trakcie prac dokonano analizy dokumentacji oraz opracowań naukowych dotyczących budowy geologicznej, hydrogeologii i ochrony środowiska w obszarze zasilania ujęcia Łobodno. Znaczną ilość wykorzystanych materiałów stanowiły niepublikowane dokumentacje hydrogeologiczne, badania modelowe oraz operaty wodnoprawne, które wykonano głównie na zlecenie PWiKOCz. Spis wykorzystanych materiałów przedstawiono na końcu pracy. W dalszej kolejności dokonano przeglądu analiz fizykochemicznych pobranych prób wody z ujęcia Łobodno, pod kątem zawartości głównego analizowanego wskaźnika tj. azotanów ($NO_3$) oraz innych wskaźników wymienionych w tabeli 3.

Obliczone średnioroczne stężenia azotanów zestawiono w tabelach i zobrazowano na wykresach. Do obróbki uzyskanych wyników wykorzystano komputer klasy PC wraz z oprogramowaniem Microsoft Office (w szczególności pakiet Excel). Ilość wypompowanej wody z ujęcia Łobodno w latach 1979÷ 2009 przedstawiono w formie tabel i wykresów. Na podstawie uzyskanych wyników stężeń, wielkości eksploatacji z poszczególnych studni, w zestawieniu z warunkami hydrogeologicznymi ujęcia i wynikami badań hydrologicznych i modelowych określono działania jakie należy podjąć, aby jakość wody dostarczanej do odbiorców odpowiadała wartościom normatywnym bez potrzeby jej uzdatniania.

Niezbędnym elementem prawidłowego wyznaczenia granic stref ochrony pośredniej oraz opracowania zasad racjonalnego gospodarowania powierzchnią w ich granicach było kartowanie hydrogeologiczno – sozologiczne na obszarze OSW.

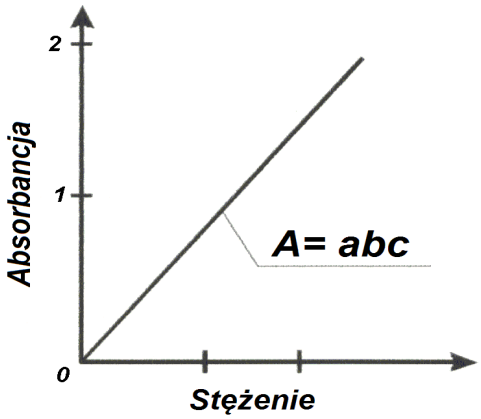
## 6.2. Badania laboratoryjne

Własności fizyko - chemiczne wód określono w oparciu o dane Centralnego Laboratorium Badania Wody i Ścieków (CLBWiŚ), które prowadzi systematyczne opróbowanie (minimum 1 raz w miesiącu) czynnych studni ujęcia Łobodno. Badaniu podlega także woda w zbiornikach wody surowej na terenie stacji pomp w Łobodnie oraz podawana do odbiorców (w każdy dzień roboczy). W trakcie prac wykorzystano analizy fizykochemiczne wód podziemnych z lat 1979 ÷ 2009. Do oznaczeń wykorzystano m. in.: spektrometr absorpcji atomowej AVANTA TM firmy GBC, fotometr EPOLL – 20, spektrofotometr UV-VIS CINTRA firmy GBC (ryc. 15). Analizowane wskaźniki i zastosowaną metodykę badań przedstawiono w tabeli 3. Na badania wymienionych wskaźników CLBWiŚ posiada akredytację Polskiego Centrum Akredytacji (Certyfikat Akredytacji nr AB 739).

Podstawowym oznaczanym wskaźnikiem zanieczyszczenia wód podziemnych były azotany ($NO_3$). Wskaźnik ten jest formą wyrażania sumarycznego stężenia azotu pięciododatniego (+5), występującego najpowszechniej w wodach podziemnych. Obejmuje on wszystkie organiczne i nieorganiczne rozpuszczone związki azotu na +5 stopniu utlenienia. Podawane w wynikach analiz stężenie jonów azotanowych (+5) jest odnoszone do całego jonu $NO_3^-$. Oznaczenie odbywało się metodą spektrofotometryczną – VIS, wg normy PN-C-04576-08:1982. Ogólnie metoda ta składa się z dwóch faz: chemicznej i optycznej. Faza chemiczna polega się na przeprowadzeniu oznaczanego składnika w substancję barwną. Faza optyczna stanowi pomiar stężenia analizowanej substancji, oparty na

absorpcji światła o określonej długości fali, przechodzącego przez zabarwioną próbkę wody [17].

**Ryc. 15.** Spektrofotometr UV / VIS i fotometr – wyposażenie CLBWiŚ




**Ryc. 16.** Zależność absorbancji od stężenia

Wielkość absorpcji jest proporcjonalna do stężenia oznaczanej substancji barwnej (ryc.16). Intensywność barwy porównuje się wizualnie ze skalą wzorców w komparatorze lub mierzy się absorpcję światła o określonej długości fali. Miarą absorpcji światła jest ekstynkcja (E), nazywana także absorbancją (A), która jest wielkością fotometryczną opisującą osłabienie strumienia promieniowania monochromatycznego [17]:

$$A = E = \lg (100/T) = \log (P_0/P) = abc \qquad (8)$$

gdzie:

T – transmitancja (przepuszczalność od 0 do 100 %),
$P_0$ – natężenie promieniowania przed próbką ($P_0$ mierzy się przepuszczając światło przez próbkę zerową nie zawierającą oznaczanego składnika),
P – natężenie promieniowania po przejściu przez badaną próbkę,
a – molowy współczynnik absorpcji [$dm^3$/(mol cm)],
b – grubość warstwy cieczy (badanej próbki) [cm],
c – stężenie molowe oznaczanego wskaźnika.

Podczas oznaczania azotanów faza chemiczna polega na reakcji jonów azotanowych ($NO_3$) z salicylanem sodowym, w środowisku stężonego kwasu siarkowego. W reakcji tej powstaje kwas nitrosalicylowy, który po zalkalizowaniu przechodzi w formę zjonizowaną o intensywnie żółtym zabarwieniu, będącą podstawą oznaczania zawartości azotanów metodą spektrofotometryczną. Zawartość azotanów (jonów $NO_3$) oznacza się przy długości fali 410 nm. Metoda pozwala oznaczyć azotany powyżej 0,1 mg $NO_3/dm^3$, a jej dokładność wynosi ± 5 % [17].

## 6.3. Badania modelowe

W oparciu o materiały archiwalne dotyczące budowy geologicznej i warunków hydrologicznych i hydrogeologicznych obszaru, zbudowano model matematyczny dynamiki wód podziemnych rejonu ujęcia Łobodno. Na podstawie analiz chemicznych ze studni ujęcia i modelu dynamiki realizowano obliczenia migracji i transportu zanieczyszczeń w warstwie wodonośnej [52]. Model dynamiki realizowany był programem Visual Modflow, natomiast model migracji zanieczyszczeń programem MT3D, bazującym na rozwiązaniach dynamiki z programu Visual Modflow. Celem badań modelowych było określenie stężeń azotanów w wodach podziemnych w rejonie ujęcia Łobodno dla różnych wariantów eksploatacji. Dostępność metod modelowania matematycznego umożliwiła dla ujęcia wody Łobodno stworzenie modelu i opracowanie:

- wiarygodnych siatek hydrodynamicznych (linii prądu i hydroizohips),
- granic obszaru spływu wód do ujęcia (OSW) w warunkach maksymalnie dopuszczalnych wielkości eksploatacji wód (tj. 820 $m^3$/h),
- map z izoliniami czasu dopływu wody do poszczególnych studni, będącego sumą czasu przesączania się wód opadowych i czasy przepływu wód w warstwie wodonośnej,
- granic terenów ochrony pośredniej, z uwzględnieniem specyfiki ujęcia oraz warunków hydrogeologicznych jego otoczenia.

Migrację azotanów w strefie aeracji w przybliżeniu oceniono na podstawie oszacowanej infiltracji i przeciętnych wartościach wilgotności objętościowej gruntów strefy aeracji na podstawie nomogramów. Czas migracji lateralnej oceniono na podstawie obliczeń analitycznych i modelowania, dzięki znajomości przybliżonych prędkości wód podziemnych i dróg migracji. Emisję azotanów do wód podziemnych oceniano stosując badania empiryczne i programy komputerowe. Z przeglądu badań empirycznych wynika, że chcąc ocenić przybliżone stężenie azotu w płytkich wodach można w wielu przypadkach posługiwać się regułą, iż stężenie w wodzie w mg $NO_3$/$dm^3$ jest cyfrowo równe 1/10 użycia nawozów azotowych wyrażonego w kg N/ha. W ostatnim dziesięcioleciu zużycie nawozów azotowych w Polsce wynosiło 60 ÷ 70 kg N/ha [17, 18].

Na wykorzystanie w pracy wyników badań laboratoryjnych i zleconych opracowań naukowych autor (pracownik PWiKOCz) uzyskał zgodę pracodawcy.

# 7. Opracowanie wyników badań terenowych i laboratoryjnych

## 7.1. Badania terenowe

### 7.1.1. Warunki sozologiczne

Otwory wchodzące w skład wielootworowego ujęcia Łobodno zlokalizowano poza częściami zabudowanymi miejscowości Łobodno i Kołaczkowic, tylko strefa ochrony bezpośredniej studni S – 8 znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie zabudowań Łobodna. Jednak wyznaczony OSW do ujęcia stanowiący jego obszar zasobowy (OZ), a także wyznaczona w obszarze badań granica strefy ochrony pośredniej ujęcia obejmuje swym zasięgiem całą miejscowość Łobodno i północno – zachodnią część Kłobucka. W związku z tym stan środowiska w obrębie całego obszaru objętego badaniami ma wpływ na jakość ujmowanych wód podziemnych [11, 12].

Na Mapie dokumentacyjnej (załącznik 1) przedstawiono lokalizację obiektów uciążliwych dla wód podziemnych. Są to między innymi zakłady produkcji rolnej i zwierzęcej, będące potencjalnymi źródłami zanieczyszczeń wód związkami azotu, oraz tereny przemysłowe i obiekty gospodarki paliwami (stacje paliw, zbiorniki na paliwo itp.). Potencjalnymi ogniskami zanieczyszczeń są także drogi i linia kolejowa relacji Katowice - Gdynia. Na linii spływu wód podziemnych z kierunku Kłobucka znajduje się biologiczno – mechaniczna oczyszczalnia ścieków wraz z wybudowaną w 1997 roku stacją odwadniania osadów. Jej uruchomienie wraz ze skanalizowaniem Kłobucka i Łobodna przyczyniło się do polepszenia jakości wód poziomu górnojurajskiego. Oczyszczalnia zrzuca oczyszczone ścieki do odbiornika (Biała Oksza), który w tym przypadku może stanowić wtórne ognisko zanieczyszczenia wód podziemnych. Może mieć to związek z podwyższonymi zawartości azotanów w wodzie pobieranej ze studni S – 8 i S – 3, zlokalizowanymi najbliżej Białej Okszy. Poza terenem miasta Kłobucka i miejscowości Łobodno na obszarze gminy praktycznie nie występuje sieć kanalizacyjna. Na terenie sołectw najpowszechniejszym sposobem utylizacji ścieków są osadniki bezodpływowe oraz nieliczne systemy odprowadzania ścieków przez osadniki. Często ścieki nie są oczyszczane i w postaci surowej, bądź przegniłej trafiają do gruntu lub cieków wodnych. Powoduje to zagrożenie dla

zalegających stosunkowo płytko wód podziemnych piętra czwartorzędowego i poziomu górnojurajskiego. Ogniskami skażeń są także:

- niekontrolowane wysypiska odpadów zlokalizowane w wyrobiskach po eksploatacji kamienia wapiennego lub piasku, w których istnieje duże niebezpieczeństwo łatwej migracji odcieków z wysypiska (ryc. 17 i 18),
- nawozy organiczne deponowane na terenach gospodarstw i polach, często w otoczeniu stref ochrony bezpośredniej studni głębinowych,
- nielegalne punkty zlewne gnojowicy znajdujące w pobliżu studni,
- pryzmy obornikowe zlokalizowane na polach w pobliżu studni: S – 2, S – 3 i S – 8 oraz na terenie fermy drobiu w Smugach (na zachód od drogi Częstochowa – Działoszyn) – ryc. 17.

**Ryc. 17.** Niekontrolowane składowisko odpadów w wyrobisku po eksploatacji piasku w odległości około 300 na północny - wschód od Łobodna

**Ryc. 18.** Niekontrolowane składowisko w wyrobisku po eksploatacji wapienia w Górze Katarowa

W lutym i marcu 2004 roku w miejscowości Łobodno oraz na terenie sąsiadującym ze studniami eksploatacyjnymi przeprowadzono szczegółową obserwację gospodarki rolnej i ściekowej. Teren Łobodna był wówczas obszarem nieskanalizowanym, ale posiadających wodociągi (kanalizację oddano do użytku w 2006 roku). Obserwacja wykazała że:

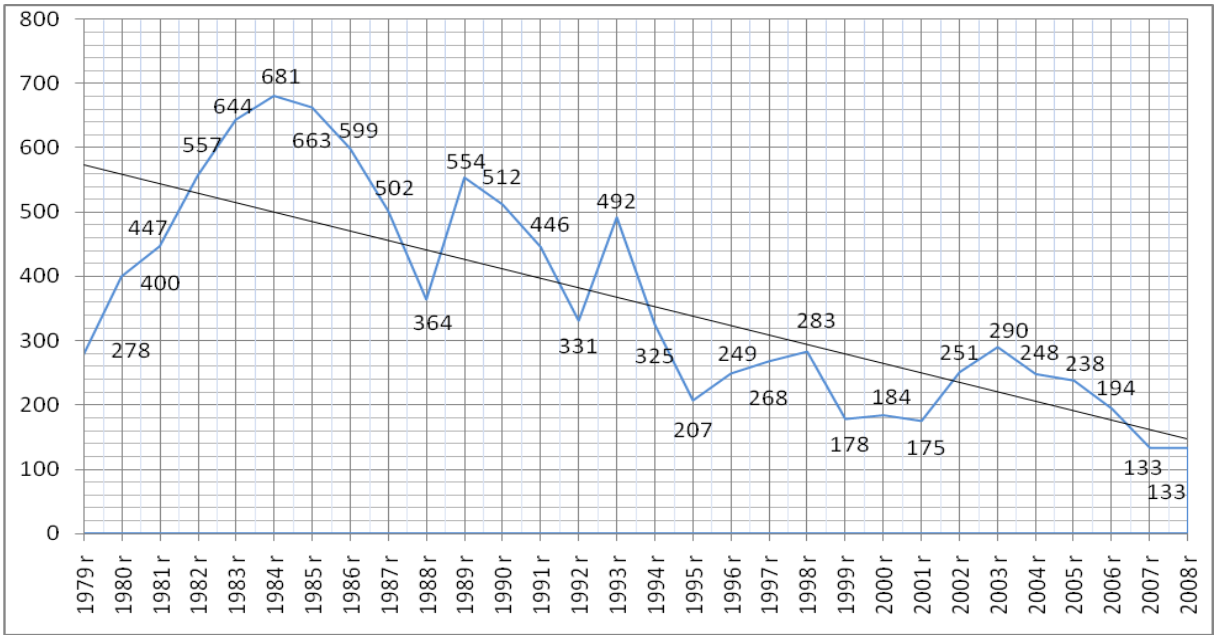
- głównym ogniskiem zanieczyszczeń są ścieki bytowe gromadzone w zbiornikach, przy czym infiltracja do warstwy wodonośnej zachodzi przede wszystkim poprzez nieszczelności zbiorników oraz infiltrację z miejsc ich wylewania (tj. z łąk i pól), co potwierdziły wyniki badań fizykochemicznych prób wody pobranych ze studni kopanych (por. rozdz. 7.2.2., tabela 11),

- na terenach wiejskich podłączonych do wodociągu następuje wzrost ilości ścieków gospodarczych, które praktycznie nie są oczyszczane (z rejonu Łobodna tylko 2 % ogółu pobranej wody z wodociągu trafiało do oczyszczalni ścieków),
- obecność ponadnormatywnych zawartości ładunków $NO_3$ na ujęciu Łobodno związana jest z dwoma głównymi ogniskami zanieczyszczeń (obszar zabudowy Kłobucka i Łobodna) oraz kilkoma punktowymi ogniskami lokalnymi,
- główny problem związany z zanieczyszczeniem wód azotanami stanowi brak sieci kanalizacyjnej na terenach zurbanizowanych oraz rolnictwo.

**Ryc. 19.** Pryzmy słomy i obornika gromadzone w pobliżu studni ujęcia Łobodno

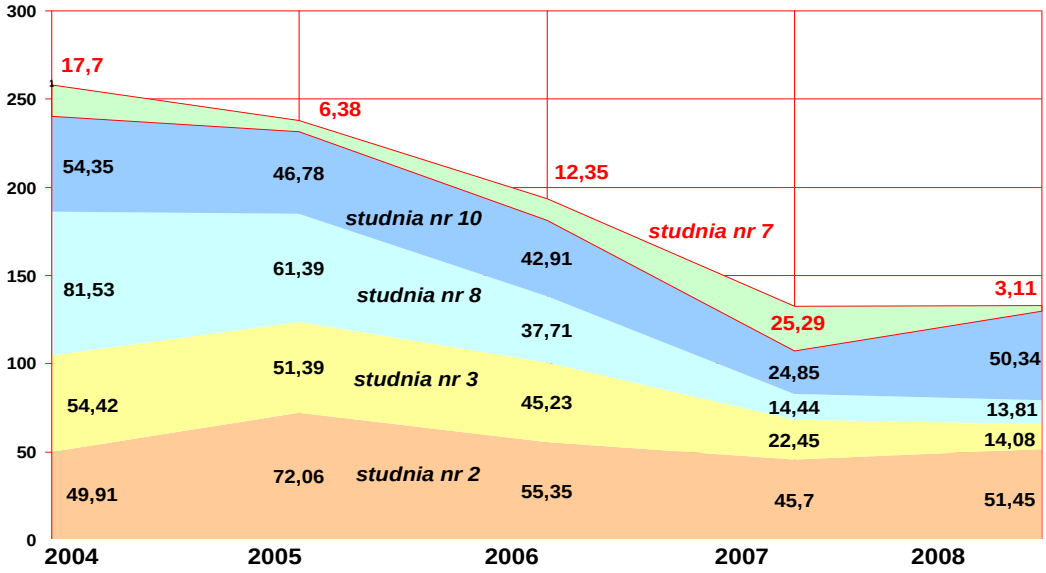
### 7.1.2. Analiza wielkości poboru wody z ujęcia Łobodno

Całkowite ilości wody pobieranej z ujęcia Łobodno w latach 1979 ÷ 2008 przedstawiono na ryc. 20. Początkowo eksploatacja ujęcia prowadzona była z wydajnością wzrastającą od 6,7 $m^3$/d w roku 1979 do ponad 16,3 tys. $m^3$/d w roku 1984 (stwierdzona maksymalna produkcja ujęcia). Od 1985 roku wystąpił spadek poboru wody do 8,7 tys. $m^3$/d w roku 1988, po czym znaczny wzrost do 13,3 tys. $m^3$/d (1989), a następnie ponowny spadek do wartości 7,9 tys. $m^3$/d w 1992 roku. W roku 1993 pobór wody wyniósł 11,8 tys. $m^3$/d, a do roku 2006 wahał się w granicach od 7,8 (1994) do 4,2 (2001). W latach 2007 ÷ 2008 stwierdzono minimalną wydajność ujęcia wynoszącą 3,2 tys. $m^3$/d, co stanowiło zaledwie 16,2 % zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych ujęcia. Na ryc. 20 zaznaczono również spadkowy trend poboru wody.




**Ryc. 20**. Pobór wody przez studnie ujęcia Łobodno w latach 1979 ÷ 2008 (w przeliczeniu na pobór średnioroczny, w $m^3/h$)

Udział poszczególnych studni w poborze wód w latach 2004 ÷ 2008 obrazuje ryc. 21. Najmniej wody w latach 2004 ÷ 2008, ze wszystkich studni ujęcia pobierała studnia S – 7: najintensywniej eksploatowano ją w roku 2007 (średnia roczna – 25,29 $m^3/h$), natomiast najmniej wody pobrano w roku 2008 (średnia roczna – 3,11 $m^3/h$). Eksploatacja tej studni, z uwagi na niewielką zawartość azotanów w stosunku do innych studni ujęcia, ma bezpośredni i istotny wpływ na ich stężenie w wodzie dostarczanej do odbiorców. I tak w roku 2007 stężenie azotanów w wodzie wychodzącej do odbiorców z ujęcia w Łobodnie (por. ryc. 25 i załącznik 3) wynosiło 34,36 mg $NO_3/dm^3$ i było zdecydowanie najmniejsze w rozpatrywanym okresie. Podobne stężenia azotanów w wodzie podawanej do odbiorców obserwowano w roku 2000 i w latach wcześniejszych. Z kolei, w roku 2008 (tj. w okresie gdy studnię S – 7 eksploatowano sporadycznie w związku z brakiem ścisłych wytycznych odnośnie sposobów sterowania pracą poszczególnych studni), stężenie azotanów było znacznie wyższe i wynosiło 43,96 mg $NO_3/dm^3$**.** Wskazuje to na kluczowe znaczenie studni S – 7 jeśli chodzi o obniżanie ładunku azotanów w wodzie dostarczanej do odbiorców z tego ujęcia.




**Ryc. 21**. Pobór wody przez studnie ujęcia Łobodno w latach 2004 ÷ 2008 (w przeliczeniu na pobór średnioroczny, w $m^3/h$)

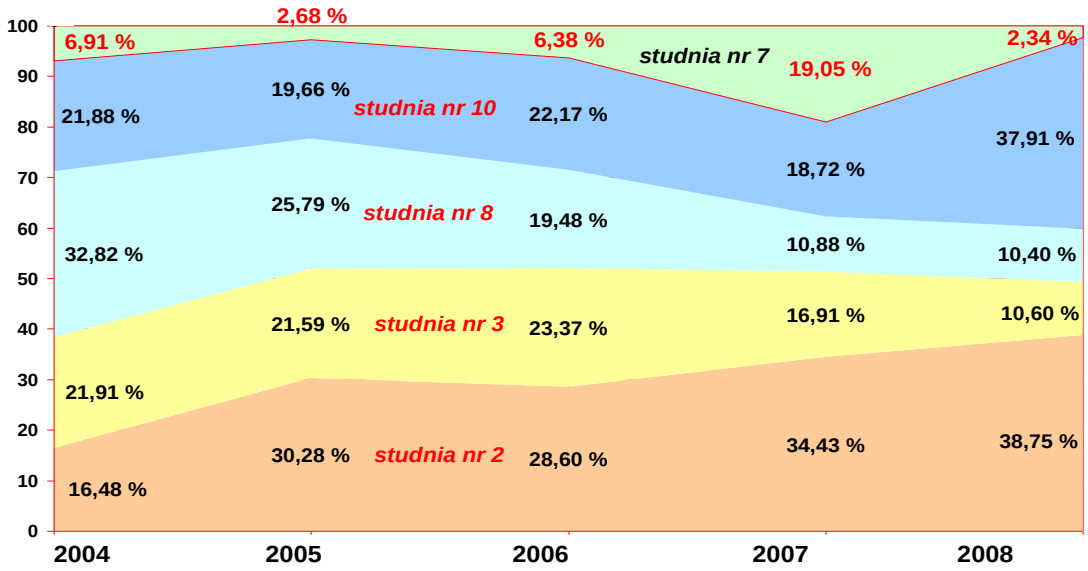
Pobór wody ze studni S – 3 i S – 8 w rozpatrywanym okresie (2004 ÷ 2008) stopniowo ograniczano kosztem zwiększania wydatków studni S – 2 i S – 10. Takie działanie podyktowane było dążeniem do ograniczenia do minimum czasu eksploatacji studni, w których stwierdza się ponadnormatywne zawartości związków azotu (S – 3 i S – 8). W efekcie tych zabiegów zwiększono czas pracy tych studni, w których zawartości azotanów są znacznie mniejsze (S – 2 i S – 10).

Stosunki ilościowe wydatków poszczególnych studni ujęcia w latach 2004 ÷ 2008 ilustruje ryc. 22:

- Studnia S – 7 eksploatowana była z dużą zmiennością – jej udział w łącznym poborze wód z ujęcia wahał się od 2,34 % do 19,05 %. Wyniki wskazują jednoznacznie, że im większy jest jej udział w poborze wód, tym stężenie azotanów w wodzie dostarczanej do odbiorców jest mniejsze. Wielkość poboru wody z tej studni ograniczona jest jednak jej wydajnością eksploatacyjną, która wynosi 75 $m^3/h$ (por. tab. 2). Z wykresów (ryc. 21 i 22) wynika, że w roku 2007 (w którym pobór wody był największy), wykorzystano zaledwie 1/3 zdolności produkcyjnej tej studni. Dowodzi to, że S – 7 posiada jeszcze znaczne rezerwy zasobowe, które należy wykorzystywać w przyszłości, w celu minimalizacji łącznego ładunku azotanów ($NO_3$) wynoszonego ze studni ujęcia Łobodno.
- Udział studni S – 3 i S – 8, których wody mają ponadnormatywną zawartość azotanów, był w łącznym poborze wody z ujęcia obniżony: S – 3 z 21,91 % (2004), do 10,60 % (2008) oraz S – 8 z 32,82 % (2004) do 10,40 % (2008).

– Udział studni S – 2 i S – 10, których wody mają zawartość azotanów poniżej wartości dopuszczalnej, był w łącznym poborze wody z ujęcia zwiększony: S – 2 z 16,48 % (2004) do 38,75 % (2008) oraz S – 10 z 21,88 % (2004) do 37,91 % (2008).

W latach 2002 ÷ 2003, gdy nie ograniczano poboru wód ze studni S – 3 i S – 8, stężenie azotanów w wodzie podawanej do odbiorców osiągało alarmujące wartości, odpowiednio: 48,27 i 47,26 mg $NO_3/dm^3$. Jednak w wyniku mieszania pobieranych wód z poszczególnych studni ujęcia, udało się ograniczyć stężenie azotanów w wodzie podawanej do odbiorców do poziomu 43,96 ÷ 34,36 mg $NO_3/dm^3$.




**Ryc. 22**. Procentowy udział studni ujęcia Łobodno w poborze rocznym w latach 2004 ÷ 2008

### 7.1.3. Analiza warunków hydrogeologicznych ujęcia Łobodno

Ujęcie Łobodno ma bardzo zróżnicowane warunki hydrogeologiczne (tabela 4), co przejawia się dużym zróżnicowaniem parametrów hydrogeologicznych stwierdzonych w czasie pompowań badawczych poszczególnych otworów. Z 12 odwierconych w rejonie Łobodna otworów hydrogeologicznych, tylko w 5 były wystarczające wydatki jednostkowe, by uznać te otwory za pozytywne i wybudować studnie eksploatacyjne ujęcia.

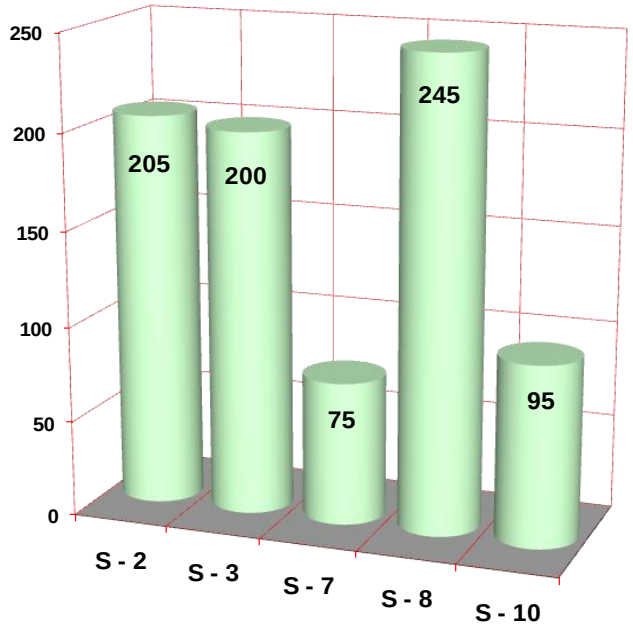
**Tabela 4**. Zestawienie parametrów hydrogeologicznych poszczególnych studni ujęcia Łobodno

| **Numer otworu** | Zasoby eksploatacyjne (maksymalna wydajność eksploatacyjna) **$Q_e$ [$m^3$/h]** | Depresja eksploatacyjna **$S_e$ [m]** | Wydatek jednostkowy przy wydajności eksploatacyjnej **q [$m^3$/h/1mS]** | Współczynnik filtracji **k [m/s]** | Promień leja depresji **R [m]** |
|---|---|---|---|---|---|
| **S – 2** | **205,0** | **8,07** | 25,40 | $1{,}18 \times 10^{-4}$ | 270 |
| **S –3** | **200,0** | **0,74** | 270,27 | $5{,}28 \times 10^{-4}$ | 50 |
| **S –7** | **75,0** | **6,53** | 11,48 | $4{,}07 \times 10^{-5}$ | 130 |
| **S –8** | **245,0** | **3,06** | 80,06 | $5{,}22 \times 10^{-4}$ | 215 |
| **S –10** | **95,0** | **1,68** | 56,55 | $1{,}39 \times 10^{-4}$ | 60 |
| ∑ | **820** | **4,02** | ——— | ——— | ——— |

W trakcie pompowań badawczych wykonanych w 2005 roku [11] w studniach ujęcia najwyższe wydajności eksploatacyjne stwierdzono w: S – 8 (245 $m^3$/h), S – 2 (205 $m^3$/h) i S – 3 (200 $m^3$/h), a najniższe w: S – 7 (75 $m^3$/h) i S – 10 (90 $m^3$/h). Wydatki jednostkowe poszczególnych studni eksploatacyjnych były zróżnicowane: od 11,48 $m^3$/h/mS (S – 7), do 270,27 $m^3$/h/mS (S – 3). Współczynniki filtracji były również zróżnicowane: najlepsze warunki filtracji stwierdzono w studni S – 3, gdzie $k = 5{,}28 \times 10^{-4}$ m/s oraz S – 8, dla której $k = 5{,}22 \times 10^{-4}$ m/s, a najgorsze w studniach: S – 2 ($k = 1{,}18 \times 10^{-4}$ m/s) oraz S – 7 ($k = 4{,}07 \times 10^{-5}$ m/s). Depresje eksploatacyjne studni, przy ich pracy z wydajnościami eksploatacyjnymi wynosiły: od 0,74 m (S – 3) do 8,07 m (S – 2). Teoretyczne leje depresji

w warstwie wodonośnej o charakterze szczelinowo – krasowym daleko odbiegają od rzeczywistych zasięgów oddziaływania poszczególnych studni, ale potwierdzają, że najlepsze warunki filtracji panują w strefie przyotworowej studni S – 3, gdzie jest on najmniejszy (R = 50), natomiast najgorsze w strefie przyotworowej studni S – 2, gdzie jest on największy (R = 270 m).

Z wykresu wydajności eksploatacyjnych studni ujęcia Łobodno (ryc. 23) wg udokumentowanego stanu na dzień 10.12.2005 wynika, że największe ilości wody w czasie jednej godziny pompowania można pozyskać ze studni S – 8 (245 $m^3$/h), S – 2 (205 $m^3$/h) oraz S – 3 (200 $m^3$/h). Niestety, woda z 2 spośród nich (S – 3 i S – 8) miała ponadnormatywną zawartość azotanów i dlatego nie można ich eksploatować samodzielnie.




**Ryc. 23.** Wydajności eksploatacyjne (w $m^3$/h) studni ujęcia Łobodna (2005 r.)

Najmniejszy wydatek miały studnie S – 7 (75 $m^3$/h) i S – 10 (95 $m^3$/h), przy czym wody tej pierwszej charakteryzuje bardzo niska zawartość azotanów ($NO_3$). Woda ta odgrywa zasadniczą rolę przy mieszaniu z wodami z innych pracujących studni ujęcia, powodując obniżenie stężenia azotanów i w efekcie podawanie do odbiorców wody spełniającej wymagania. Jednak możliwości te ogranicza (szczególnie w okresach wzmożonych rozbiorów) niewielka wydajność eksploatacyjna studni S – 7.

Dane dotyczące wykształcenia litologicznego i stratygrafii warstw skalnych oraz nawierconych horyzontów wodonośnych w poszczególnych studniach ujęcia Łobodno przedstawiono w tabeli 5.

**Tabela 5**. Zestawienie danych geologicznych eksploatowanych studni ujęcia Łobodno

| Numer eksploatowanej studni | Głębokość [m] | Rzędna terenu / rzędna kryzy rury pomiarowej [m. n.p.m.] | Nawiercona miąższość czwartorzędu (nadkładu) [m] | Nawiercona miąższość: warstwy wodonośnej/ /utworów podłoża [m] | Miąższość głównych poziomów glin i innych utworów słaboprzepu - szczalnych w czwartorzędzie [m] | Zwierciadło wody poziomu $J_3$ ustalone/ nawiercone [m] | Zwierciadło wody statyczne/ dynamiczne przy $Q_e$ (2009) [m] pon. kryzy (pon. terenu) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **S - 2** | **70,0** | 231,83 / 229,81 (- 2,02) | 13,0 | $J_3$ > **57** | glina = 5 glina = 4 ∑ = 9 | 10,40 / 13,00 Δ = 2,60 | 10,81 (12,83) / 18,88 (20,09) s = 8,07 |
| **S - 3** | **69,3** | 227,43 / 224,98 (-2,45) | 18,00 | $J_3$ = **41** $J_2$ kelowej = **8** $J_2$ baton > **2** | glina = 2 glina = 4 ∑ = 6 | 6,70 / 26,50 Δ = 19,80 | 5,99 (8,44) / 6,73 (9,18) s = 0,74 |
| **S - 7** | **90,0** | 234,83 / 235,21 (+0,38) | 24,0 | $J_3$ = **62** $J_2$ kelowej > **4** | glina = 6 glina = 15 ∑ = 21 | 7,70 / 22,50 Δ = 14,80 | 10,58 (10,02) / 17,11 (16,73) s = 6,53 |
| **S - 8** | **70,0** | 225,75 / 223,42 (-2,33) | 35,0 | $J_3$ = **27** $J_2$ kelowej = **2** $J_2$ baton > **6** | mułki, iły warwowe =0,7 | 4,70 / 37,50 Δ = 32,80 | 4,09 (6,42) / 7,15 (9,48) s = 3,06 |
| **S – 10** | **72,0** | 235 / 235,16 (+0,16) | 22,0 | $J_3$ = **39** $J_2$ kelowej= **10,5** $J_2$ baton > **0,5** | glina = 11,8 glina = 4 ∑ = 15,8 | 13,20 / 22,00 Δ = 8,80 | 14,22 (14,06) / 15,90 (15,74) s = 1,68 |

Z analizy tabeli 5 wynika, że:

- głębokość odwierconych studni eksploatacyjnych ujęcia Łobodno waha się w granicach 69,3 ÷ 90,0 m,
- studnie S – 3, S – 8, S – 10 w profilu geologicznym przewiercają osady czwartorzędu, wapienie oksfordu i keloweju, osiągając utwory ilaste batonu i zagłębiając się w nie na odcinku głębokości: 0,5 ÷ 10,5 m,
- studnia S – 7 przewierca osady czwartorzędu, wapienie oksfordu i osiąga wapienie keloweju, zagłębiając się w nie na odcinku 4 m,

- studnia S – 2, jako jedyna z odwierconych w profilu geologicznym przewierca osady czwartorzędu, zagłębiając się w wapienie oksfordu na odcinku 4 m, nie osiągając ich spągu,
- utwory czwartorzędowe występują w profilach geologicznych wszystkich studni ujęcia, przy czym ich miąższość jest zmienna i waha się w granicach od 13 m (S – 2) do 35 metrów (S – 8),
- miąższość utworów jury górnej waha się w granicach od 27 m w studni S – 8 do 57 m w S – 2,
- słaboprzepuszalne gliny (głównie zwałowe) występują w 4 studniach (S – 2, S – 3, S – 8 i S – 10): w każdej z nich występują po 2 poziomy glin, o łącznej miąższości od 6 m (S – 3) do 21 m (S – 7),
- w studni S – 3 nie występują utwory słaboprzepuszczalne w postaci glin: występuje jedynie warstwa mułków i iłów warwowych o nieznacznej miąższości (0,7 m),
- we wszystkich studniach występuje subartezyjskie zwierciadło wód poziomu jury górnej: w trakcie wiercenia otworów studziennych największy wznios zwierciadła wody podziemnej (różnica między poziomem zwierciadła wody nawierconym, a ustalonym) wystąpił w studni S – 8 (32,8 m), natomiast najmniejszy w S – 2 (2,6 m),
- statyczne zwierciadła wody w studniach zalegają na głębokości od 6,42 m poniżej p.t. (S – 8) do 14,06 m poniżej p.t. (S – 10),
- dynamiczne zwierciadła wody przy pracy studni z wydajnością eksploatacyjną kształtują się na głębokości od 9,18 m poniżej p.t. (S – 3), do 20,09 poniżej p.t. (S – 2).

W pozostałych 7 odwierconych otworach parametry hydrogeologiczne były znacznie gorsze. Otwory te uznano za negatywne [49]. Zestawienie ich danych geologicznych przedstawiono w tabeli 6. Trzy z nich (nr 3 a, nr 4, nr 5) zlikwidowano, a pozostałe 4 (P – 1, P – 6, P – 9, P – 11) po wykonaniu prac adaptacyjnych włączono do stacjonarnych pomiarów położenia zwierciadła wody i poboru prób wody do badań laboratoryjnych. Stacjonarny monitoring w oparciu o te piezometry jest systematycznie prowadzony od 2008 roku. Wcześniej dokonywano w nich tylko pomiarów położenia zwierciadła wody podziemnej.

Tabela **6**. Zestawienie danych geologicznych otworów uznanych za negatywne w rejonie ujęcia Łobodno

| Numer otworu | Głębokość [m] | Rzędna terenu / rzędna kryzy rury pom. [m n.p.m.] | Nawiercona miąższość czwartorzędu (nadkładu) [m] | Nawiercona miąższość: warstwy wodonośnej /utworów podłoża [m] | Miąższość głównych poziomów glin i innych utworów słaboprzepu - szczalnych w czwartorzędzie [m] | Zwierciadło wody poziomu $J_3$ ustalone / nawiercone [m] | Zwierciadło wody statyczne (2009) / uwagi [m] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **P – 1** | **70,0** | **226,82 / 227,27** | **25,0** | $J_3$ > **45** $J_2$ kelowej > **3** | glina = 3 pył = 5 pył = 4 ∑ = 12 | 5,50 / 25,20 Δ = 19,70 | **5,50** / piezometr |
| **3 a** | **40,5** | **227,79 / ------** | **18,3** | $J_3$ > **22,2** | glina =1 glina =5,3 ∑ = 6,3 | 6,80 / 18,40 Δ = 11,60 | ------ / zlikwidowany |
| **4** | **75,0** | **229,82 / ------** | **25,0** | $J_3$ > **50,0** | glina =2,5 glina =15 ∑ = 17,5 | 7,74 / 25,20 Δ = 17,46 | ------ / zlikwidowany |
| **5** | **77,5** | **234,05 / ------** | **34,0** | $J_3$ > **43,5** | glina = 12 glina = 7 ∑ = 19 | 19,30 / 52,40 Δ = 33,10 | ------ / zlikwidowany |
| **P – 6** | **90,0** | **243,88 / 244,22** | **11,0** | $J_3$ > **79,0** | glina =7,5 | 22,0 / 22,0 | **21,28** / piezometr |
| **P – 9** | **70,0** | **234,31 / 234,98** | **6,0** | $J_3$ > **43** | glina = 3 ∑ = 3 | 5,80 / 19,0 Δ = 13,2 | **8,98** / piezometr |
| **P – 11** | **70,0** | **228,40 / 227,80** | **22,0** | $J_3$ = **40** $J_2$ kelowej = **1** $J_2$ baton > **7** | n.w. | 10,5 / 10,5 | **7,56** / piezometr |

Analiza zebranych w tabeli 6 danych wskazuje, że:

- głębokość odwierconych otworów hydrogeologicznych ujęcia Łobodno uznanych za negatywne waha się w granicach 40,5 ÷ 90,0 m,
- otwór P – 1 w profilu geologicznym przewierca osady czwartorzędu, osiągając strop wapieni oksfordu i zagłębiając się w nie na głębokość 3 m,
- otwór P – 11 przewierca osady czwartorzędu, wapienie oksfordu i keloweju, osiągając strop utworów ilastych batonu i zagłębiając się w nie na głębokość 7 m,
- pozostałe otwory (nr 3a, nr 4, nr 5, P – 6, P – 9) przewiercają osady czwartorzędu i zagłębiają się w wapienie poziomu wodonośnego jury górnej, nie osiągając ich spągu,

- utwory czwartorzędowe występują w profilach geologicznych wszystkich otworów, przy czym miąższość przewierconych utworów czwartorzędu jest zmienna i waha się w granicach od 6 (P – 9) do 34 m ( nr 5),
- słaboprzepuszalne gliny (głównie zwałowe) występują we wszystkich otworach oprócz P – 11 (łączna miąższość od 3 m (P – 9) do 19 m (nr 5),
- tylko w dwóch odwierconych otworach hydrogeologicznych (P – 6 i P – 11) występuje swobodne zwierciadło wód poziomu wodonośnego jury górnej, natomiast w pozostałych subartezyjskie zwierciadło wód poziomu jury górnej: w trakcie wiercenia największy wznios zwierciadła wody podziemnej (różnica między poziomem zwierciadła wody nawierconym, a ustalonym) wystąpił w otworze nr 5 (33,1 m), natomiast najmniejszy w otworze nr 3a (11,60 m).

Analiza przytoczonych danych litologicznych i hydrogeologicznych z wierceń wskazuje, że niemal cały obszar zasilania ujęcia Łobodno, z wyjątkiem wychodni wapieni oraz pewnych odcinków doliny Białej Okszy, posiada w podłożu warstwę słaboprzepuszczalną, zapobiegającą bezpośredniemu przenikaniu zanieczyszczeń z wodami opadowymi do górnojurajskiego poziomu wodonośnego. Generalnie, w obrębie obszaru badań pokrywa ta występuje głównie w jego północno – wschodniej i centralnej części. W wielu miejscach izolacja ta jest jednak nieciągła i są one szczególnie narażone na bezpośredni kontakt wód poziomu górnojurajskiego z zanieczyszczeniami z powierzchni terenu. Dane z wierceń służyły do sporządzenia przekrojów hydrogeologicznych (załączniki: 2 a i 2 b).

Poza opisanymi otworami hydrogeologicznymi w rejonie badań funkcjonuje również kilkanaście pojedynczych otworów prywatnych użytkowników, ujmujących wody poziomu górnojurajskiego. Studnie głębinowe innych użytkowników mogą jako otwory obserwacyjne stanowić bardzo cenne źródło informacji dla ZSGIO zasobów wodnych GZWP 326. Mogą także niestety, w przypadku niewłaściwego użytkowania, stać się ogniskami skażeń dla użytkowego poziomu wodonośnego.

### 7.1.4. Analiza więzi hydraulicznej piętra czwartorzędowego i poziomu jury górnej

Zasadnicze badania oddziaływania ujęcia Łobodno na rzekę Białą Okszę wykonano w 1986 roku, w czasie zespołowego pompowania studni S – 2, S – 3 i S – 8 z łączną wydajnością 686,9 $m^3$/h [49]. W czasie pompowania prowadzono obserwacje w wytypowanych studniach gospodarskich, pozostałych otworach wiertniczych oraz w 5 punktach wodowskazowych założonych na rzece Biała Oksza w najbliższym sąsiedztwie ujęcia. W punktach wodowskazowych wykonano szereg jednoczesnych pomiarów przepływów. Wyniki pomiarów wskazały na znaczne zmniejszenie się dopływu do badanego odcinka rzeki o długości 3,25 km. Podczas, gdy przed pompowaniem zespołowym drenaż wynosił przeciętnie około 40 l/s, to podczas pompowania spadł do 11 ÷ 18 l/s. Najprawdopodobniej jest to wynikiem wywołania odcinkowo infiltracji wód z rzeki i/lub zmniejszenia się dopływów gruntowych do rzeki z obszaru objętego pompowaniem.

Przeprowadzone w roku 1982 roku badania zasięgu oddziaływania ujęcia w oparciu o wyniki zbiorowego pompowania badawczego 5 otworów studziennych z wydajnością łączną około 800 $m^3$/h wykazały, że w studniach kopanych położonych w pobliżu rzeki po jej obydwu stronach zwierciadło wody obniżyło się maksymalnie 1,7 m poniżej dna rzeki [32]. Na podstawie tych obserwacji można wnioskować, że lej depresyjny przekroczył rzekę, co zintensyfikowało proces infiltracji wody z rzeki, choć jej warunki nie były korzystne. Prawdopodobnie równocześnie rozwija się proces kolmatacji dna i następuje ograniczenie jej intensywności. Brak założonych punktów wodowskazowych nie pozwalał jednak na stwierdzenie, w jakim stopniu praca ujęcia wpływa na zmniejszenie przepływów w Białej Okszy. Wyniki analiz wody pobieranej ze studni od początku eksploatacji ujęcia Łobodno nie wskazywały na istotny udział infiltracji wody rzecznej. W wodzie nie stwierdzono bowiem typowych dla dolin rzecznych zanieczyszczeń tj. manganu i żelaza.

Kolejne badania przepływu w Białej Okszy (młynkowanie hydrometryczne) wykonane zostały przy udziale autora w czerwcu 2005 roku [30, 31] w 6 profilach, których lokalizację przedstawiono w załączniku 1, a wyniki natężenia przepływu zestawiono w tabeli 7.

Tabela **7.** Natężenie przepływu w rzece Bała Oksza i dopływie Bród w 2005 roku (pomiar metodą młynkowania hydrometrycznego)

| Lp. | Ciek | Profil hydro-metryczny | Data pomiaru | Natężenie przepływu [$m^3/s$] | Współrzędne terenu (GPS) | | Orientacyjna rzędna poziomu wody (GPS) | Uwagi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Biała Oksza | Kłobuck | 10.06. 2005 | **0,1832** | $50^0$55,117 | $18^0$ 57,248 | 229 [m n.p.m.] | z mostku powyżej oczyszczalni ścieków |
| 2. | Bród | Łobodno 1 | 16.06. 2005 | **0,1016** | $50^0$ 55,434 | $18^0$ 57,843 | 225 [m n.p.m.] | lewy dopływ Białej Okszy - profil na zachód od osady Piła |
| 3. | Biała Oksza | Łobodno 2 | 16.06. 2005 | **0,2227** | $50^0$ 55,605 | $18^0$ 58,574 | 227 [m n.p.m.] | kładka z betonowych belek na wysokości osady Piła |
| 4. | Biała Oksza | Łobodno 3 | 16.06.2005 | **0,3764** | $50^0$ 55,787 | $18^0$ 59,074 | 222 [m n.p.m.] | kładka - profil położony powyżej przecięcia z drogą Kamyk ÷ Miedźno |
| 5. | Biała Oksza | Łobodno 4 | 20.06. 2005 | **0,2481** | $50^0$ 55,965 | $18^0$ 59,706 | 219 [m n.p.m.] | pomiar brodząc - profil położony poniżej przecięcia z szosą Kamyk ÷ Miedźno |
| 6. | Biała Oksza | Łobodno 5 | 20.06. 2005 | **0,3413** | $50^0$ 56,270 | $19^0$ 00,602 | 218 [m n.p.m.] | pomiar z drewnianej kładki w lesie na wysokości gajówki Bartkówka |

Profile hydrometryczne (1 ÷ 6) określają natężenia przepływu wykonane w przekrojach hydrometrycznych założonych kolejno na:

1 – rzece Białej Okszy na odcinku jej biegu przed przyjęciem największego dopływu Bród,

2 – dopływie Bród na odcinku przed jego ujściem do Białej Okszy,

3 – rzece Białej Okszy na odcinku jej biegu po przejęciu dopływu Bród,

4 – rzece Białej Okszy na odcinku jej biegu powyżej przecięcia z drogą Kamyk ÷ Miedźno,

5 – rzece Białej Okszy na odcinku jej biegu poniżej przecięcia z szosą Kamyk ÷ Miedźno,

6 – rzece Białej Okszy na odcinku jej biegu na wysokości gajówki Bartkówka.

Łączne natężenia przepływu w profilach hydrometrycznych 1 i 2 wyniosły 0,2848 m/s i były większe od natężenia przepływu pomierzonego w profilu 3, o 0,0621 m/s. Wskazuje to na spadek natężenia przepływu na wymienionym odcinku biegu cieków o 21,80 %, czyli na infiltrację wody z cieków do utworów skalnych podłoża. Profile 3 i 4 wskazywały z kolei wzrost natężenia przepływu z 0,2227 m/s do 0,3764 m/s tj. o 0,1537 m/s (69 %), czyli na drenowanie wód z piętra czwartorzędowego i poziomu jury górnej. Profile hydrometryczne 4 i 5 wskazywały natomiast na zmniejszenie natężenia przepływu z 0,3764 m/s do 0,2481 m/s tj. o 0,1283 m/s (34,1 %), czyli na infiltrację wód z rzeki do utworów podłoża czwartorzędowego i jury górnej. Analiza kolejnych profili hydrometrycznych 5 i 6 wskazuje

na drenujący charakter Białej Okszy na tym odcinku, gdyż nastąpił wzrost natężenia przepływu z 0,2481 m/s do 0,3413 m/s, czyli o 0,0932 m/s (tj. 37,6 %).

Biała Oksza w rejonie ujęcia Łobodno ma charakter zarówno drenujący jak i infiltrujący w zależności od badanego odcinka rzeki. Generalnie, w rejonie ujęcia pomiędzy profilami hydrometrycznymi 3 ÷ 6 następuje jednak przyrost natężenia przepływu wód z 0,2227 m/s do 0,3413 m/s, czyli o 0,1186 m/s (tj. 53,26 %), co świadczy, że na odcinku biegu Białej Okszy w rejonie ujęcia Łobodno większa ilość wody dopływa do jej koryta niż z niego infiltruje w głąb utworów podłoża. Pomiary hydrologiczne wskazują zatem, że w rejonie ujęcia występuje drenujący charakter Białej Okszy. Jakość wód Białej Okszy nie ma zatem istotnego wpływu na skład chemiczny wód eksploatowanych w ujęciu Łobodno. Badania wykonane były w okresie niewielkich poborów wód z ujęcia. Dodatkowo istnienie serii osadów piaszczystych w dolinie rzeki, które stanowią naturalny filtr (bariera ochronna) zmniejsza zagrożenie zanieczyszczeniem wodami powierzchniowymi wód podziemnych.

### 7.1.5. Analiza wzajemnego oddziaływania studni na ujęciu Łobodno

Wyniki zbiorowego pompowania badawczego otworów S – 2, S – 3, S – 8 oraz S – 7 przeprowadzonego w 1968 roku (otworu S – 10 wówczas jeszcze nie odwiercono) z łączną wydajnością 804 $m^3$/h (tj. 19 269 $m^3$ /d) umożliwiły określenie wielkości regionalnego obniżenia zwierciadła wody w ujęciu Łobodno oraz zasięgu jego oddziaływania [49]. Podczas pracy wszystkich studni z maksymalną wydajnością tj. 804 $m^3$/h [32]:

- leje depresyjne studni S – 2, S – 3, S – 8 i S – 10 nakładały się na siebie tworząc wspólny, wypadkowy lej depresyjny, którego kształt ulegał zmianom w zależności od pracy poszczególnych studni,
- lej depresyjny studni S – 7 był odrębny.

Na nieregularność wypadkowego leja depresji wpływało także nierównomierne rozmieszczenie drożnych szczelin i pustek krasowych w masywie wapieni górnojurajskich oraz zróżnicowana więź hydrauliczna między wodami występującymi w czwartorzędzie i malmie. Zasięg leja depresyjnego ujęcia zależny jest od warunków zasilania wód podziemnych. Rośnie, gdy wysokie pobory wody zbiegają się z niską retencją wód podziemnych i odwrotnie przy wysokiej retencji i niskim poborze zasięg lejów depresyjnych kurczy się. Stany najwyższej i najniższej retencji powtarzają się w cyklu rocznym.

Największe zapasy wód podziemnych gromadzą się na przełomie zimy i wiosny (luty – maj), a najniższe lata i jesieni (sierpień i listopad) [32].

Z analizy zapisów w książkach eksploatacji studni ujęcia Łobodno [23] wynika, że głębokości zwierciadła wody, przy stałych wydajnościach w poszczególnych studniach nie są stałe. Składają się na to następujące przyczyny:

- wody występujące w czwartorzędzie i w wapieniach malmu stanowią jeden połączony horyzont wodonośny,
- studnie ujęcia współdziałają ze sobą, dlatego zmiany w pracy poszczególnych studni oddziaływują na położenie zwierciadła wody w innych,
- częste (nieraz kilkukrotne w ciągu doby) załączanie i wyłączanie studni.

Zwierciadło wody w pracującej studni, przy stałej wydajności, położone jest wysoko, gdy jedna lub więcej sąsiednich studni jest wyłączonych. Odwrotnie, gdy wszystkie studnie pracują przez dłuższy okres czasu, zwierciadło wody położone jest głęboko.

Aktualnie w związku z dużo mniejszym poborem wód ze studni (pobór średnioroczny: 133 $m^3/h$ – ryc. 20) zasięg oddziaływania ujęcia wywołany poborem wody jest znacznie mniejszy i nie przekracza Białej Okszy. Wypadkowy lej depresyjny charakteryzuje się dużą zmiennością kształtu, ponieważ zmieniają się pobory wody z poszczególnych studni skutkiem bardzo częstych ich okresowych wyłączeń. Niewielki pobór wód z ujęcia wynika także z przyczyn technicznych i ekonomicznych, gdyż czas pracy studni uzależniony jest od poziomu wody w zbiornikach magazynowych oraz od kosztów energii elektrycznej w ciągu doby.

### 7.1.6. Zmienność stężeń azotanów w czasie pompowania badawczego ujęcia

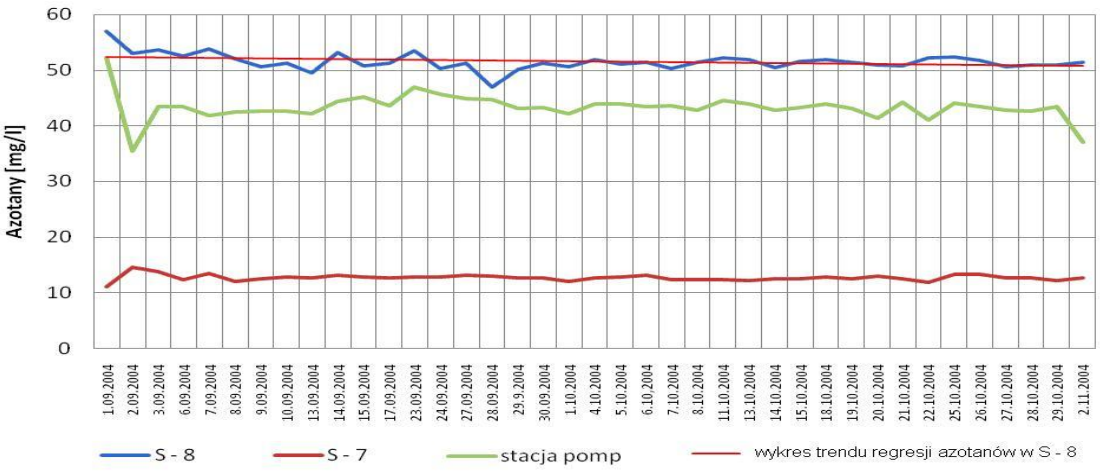
W celu oceny stężeń azotanów i jakości wód podziemnych w rejonie OSW ujęcia Łobodno w dalszej części pracy powoływano się na przedstawione w tabeli 8 graniczne wartości stężeń azotanów w poszczególnych klasach jakości wód podziemnych wg Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 23 lipca 2008 roku *w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód podziemnych* [Dz. U. Nr 143, poz. 896] *(9)*. Azotany wskazują na istotne zanieczyszczenie wód podziemnych szczególnie w klasie III, IV i V.

**Tabela 8.** Graniczne wartości stężeń azotanów (w $NO_3/dm^3$) w poszczególnych klasach jakości wód podziemnych dla prezentowania ich stanu

| Klasa jakości wód podziemnych | Stężenie azotanów (w $NO_3/dm^3$) wg RMŚ z 2008 roku *(9)* |
|---|---|
| **I** klasa jakości | **10** mg $NO_3/dm^3$ |
| **II** klasa jakości | **25** mg $NO_3/dm^3$ |
| **III** klasa jakości | **50** mg $NO_3/dm^3$ |
| **IV** klasa jakości | **100** mg $NO_3/dm^3$ |
| **V** klasa jakości | **>100** mg $NO_3/dm^3$ |

Analizy wody ze studni S - 7 oraz badania modelowe (1999 r.) wskazują, że w obszarach zasilania tej studni i w rejonie badań położonym na północ od Białej Okszy zawartość azotanów jest niewielka i odpowiada I i II klasie jakości. Natomiast w obszarze na południe od rzeki między innymi w zasięgu oddziaływania studni S – 8 znajduje się szereg ognisk zanieczyszczeń (rejon zabudowy Łobodna) oraz przyległe do wymienionej studni pola i łąki (zrzuty ścieków do gruntu i składowanie obornika). Obserwowane stężenia azotanów wskazują na występowanie tam wód podziemnych w klasie III i IV (tabela 8), czyli istotnie zanieczyszczonych azotanami.

W okresie od 1.09 do 2.11.2004 roku na ujęciu Łobodno autor wykonał badania mające na celu wykazanie, że stężenie azotanów w studni S – 8 zależne jest od wielkości poboru wody, czyli od zasięgu OSW do ujęcia. Na ujęciu Łobodno pracowały wtedy bez wyłączeń tylko dwie studnie: S – 8 z wydajnością 220 $m^3/h$ oraz S – 7 z wydajnością 60 $m^3/h$. Na czas badań ograniczono wydajność ujęcia Wierzchowisko. Wykres stężenia azotanów ($NO_3/dm^3$) w studni S – 8 oraz S – 7 podczas ich ciągłego pompowania przedstawia ryc. 24.




**Ryc. 24.** Stężenia azotanów (w $NO_3/dm^3$) podczas ciągłego pompowania S – 8 i S – 7 w okresie: 1.09 ÷ 2.11.2004

Obserwowane stężenia azotanów świadczą że pompowanie przyniosło oczekiwane efekty. Spowodowało zmniejszenie stężenia azotanów ($NO_3$) w ujmowanych wodach przez S – 8 od 56,7 mg $NO_3/dm^3$ na początku do 50,98 mg $NO_3/dm^3$ pod koniec badań. Stężenie azotanów obniżyło się zatem o 5,72 mg $NO_3/dm^3$, przy czym wyraźny spadek do 53,2 mg $NO_3/dm^3$ nastąpił już po jednym tygodniu pompowania. Minimalna zawartość azotanów w trakcie wymienionych badań w studni S – 3 wyniosła 47,01 $NO_3/dm^3$, czyli była niższa od wartości dopuszczalnej, natomiast różnica pomiędzy najwyższą, a najniższą zawartością azotanów w S – 8 wyniosła 10,00 $NO_3/dm^3$.

W studni S – 7, w trakcie pompowania nie zaszły istotne zmiany w stężeniach azotanów: wahały się one w granicach 14,6 ÷ 12,0 mg $NO_3/dm^3$.

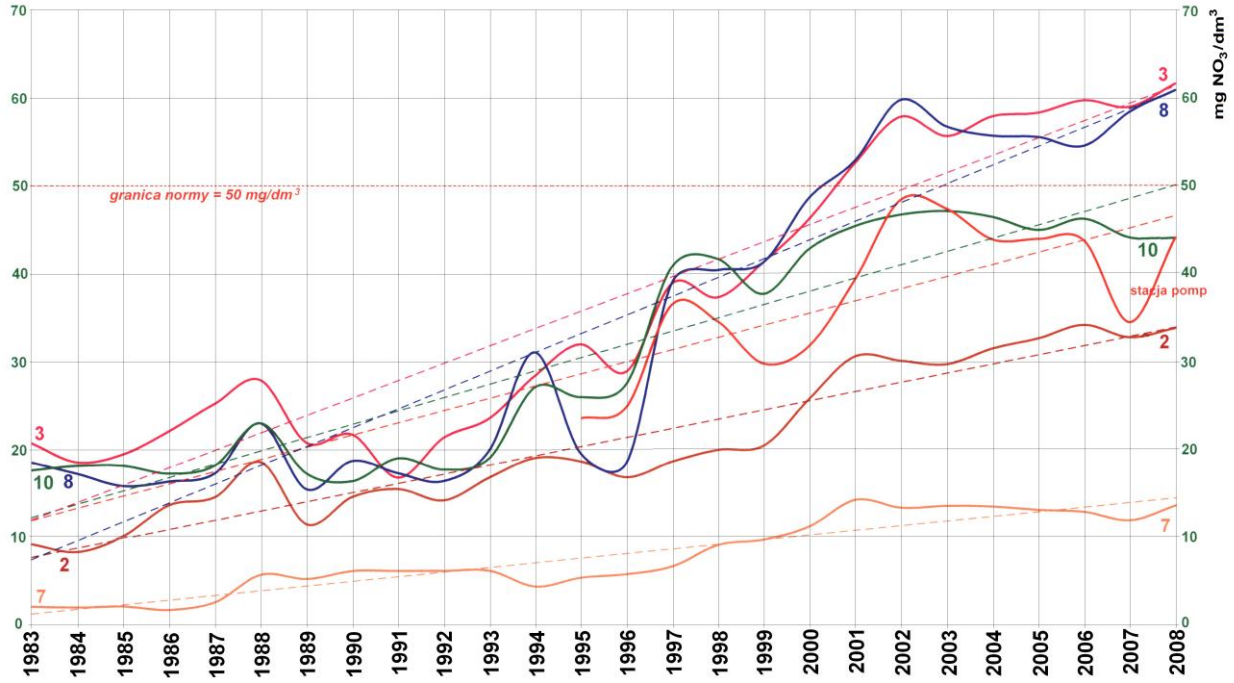
W trakcie opisywanego pompowania badawczego zwiększyła sie głębokość dynamicznego zwierciadła wody w studni i co za tym idzie nastąpiło znaczne zwiększenie zasięgu oddziaływania studni S – 8, głównie poza obszar występowania lokalnych ognisk zanieczyszczeń, a studnia w większym niż dotychczas stopniu przejmowała wody z rejonów, w których stężenie azotanów jest znacznie mniejsze, tj. z terenów położonych na północ od Białej Okszy. Wykonane badania potwierdziły zatem przypuszczenia o wpływie warunków rozwoju leja depresyjnego na stężenie azotanów w studni S – 8 oraz dowiodły, że możliwe jest wymuszenie kontrolowanymi wydatkami pracy studni pożądanych kierunków przepływu wód podziemnych, w celu utrzymania w wodzie podawanej do odbiorców stężenia związków azotu ($NO_3$) poniżej wartości dopuszczalnych.

## 7.2. Badania laboratoryjne

### 7.2.1. Analiza jakości wód poziomu jury górnej

***Jakość wód ze studni ujęcia Łobodno***

Stężenie azotanów w studniach i w wodzie podawanej do odbiorców ze stacji pomp ujęcia Łobodno z zaznaczeniem linii trendu w latach 1983 ÷ 2008 w mg $NO_3/dm^3$ przedstawiają ryc. 25 oraz załącznik 3. Ujmowana woda górnojurajskiego poziomu wodonośnego w rejonie ujęcia należy do wód słodkich, średnio twardych, słabo zasadowych, typu dwujonowego: wodorowęglanowo – wapniowego i charakteryzuje się brakiem zawartości żelaza i manganu [1]. Własności fizykochemiczne wód we wszystkich studniach ujęcia, poza podwyższoną zawartością azotanów w studni S – 3 i S – 8 odpowiadają obowiązującym obecnie normatywom prawnym *(5)*. Począwszy od roku 2001 nastąpiło przekraczanie stężeń dopuszczalnych tj. 50 mg $NO_3/dm^3$, w przypadku 2 studni ujęcia: S – 3 (52,4 mg $NO_3/dm^3$) i S – 8 (52,7 mg $NO_3/dm^3$). Niepokojąca sytuacja występuje również w studni S – 10, gdzie stężenie azotanów stopniowo zbliża się do wartości dopuszczalnej.




**Ryc. 25.** Stężenia azotanów (w mg $NO_3/dm^3$) w studniach i w wodzie podawanej do odbiorców ze stacji pomp ujęcia Łobodno w latach 1983 ÷ 2008

Gwałtowny, skokowy wzrost zawartości azotanów w studniach głębinowych S – 3, S – 8 i S – 10 nastąpił w roku 1997:

– S – 3: z 28,8 (1996) do 38,8 mg $NO_3/dm^3$ (1997) – wzrost o 10,0 mg $NO_3/dm^3$ (34,7 %),

– S – 8: z 18,5 (1996) do 38,9 mg $NO_3/dm^3$ (1997) – wzrost o 20,4 mg $NO_3/dm^3$ (110,3 %),

– S – 10: z 27,4 (1996, do 40,7 mg $NO_3/dm^3$ (1997) – wzrost o 13,3 mg $NO_3/dm^3$ (48,5%).

Natomiast średnioroczne stężenia azotanów w roku 2008 w studniach wyniosły:

– S – 3: 61,42 mg $NO_3/dm^3$ – wzrost o 22,62 mg $NO_3/dm^3$ (36,8 %) w stosunku do 1997 r.,

– S – 8: 60,70 mg $NO_3/dm^3$ – wzrost o 21,80 mg $NO_3/dm^3$ (35,9 %) w stosunku do 1997 r.,

– S – 10: 43,96 mg $NO_3/dm^3$ – wzrost o 3,63 mg $NO_3/dm^3$ (8,4 %) w stosunku do 1997 r.

Stężenie azotanów w studniach i w wodzie podawanej do odbiorców ze stacji pomp ujęcia Łobodno w drugiej połowie 2008 roku przedstawiono w tabeli 9. Wszystkie wykonane w tym czasie analizy wody ze studni S – 3 i S – 8 wykazały ponadnormatywne stężenia azotanów, przy czym:

– w S – 3 stężenia wahały się w granicach: 60,03 ÷ 62,24 mg $NO_3/dm^3$,

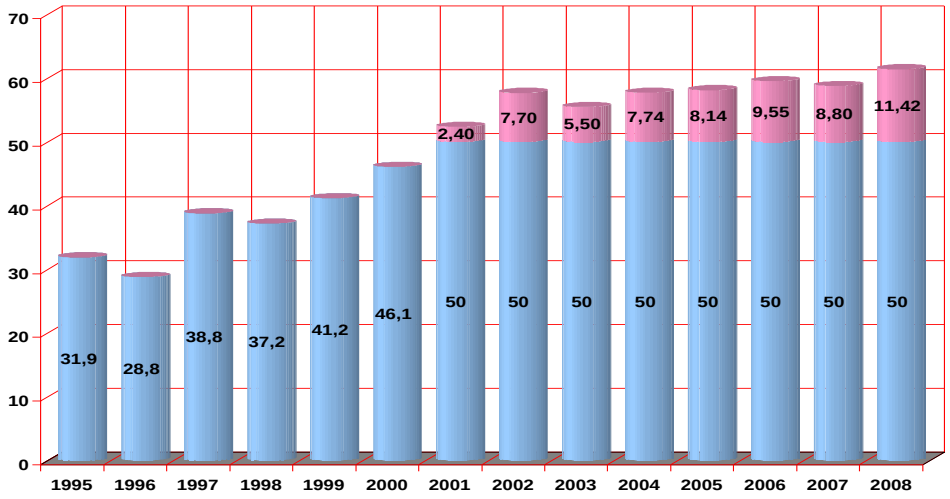
– w S – 8 stężenia wahały się w granicach: 56,70 ÷ 65,56 mg $NO_3/dm^3$.

**Tabela 9**. Stężenie azotanów (w mg $NO_3/dm^3$) w studniach i w wodzie podawanej do odbiorców ze stacji pomp ujęcia Łobodno (druga połowa 2008 roku)

| II połowa 2008 r. | Stacja pomp | Studnia nr 2 | Studnia nr 3 | Studnia nr 7 | Studnia nr 8 | Studnia nr 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| lipiec | 33,14 | 34,73 | 61,13 | 13,51 | 58,14 | 45,74 |
| sierpień | 35,57 | 35,93 | 60,03 | 14,97 | 61,36 | 47,68 |
| wrzesień | 49,59 | 36,28 | 62,02 | 13,69 | 58,48 | 47,18 |
| październik | 47,07 | 32,87 | 62,24 | 13,93 | 65,56 | 47,95 |
| listopad | 47,40 | 31,72 | 61,47 | 12,60 | 60,80 | 49,28 |
| grudzień | 35,60 | 35,48 | --- | 13,95 | 56,70 | 44,80 |
| średnia | 41,14 | 34,50 | 61,38 | 13,78 | 60,17 | 47,11 |

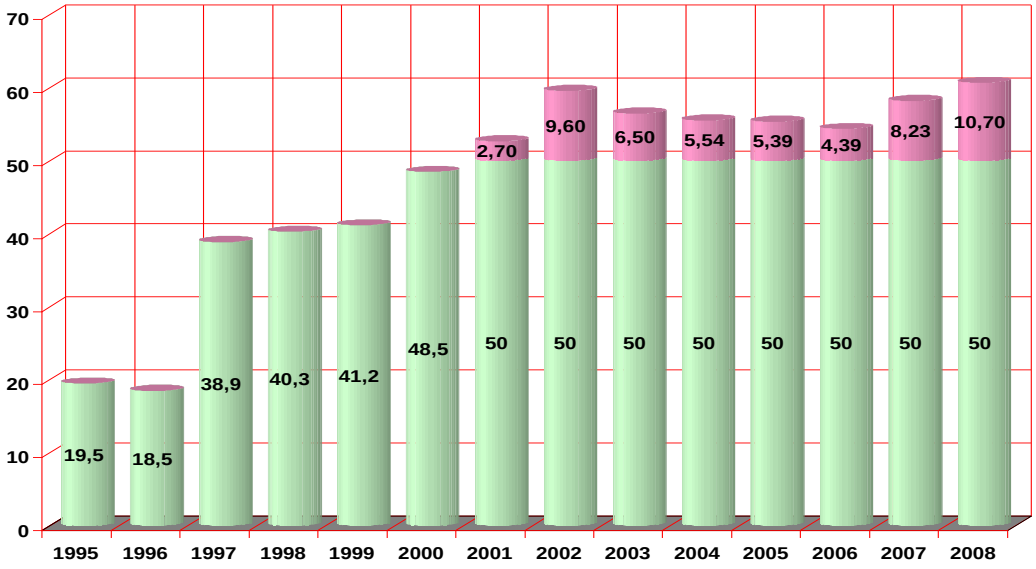
**Uwaga:** kolorem czerwonym oznaczono zawartości ponadnormatywne

Stężenia azotanów w latach: 1995 ÷ 2008, z wyszczególnieniem ich rocznego przyrostu ponad wartości dopuszczalne dla studni S – 3 i S – 8 przedstawiono na ryc. 26 i 27. Ponadnormatywna zawartość azotanów w wodach ujmowanych przez studnię S – 3 (ryc. 26) przekroczona została w roku 2008 o 2,4 mg $NO_3/dm^3$. W latach kolejnych wartość przekroczenia wahała się w przedziale 5,50 ÷ 11,42 mg $NO_3/dm^3$, osiągając maksimum w roku 2008.




**Ryc. 26.** Stężenia azotanów (w mg $NO_3/dm^3$) w studni S – 3 ujęcia Łobodno w latach 1995 ÷ 2008, z rocznym przyrostem ponad wartości dopuszczalne

Z kolei ponadnormatywna zawartość azotanów w wodach ujmowanych przez S – 8 przekroczona została także w roku 2001 o 2,7 mg $NO_3/dm^3$ (ryc. 27). W roku 2002 przekroczenie wyniosło 9,6 mg $NO_3/dm^3$, by w latach kolejnych wykazywać tendencję spadkową do wartości 4,39 mg $NO_3/dm^3$ w roku 2006. Niestety, w roku 2007 wystąpił ponowny wzrost o 8,8 mg $NO_3/dm^3$, by w roku 2008 osiągnąć najwyższą z dotychczas udokumentowanych wartości tj. wzrost o 11,42 mg $NO_3/dm^3$ ponad wartość dopuszczalną.




**Ryc. 27.** Stężenia azotanów (w mg $NO_3/dm^3$) w studni S – 8 ujęcia Łobodno w latach 1995 ÷ 2008, z wyszczególnieniem rocznego przyrostu ponad wartości dopuszczalne

Dwie studnie ujęcia Łobodno (S – 2 i S – 8) objęte są siecią monitoringu regionalnego realizowanego przez Śląską Delegaturę PIOŚ. Ocenę jakości wód dokonywano w oparciu o kryteria określane wg PIOŚ 1995 r. [58], która wyróżnia 4 klasy wód podziemnych:

- **klasa Ia** (wody najwyższej jakości) – odpowiadające wymogom sanitarnym, nadające się do picia bez uzdatniania,
- **klasa I b** (wody wysokiej jakości) – odpowiadające wodom do celów pitnych i gospodarczych, możliwe jest ich okresowe uzdatnianie,
- **klasa II** (wody średniej jakości) – zmienione antropogenicznie, zanieczyszczone wymagają uzdatniania,
- **klasa III** (wody niskiej jakości) – ich cechy fizyczne i zawartość głównych wskaźników zanieczyszczenia znacznie przekraczają normy obowiązujące dla wód pitnych, uzdatnianie jest mało opłacalne.

Wg tej klasyfikacji wody ze studni S – 2 (wg PIOŚ: nr J – 311) charakteryzują się dobrą jakością i należą do klasy jakości wód **Ib**. Natomiast wody eksploatowane ze studni S – 8 (wg PIOŚ: nr J – 310) należą do wód klasy **III**, z uwagi na ponadnormatywną zawartość azotanów.

***Wyniki badań w sieci monitoringu osłonowego ujęcia***

Wyniki wykonanych oznaczeń zawartości azotanów i chromianów, a także głębokości zalegania zwierciadła wody podziemnej przedstawia tabela 10. Generalnie woda górnojurajskiego poziomu wodonośnego w zakresie zawartości azotanów i chromianów odpowiada obowiązującym obecnie normatywom prawnym *(5)*. Wody podziemne występujące w strefach przyotworowych nie zawierają ponadnormatywnych zawartości azotanów, ale charakteryzują się ich znaczną zmiennością. W otworze obserwacyjnym P – 6 stężenie azotanów wahało się w granicach od 21,88 do 24,98 mg $NO_3/dm^3$ tj. o 3,1 mg $NO_3/dm^3$, a w otworach P – 9 oraz P – 11 nastąpiło obniżenie stężeń odpowiednio od 38,63 do 18,87 mg $NO_3/dm^3$ tj. o 16,97 mg $NO_3/dm^3$ oraz od 20,64 do 11,03 mg $NO_3/dm^3$ tj. o 8,32 mg $NO_3/dm^3$. Duży zakres zawartości azotanów w pobranych w 3 cyklach próbach może być spowodowany ich szybką migracją w polu hydrodynamicznym wywołaną eksploatacją czynnych studni ujęcia Łobodno.

**Tabela 10**. Wyniki opróbowania w otworach obserwacyjnych ujęcia Łobodno (2008 rok)

| Numer piezometru | Rzędna terenu/kryzy rury pomiarowej **[m n.p.m.]** | Data poboru próby - pomiaru zw. wody | Głębokość poboru próby wody | Głębokość zw. wody poniżej kryzy **[m]** | Rzędna zw. wody **[m n.p.m.]** | Stężenie azotanów mg **[$NO_3/dm^3$]** | Stężenie chromianów **[mg Cr/$dm^3$]** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **P 6** | 244,22<br>243,88 | 12 V 2008 | ~ 51 m | 21,00 | 222,88 | 21,88 | < 0,001 |
| | | 10 X 2008 | ~ 51 m | 21,28 | 222,60 | 24,98 | --- |
| | | 7 IV 2009 | ~ 51 m | **21,22 m** | **222,66** | 22,37 | < 0,002 |
| **P 9** | 234,31<br>234,98 | 17 III 2008 | ~ 49 m | 8,64 | 226,34 | 38,63 | 0,00604 |
| | | 8 X 2008 | ~ 49 m | 8,98 | 226,00 | 21,66 | --- |
| | | 7 IV 2009 | ~ 49 m | **8,74 m** | **226,24** | 18,87 | < 0,001 |
| **P 11** | 227,80<br>228,40 | 17 III 2008 | ~ 35 m | 7,33 | 221,07 | 20,64 | 0,0036 |
| | | 10 X 2008 | ~ 35 m | 7,56 | 220,84 | 12,32 | --- |
| | | 7 IV 2009 | ~ 35 m | **7,43 m** | **220,97** | 11,03 | < 0,002 |

Badania zawartości azotanów w włączonych od 2007 roku do stacjonarnego monitoringu piezometrach (P – 6, P – 9 i P – 11) będą miały kapitalne znaczenie dla uszczegółowienia modelu hydrodynamiki i migracji zanieczyszczeń w GZWP – 326 N podczas planowanej weryfikacji w 2012 roku. Stężenie chromianów jest bardzo małe i dowodzi, że strefa zanieczyszczeń tymi związkami nie obejmuje obszaru zasilania ujęcia Łobodno.

Przedstawione w tabeli 10 wyniki pomiarów położenia zwierciadła wody podziemnej poziomu jury górnej wykazują niewielką zmienność, na co wskazuje mała amplituda wahań głębokości położenia zwierciadła wody, która w okresie pomiarów wyniosła od 0,23 m (P – 11) do 0,34 m (P – 9). Obserwowane zwierciadło wody wykazuje wahania sezonowe. Najwyższy poziom wód podziemnych obserwuje się w okresie wiosennym, po roztopach.

### 7.2.2. Analiza jakości wód piętra czwartorzędowego

Występujące tylko lokalnie czwartorzędowe piętro wodonośne decyduje o zasilaniu górnojurajskiego poziomu wodonośnego, gdyż pozostaje z nim w więzi hydraulicznej. Świadczy o tym wzajemne oddziaływanie studni głębinowych ujęcia ujmujących wody poziomu jury górnej i kopanych studni gospodarskich w utworach czwartorzędowych. Aby określić jakość wód piętra czwartorzędowego w roku 2004 pobrano próby wody z niektórych studni kopanych znajdujących się w obrębie gospodarstw rolnych w miejscowości Łobodno. Wyniki analiz przedstawiono w tabeli 11.

Woda w studniach kopanych wykazywała silne zanieczyszczenie azotanami, o stężeniach mieszczących się w granicach od 2,9 do 211,3 mg $NO_3/dm^3$ (średnio: 120 mg $NO^3/dm^3$).

W większości prób nie stwierdzono jednak obecności amoniaku i azotynów. Wynika z tego, że zanieczyszczenia organiczne i nieorganiczne zawierające azot zostały w procesach nitryfikacji przebiegających w strefie aeracji przekształcone w azotany, które stanowią ostatni stopień degradacji biochemicznej związków azotowych (białka, mocznika) zgodnie ze schematem [4, 17, 26]:

azot organiczny → amoniak → azotyny → azotany

Oznacza to, że procesy biochemicznego rozkładu produktów organicznych zawierających azot, a pochodzących ze ścieków, bądź odpadów bytowo-gospodarczych zostały zakończone, a amoniak i azotyny zostały utlenione do azotanów.

**Tabela 11**. Wyniki opróbowania prywatnych studni kopanych (piętro czwartorzędowe)

| Miejsce pobrania | Data pobrania | Odczyn pH | Amoniak $mg/dm^3N(NH_4)$ | Azotyny $mg/dm^3NO_2$ | Azotany $mg/dm^3NO_3$ | Chlorki $mg/dm^3Cl$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| nr 10 | 19.02.04 | 7,1 | --- | 0,0 | 42,5 | 21,0 |
| nr 14 | 19.02.04 | 8,2 | --- | 0,02 | 2,9 | 105,0 |
| nr 48 | 5.02.04 | 6,7 | 0,0 | 0,0 | 192,7 | 51,0 |
| nr 52 | 27.02.04 | 7,6 | 0,0 | 0,0 | 166,6 | 49,5 |
| nr 56 | 27.02.04 | 7,4 | <0,02 | 0,01 | 211,3 | 73,0 |
| nr 60 | 27.02.04 | 7,5 | 0,0 | <0,003 | 97,5 | 63,0 |
| nr 67 | 25.02.04 | 11,7 | 0,0 | <0,003 | 185,6 | 41,5 |
| nr 73 | 25.02.04 | 8,9 | 0,0 | 0,0 | 51,6 | 27,8 |
| nr 74 | 27.02.04 | 7,7 | 0,0 | 0,01 | 126,7 | 35,0 |
| nr 93 | 25.02.04 | 8,0 | 0,0 | <0,003 | 138,2 | 52,0 |
| nr 123 | 25.02.04 | 6,9 | 0,0 | 0,0 | 101,7 | 52,0 |

**Uwaga:** kolorem czerwonym oznaczono zawartości ponadnormatywne

Czwartorzędowy poziom wodonośny, z którego czerpią studnie prywatne w Łobodnie zanieczyszczony jest bardzo silnie zanieczyszczony azotanami – przeważają tu wody klasy: V i IV wg. RMŚ z dnia 23 lipca 2008 roku *(9)* – por. tabela 8. Ogniskiem zanieczyszczeń są okoliczne pola, na które wylewane są ścieki z przydomowych zbiorników i nieszczelność tych zbiorników. Niewykrycie amoniaku i azotynów w badanych wodach świadczy, że zrzucane ścieki nie mają bezpośredniego kontaktu z wodą ujmowaną z poziomu jury górnej. Zanieczyszczenia ulegają biodegradacji, której wynikiem są azotany, stosunkowo łatwo migrujące do ujmowanej warstwy wodonośnej poziomu górnojurajskiego.

### 7.2.3. Analiza jakości wód powierzchniowych

Wyniki analiz wody pobranych w marcu 2004 i w czerwcu 2005 roku z rzeki Białej Okszy, które przedstawiono w tabeli 12.

**Tabela 12.** Wyniki badań fizykochemicznych wody z rzeki Białej Okszy

| Miejsce pobrania | Data | Odczyn pH | Amoniak mg/dm$^3$N($NH_4$) | Azotyny mg/dm$^3$$NO_2$ | Azotany mg/dm$^3$$NO_3$ | Chlorki mg/dm$^3$Cl |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Biała Oksza (z mostu na trasie Kamyk ÷ Miedźno) | 17.03.04 | 7,4 | --- | --- | 23,0 | 14,5 |
| Biała Oksza (z drewnianej kładki w lesie na wysokości gajówki Bartkówka) | 18.03.04 | 7,3 | --- | --- | 27,7 | 19,5 |
| Biała Oksza (Kłobuck - z mostku przed oczyszczalnią) | 10.06.05 | 7,4 | 0,18 | 0,051 | 9,57 | 27,3 |
| Biała Oksza (Łobodno – I mostek za oczyszczalnią) | 10.06.05 | 7,4 | 0,22 | 0,052 | 17,19 | 41,7 |
| Biała Oksza (Łobodno – II mostek za oczyszczalnią) | 10.06.05 | 6,0 | 0,18 | 0,049 | 19,85 | 43,4 |

**Uwaga:** kolorem czerwonym oznaczono zawartości ponadnormatywne

W obszarze zasilania ujęcia Łobodno zawartość azotanów w wodach Białej Okszy była znacznie niższa, niż w wodach podziemnych poziomu jury górnej i piętra czwartorzędowego. Zawartości azotanów w wodzie z rzeki Biała Oksza wzrastały wraz z jej biegiem, wykazując w kolejnych punktach poboru następujące wartości:

$$9{,}57 \rightarrow 17{,}19 \rightarrow 19{,}85 \rightarrow 23{,}0 \rightarrow 27{,}7 \text{ mg } NO_3/dm^3.$$

Woda Białej Okszy w rejonie Kłobucka przed osiągnięciem punktu zrzutu z oczyszczalni w Kłobucku charakteryzowała się niewielką zawartością azotanów (17,19 mg $NO_3/dm^3$), która powyżej punktu zrzutu była niewiele większa (19,85 mg $NO_3/dm^3$). Świadczy to o efektywnej pracy oczyszczalni – ścieki są dobrze oczyszczone i nie mają wpływu na zanieczyszczenie wód związkami azotu w rejonie ujęcia Łobodno. Stopniowy wzrost stężenia azotanów w wodach Białej Okszy w dalszym jej biegu może wskazywać na dostawę ładunku związków azotu do koryta rzeki ze spływów powierzchniowych, z piętra czwartorzędowego lub poziomu wodonośnego jury górnej, gdzie stwierdzono wyższe niż w wodach powierzchniowych stężenia. Potwierdza to drenujący charakter rzeki Białej Okszy w rejonie ujęcia. Obserwacje wskazują ponadto, że przy niewielkich poborach wody podziemnej wpływ rzeki na zanieczyszczenie wód podziemnych jest ograniczony.

# 8. Wyniki badań modelowych

## 8.1. Analiza dynamiki wód podziemnych

Model dynamiki przepływu wód podziemnych wskazuje na wpływ wielkości eksploatacji na zasięg oddziaływania ujęcia [16, 50]. Szczególnie jest to widoczne przy porównaniu stanu z roku 1987 (przy średniodobowym poborze wody z ujęcia około 12 tys. $m^3$) i z roku 2005 (średniodobowy pobór wody z ujęcia Łobodno około 5,7 tys. $m^3$). Stan na rok 1987 został wybrany ze względu wysoki pobór wód z ujęcia Łobodno oraz dużą ilość opracowań, dotyczących wód podziemnych obszaru badań, powstałych w tym okresie. W roku 1987 lej depresyjny ujęcia Łobodno był rozległy i zbliżał się do leja ujęcia Wierzchowisko. W roku 2005, przy zdecydowanie mniejszej eksploatacji ujęcia Łobodno występowały praktycznie pojedyncze leje depresyjne poszczególnych studni. W efekcie w zależności od wielkości eksploatacji ujęcia i poszczególnych studni, kierunki dopływu wód do studni mogły się znacznie zmieniać.

Mapę zwierciadła wody podziemnej i linii prądu (siatka hydrodynamiczna) rejonu ujęcia Łobodno według stanu na 2005 rok przedstawia ryc. 28 na str. 80. Z mapy wynika, że w rejonie Łobodna, przy poziomie eksploatacji ujęcia, zbliżonym do aktualnego, OSW do ujęcia wynosi 34,0 $km^2$, a obniżenie zwierciadła wody w rejonie studni – do 3 m [16]. Dla porównania, rzeczywiste depresje eksploatacyjne w otworach studziennych przy ich pracy z wydajnością eksploatacyjną, wynoszą od 0,74 m (studnia S – 3) do 8,07 m (studnia S – 2). Średnia arytmetyczna depresji ze wszystkich studni wynosi 4,02 m (por. tabela 4). Nastąpiło również zmniejszenie zasięgu OSW, w stosunku do stwierdzonego na podstawie badań z roku 1982 i 1986, co jest skutkiem zdecydowanego spadku wielkości poboru wód na ujęciu Łobodno.

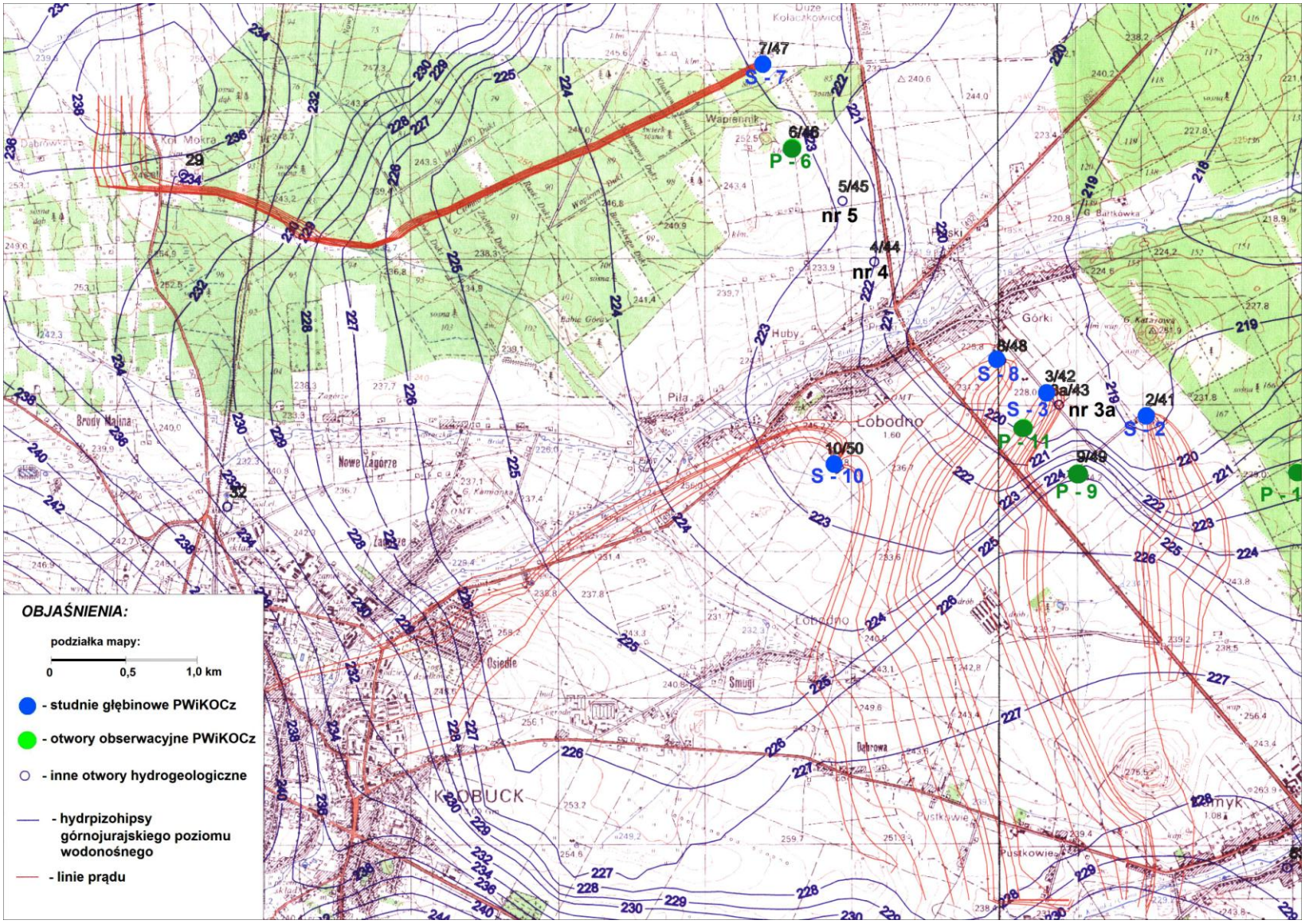
Poprzez odpowiedni dobór wydatków studni w ramach zadanych wielkości eksploatacji, można stworzyć możliwość sterowania pracą ujęcia, zarówno w zakresie obszaru jego wpływu (rozwoju zasięgu i głębokości leja depresji), jak i wielkości ładunku zanieczyszczeń wynoszonych z warstwy wodonośnej. W badaniach modelowych wykonanych dla potrzeb wyznaczenia strefy ochrony pośredniej ujęcia Łobodno [15], w celu wyznaczenia czasu przepływu wód w warstwie wodonośnej, przeprowadzono rozwiązania prognostyczne, z symulacją wydatków studni zgodnie z zatwierdzonymi zasobami

eksploatacyjnymi (tj. 820 $m^3$/h). Ich wynikiem są między innymi opracowane mapy, obejmujące cały OSW:

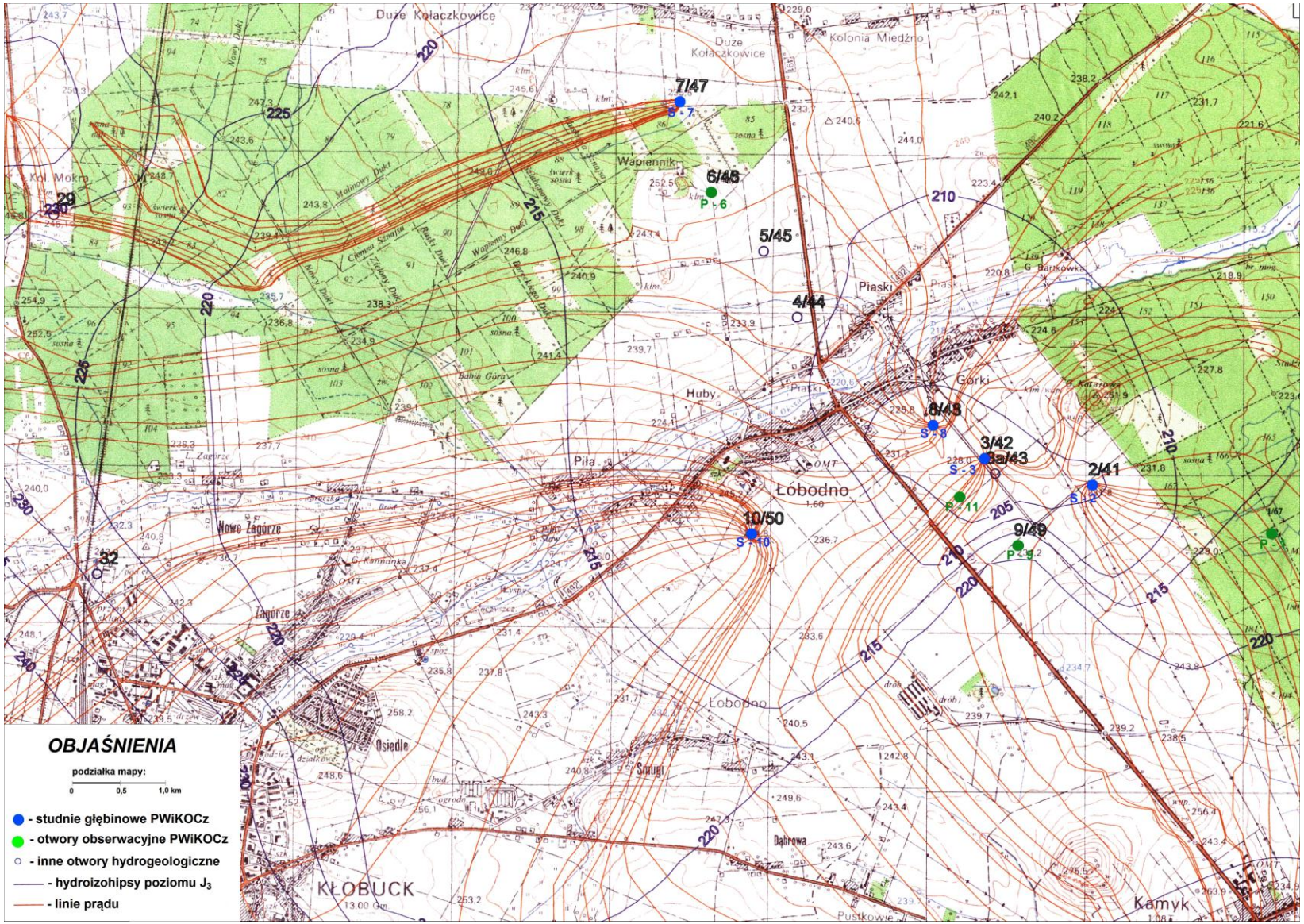
- mapa prognozy położenia zwierciadła wody, obrazująca siatkę hydrodynamiczną linii prądu i hydroizohips (dla poboru: 820 $m^3$/h) – ryc. 29,
- mapa czasu infiltracji wód opadowych przez strefę aeracji, do zwierciadła wody podziemnej – ryc. 30,
- mapa czasu przepływu wód podziemnych do ujęcia w warstwie wodonośnej, na której przedstawiono izolinie przepływu wód w strefie saturacji, od osiągnięcia przez infiltrujące wody zwierciadła wód podziemnych do momentu ich dopływu do otworów studziennych (filtracja) – ryc. 31,
- mapa łącznego czasu dopływu wód do ujęcia, z izoliniami łącznych czasów przesączania się wód opadowych (infiltracja) i czasu przepływu wód w warstwie wodonośnej (filtracja), stanowiąca podstawę wyznaczenia granic strefy ochrony pośredniej – ryc.: 32.
- mapa zasięgu zweryfikowanych granic strefy ochrony pośredniej oraz OSW do studni ujęcia Łobodno dla wydajności eksploatacyjnej 820 $m^3$/h – ryc. 37.

Szczegółowa analiza map umożliwiła wyciągnięcie szeregu wniosków, które obok badań terenowych i laboratoryjnych stanowią podstawę oceny stopnia zagrożenia oraz strategii ochrony wód podziemnych i optymalnego sterowania eksploatacją ujęcia Łobodno.

Z mapy prognozy położenia zwierciadła wody (ryc. 29 – str. 81) wynika, że podczas symulowanej pracy ujęcia Łobodno z maksymalnym możliwym do osiągnięcia wydatkiem, centrum leja depresji wytworzy się w rejonie skupionej eksploatacji (studnie S – 2, S – 3 i S – 8). Wspólny lej depresyjny osiągnie rzędną zwierciadła wody na poziomie około 202 m n.p.m., a OSW będzie miał powierzchnię około 84 $km^2$. Ciągła eksploatacja studni z wydajnościami eksploatacyjnymi spowoduje rozszerzenie leja depresyjnego, głównie w kierunku północno - zachodnim, na odległość około 3 km od jego centrum oraz wywoła szybszą filtrację i zmiany kierunków przepływu wód w rejonie ujęcia.




**Ryc. 28.** Mapa zwierciadła wody podziemnej i linii prądu rejonu ujęcia Łobodno (stan na 2005 rok)




**Ryc. 29.** Mapa prognozy położenia hydroizohips i linii prądu w rejonie ujęcia Łobodno (pobór wody: 820 $m^3$/h)

Mapa czasu infiltracji wód opadowych przez strefę aeracji (ryc. 30 – str. 84) została opracowana w oparciu o profile geologiczne otworów studziennych oraz analizę map geologicznych. Wyznaczone czasy przesączania się wód opadowych do warstwy wodonośnej przez kolejne warstwy w profilach litologicznych na wychodniach, mieszczą się w granicach 0,003 ÷ 0,13 lat. Czasy przesączania się wody przez strefę aeracji w rejonie eksploatacji ujęcia Łobodno wynoszą: 1,8 ÷ 80 lat, przy czym dla poszczególnych studni ujęcia obliczone czasy przesączania przez kolejne warstwy nadkładu są następujące [11]:

- studnia S – 2: 23,8 lat,
- studnia S – 3: 28,3 lat,
- studnia S – 7: 23 lata,
- studnia S – 8: 21,1 lat,
- studnia S – 10: 34,9 lat.

Badania modelowe wykazały, że czasy infiltracji w otoczeniu studni wynoszą odpowiednio:

- w rejonie studni S – 2: około 25 lat,
- w rejonie studni S – 3: 25 ÷ 30 lat,
- w rejonie studni S – 7: 20 ÷ 25 lat,
- w rejonie studni S – 8: 25 ÷ 30 lat,
- w rejonie studni S – 10: około 30 lat.

Stosunkowo długi czas przesączania w otworach studziennych (21,1 ÷ 34,9 lat) i w ich otoczeniu (20 ÷ 30 lat) dowodzi, że w strefach przyotworowych występuje naturalna izolacja od zanieczyszczeń z powierzchni terenu. Potwierdza to stwierdzona wierceniami budowa geologiczna i warunki hydrogeologiczne. W nadkładzie występują bowiem utwory słaboprzepuszczalne, wykształcone w postaci glin zwietrzelinowych i zwałowych, stanowiące jednocześnie warstwy napinające dla poziomu wodonośnego jury górnej (subartezyjskie zwierciadło wody podziemnych). Izochrona 25 – letniego czasu przesiąkania wód opadowych w rejonie OSW ujęcia Łobodno, generalnie przebiega z północnego – zachodu, na południowy wschód. W dużym uproszczeniu obszar położony na zachód od drogi wojewódzkiej nr 491 (Działoszyn – Łobodno – Częstochowa), charakteryzuje się czasem infiltracji w strefie aeracji krótszym, natomiast obszar położony na wschód od wymienionej trasy – dłuższym niż 25 lat, za wyjątkiem rejonu Góry Katarowa i doliny Białej Okszy, gdzie czasy te są znacznie krótsze. Najkrótsze czasy infiltracji (< 5 lat) występują w obszarach wychodni górnojurajskich skał węglanowych, przy czym szczególnie krótkie (< 1 roku) występują w rejonie Góry Katarowa, gdzie znajdują się stare łomy po eksploatacji wapienia.

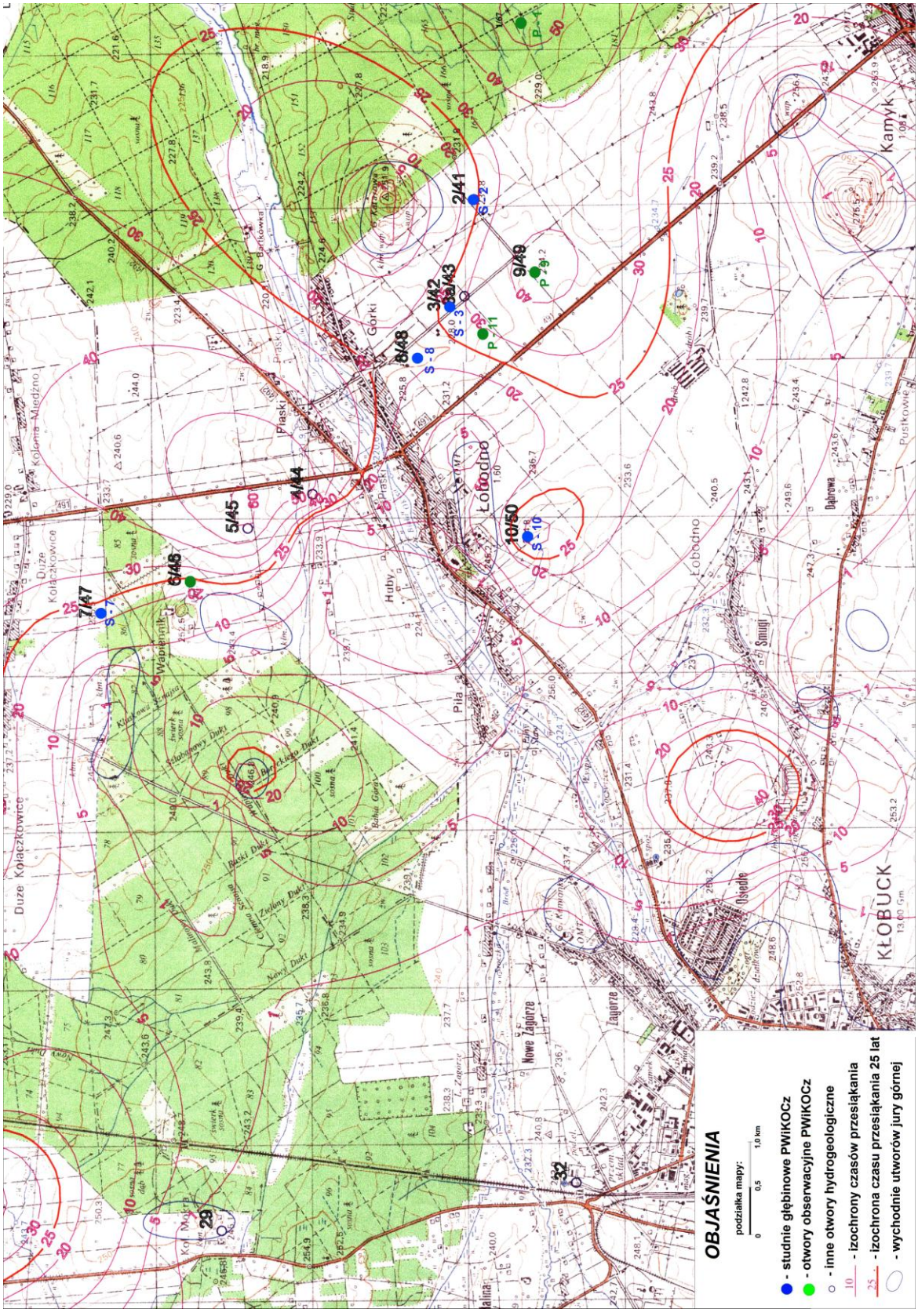
Taki przebieg izochrony 25 – letniego czasu przesiąkania wód opadowych jest wynikiem stopniowego zapadania wapieni, od wychodni kuesty górnojurajskiej, w kierunku południowo – wschodnim i co się z tym wiąże, wzrostu miąższości czwartorzędowego nadkładu w tymże kierunku. Uwidacznia się tutaj ochronna rola strefy aeracji – szczególnie wtedy, gdy ma ona znaczną miąższość lub jest zbudowana z osadów słaboprzepuszczalnych (glin, mułów, iłów).

Mapa czasu przepływu wód podziemnych do ujęcia w warstwie wodonośnej (ryc. 31 – str. 85) przedstawia rozkład czasu przepływu w warstwie wodonośnej (w strefie saturacji) podczas założonej ciągłej eksploatacji studni ujęcia Łobodno z wydajnościami eksploatacyjnymi.

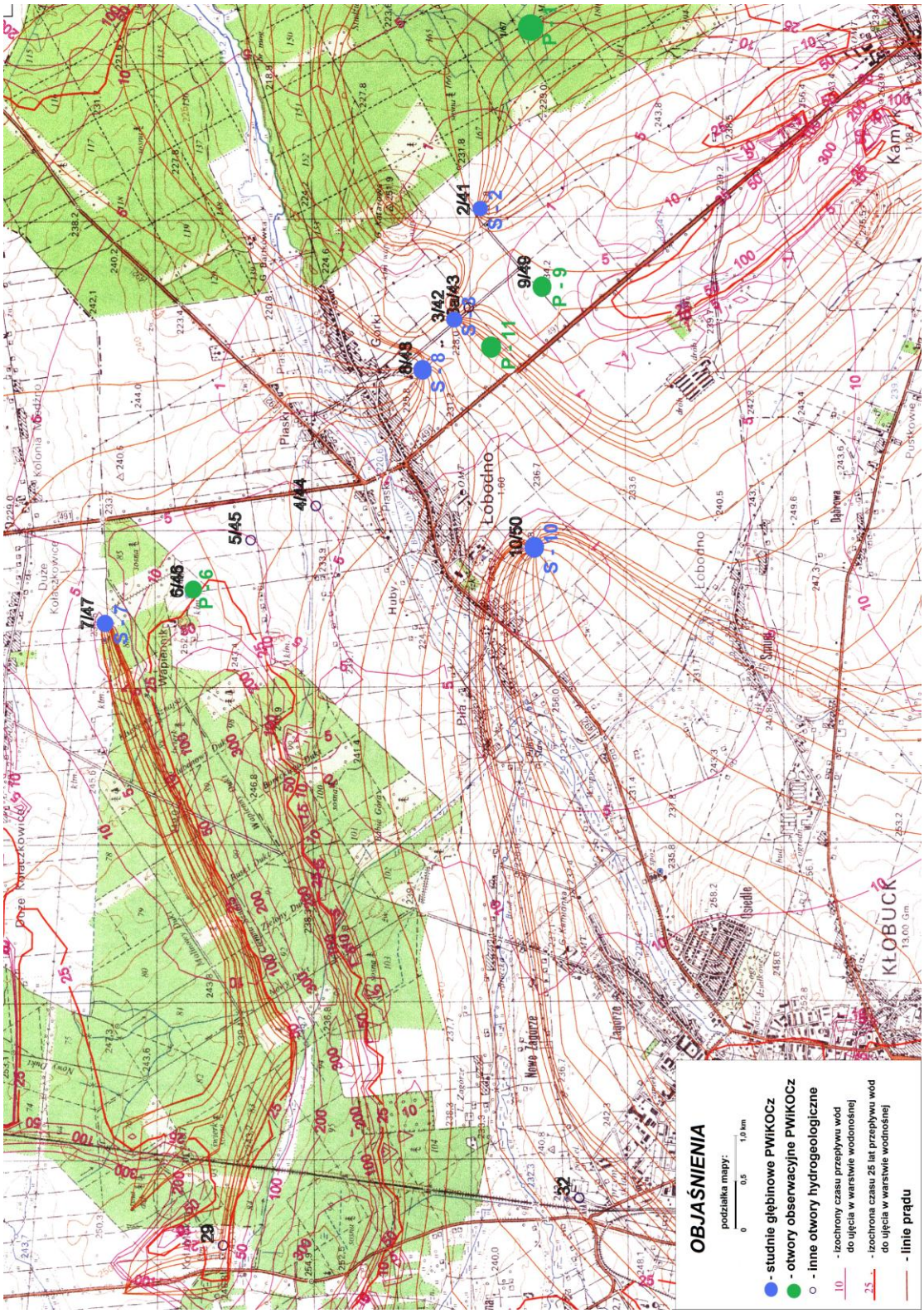
W strefach przyotworowych przepływ wód w strefie saturacji jest bardzo szybki i wynosi 500 ÷ 1600 m/rok. Oddalając się od otworów studziennych prędkość filtracji spada. Najkrótsze czasy przepływu wód w warstwie wodonośnej występują w rejonach granic obszaru zasilania (niskie gradienty przepływu) i w obszarach rozpływu wód tj. między studnią S – 7, a pozostałymi studniami oraz pomiędzy studniami S – 2 i S – 3. Czas przepływu wody od granic zasilania do ujęć wynosi od kilkunastu do kilkuset lat. Z analizy mapy czasu migracji wód w strefie saturacji do studni wynika ponadto, że:

- izochrona 1 – roku przepływu w warstwie wodonośnej jest wspólna dla studni S – 2, S – 3 i S – 8, otaczając je na maksymalnej rozciągłości równoleżnikowej i południkowej na długości około 3 km: w miejscowości Piaski lokalnie przekracza Białą Okszę, w kierunku północnym,
- izochrona „1 – roku" przepływu w warstwie wodonośnej osobno otacza studnię S – 10, rozciągając się równoleżnikowo i południkowo na długości około 1 km oraz studnię S – 7 rozciągając się równoleżnikowo na długości około 1 km i południkowo na około 300 m,
- izochrona „5 – lat" przepływu w warstwie wodonośnej jest wspólna dla wszystkich studni ujęcia.

Mapa łącznego czasu dopływu wód do ujęcia (ryc. 32 – str. 88) z izoliniami łącznych czasów przesączania się wód opadowych w strefie aeracji i przepływu wód w warstwie wodonośnej przedstawia obraz hydrodynamiczny podczas założonej ciągłej eksploatacji studni ujęcia Łobodno z wydajnościami eksploatacyjnymi. Wykorzystano ją do szczegółowej analizy warunków hydrogeologicznych i sozologicznych dla obszarów zasilania poszczególnych studni ujęcia Łobodno, co jest niezbędne do opracowania strategii sterowania ich eksploatacją.




**Ryc. 30.** Mapa czasu infiltracji wód opadowych przez strefę aeracji w rejonie ujęcia Łobodno




**Ryc. 31.** Mapa czasu przepływu wód podziemnych do studni ujęcia Łobodno w warstwie wodonośnej

Studnia S - 7 zasilana jest z kierunku północno - zachodniego. Linie prądu na długości około 5 km biegną z pod obszarów leśnych, od izochrony 25 – letniego dopływu przebiegającej południkowo w Kolonii Mokra na wysokości drogi lokalnej Mokra – Kłobuck, do studni. Strefa dopływu jest stosukowo wąska, w przedziale szerokości od około 1,5 km w rejonie Kolonii Mokra do około 0,5 km w rejonie zalesionym i wokół studni. Obszar zasilania charakteryzuje się bardzo niskim stopniem urbanizacji – dominują tereny leśne. W obszarze zasilania studni nie stwierdzono występowania ognisk zanieczyszczeń.

Studnia S – 10 zasilana jest z kierunku północno – zachodniego, ze wschodnich dzielnic Kłobucka: Zagórza, doliny Białej Okszy i miejscowości Smugi, z obszarów silnie zurbanizowanych, na długości około 5 km, tj. od izochrony 25 – letniego dopływu, przebiegającej generalnie południkowo, przez centrum Kłobucka, do studni. Strefa dopływu jest bardzo szeroka: od około 5 km w Kłobucku do około 1,3 km w rejonie Łobodna.

W obszarze zasilania studni znajduje się większość stwierdzonych ognisk zanieczyszczeń: 4 stacje paliw, niekontrolowane wysypisko odpadów w Kłobucku - Zagórze (folie, styropian, plastik, opony, blacha i inne), 2 zakłady masarskie, mleczarnia, gminna oczyszczalnia ścieków (w eksploatacji PWiKOCz) z punktem zrzutu ścieków oczyszczonych do Białej Okszy, zakłady rolne w Smugach, cmentarz w Kłobucku.

Studnia S - 8 zasilana jest z kierunku północno - zachodniego. Układ linii prądu wskazuje na to, że zbiera ona wody z miejscowości Łobodno i doliny Białej Okszy, z obszarów silnie zurbanizowanych, do roku 2006 pozbawionych kanalizacji, na długości około 1,5 km od miejscowości Piaski, do studni. Strefa dopływu jest szeroka: od około 3 km w dolinie Białej Okszy (na wysokości stacji pomp ujęcia Łobodno po leśniczówkę Bartkówka) do około 2 km w rejonie Łobodna.

W obszarze zasilania studni znajdują się następujące ogniska zanieczyszczeń: pryzmy obornika oraz gnojowica wylewana na pobliskich polach. Wcześniejsze pompowania pomiarowe (1982 i 1986 rok) wykazały, że przy dużych i ciągłych poborach wody z tej studni zasięg jej leja depresyjnego przekracza dolinę Białej Okszy. W związku z tym, przy znacznym poborze wody zagrożenie może stanowić także wysypisko odpadów w Łobodnie – Piaski (tworzywa sztuczne, odpady komunalne i inne).

Studnia S – 3 jest generalnie zasilana z kierunku południowego. Jednak badania modelowe wykazały, że eksploatowane z wydatkami eksploatacyjnymi studnie S – 8 i S – 10 powodują odkształcenie naturalnego pola filtracji, w efekcie czego studnia S – 3 jest zasilana z dwóch kierunków. Z kierunku południowego i południowego – zachodniego jest zasilana na długości około 5 km, począwszy od doliny Czarnej Okszy w rejonie Przybyłowa

i wschodniej części miejscowości Kamyk, gdzie na szerokości około 2 km przebiega izochrona 25 – letniego dopływu. Dalej, strefa linii prądu ciągnie się poprzez Górę Kamyk, drogę nr 491 (Częstochowa – Działoszyn) do studni S – 3, przy czym szerokość strefy wynosi około 0,7 km. W obszarze tym zinwentaryzowano jedno ognisko zanieczyszczeń, które stanowi ferma hodowlana (drób, konie).

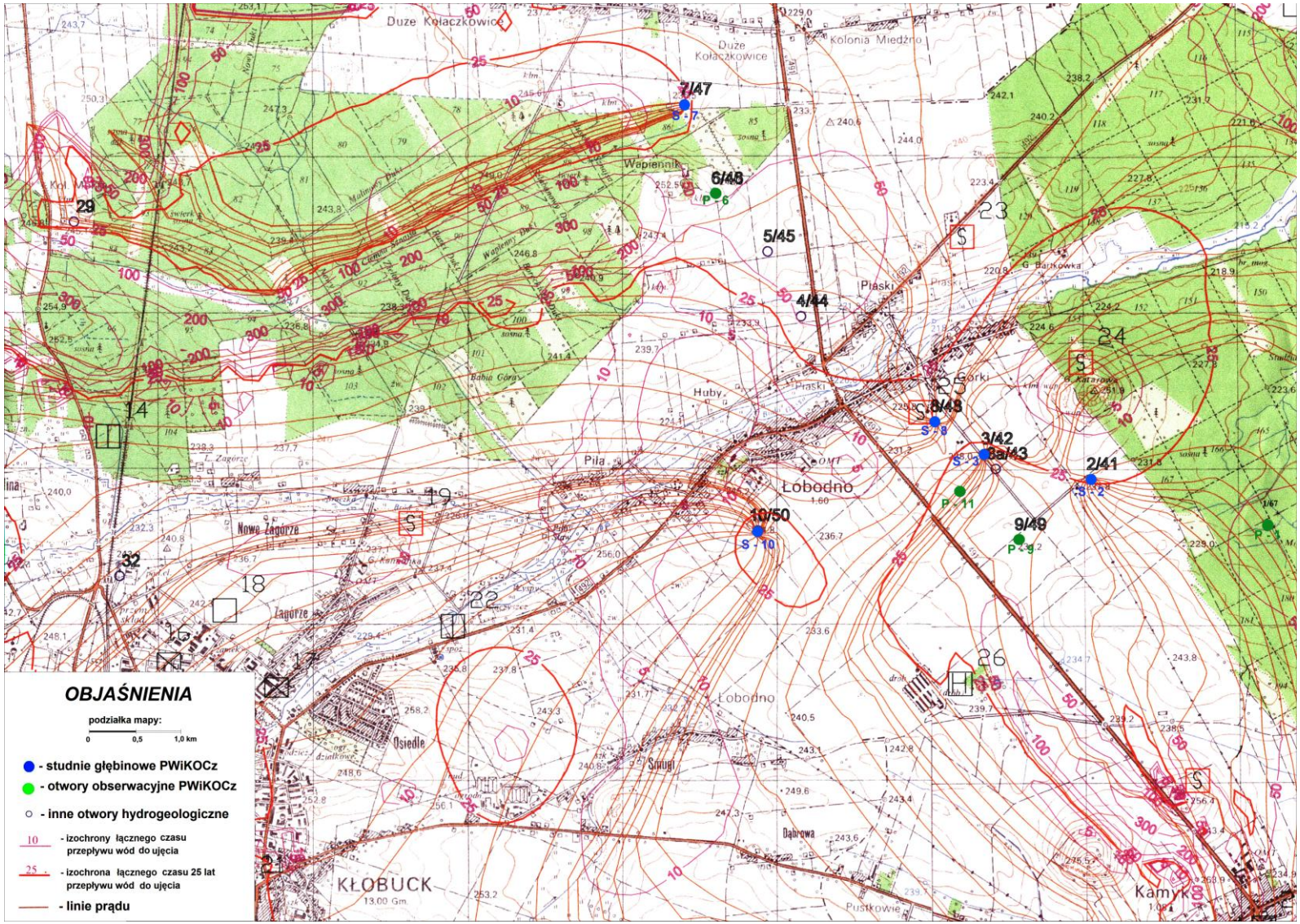
Natomiast z kierunku północno – wschodniego (z rejonu Góry Katarowa i z rozległych kompleksów leśnych, zajmujących wschodnią część obszaru badań) zasilanie odbywa się na długości około 2 km i szerokości około 1 km w rejonie izochrony 25 – letniego dopływu zlokalizowanej na wschód i południe od Góry Katarowa. W obszarze tym zinwentaryzowano jedno ognisko zanieczyszczeń, jakie stanowi niekontrolowane wysypisko odpadów w starych łomach po eksploatacji wapienia w Górze Katarowa.

Studnia S – 2 zasilana jest z kierunku północno – zachodniego. Układ linii prądu wskazuje na to, że zbiera ona wody z obszarów leśnych i użytków rolnych położonych na północ od miejscowości Kamyk, na długości około 3 km. W obszarze najdalej położonym od studni, w rejonie północnej granicy miejscowości Kamyk, wzdłuż izolinii 25 – letniego przepływu wód, szerokość strefy linii prądu nie przekracza 2 km.

W pobliżu studni S – 2 izolinie przepływu wód mają szerokość około 0,7 km, a w obszarze jej zasilania zinwentaryzowano niekontrolowane wysypiska odpadów w Kamyku, po obydwu stronach drogi wojewódzkiej nr 491 (Działoszyn – Łobodno – Częstochowa). W składzie odpadów przeważają tworzywa sztuczne i gruz budowlany.

Z analizy mapy (ryc. 32 – str. 88), oraz mapy zasięgu zweryfikowanych granic strefy ochrony pośredniej oraz OSW do studni ujęcia Łobodno dla wydajności eksploatacyjnej Q = 820 $m^3$/h (ryc. 37 – str. 121) wynika, że przy symulacji pracy ujęcia z maksymalnym możliwym do osiągnięcia wydatkiem OSW będzie miał powierzchnię około 84 $km^2$, czyli ponad dwukrotnie większą, niż przy aktualnych poborach wód podziemnych. Generalne kierunki przepływu w poziomie wodonośnym jury górnej nie ulegną zmianie i będą nadal:

- zachodnie: z obszaru Kłobucka, wzdłuż doliny Białej Okszy do Łobodna (podstawę drenażu stanowi w niektórych odcinkach biegu rzeka Biała Oksza oraz studnia S – 10),
- południowo – wschodnie, zgodne z regionalnym kierunkiem przepływu wód podziemnych w GZWP 326.




**Ryc. 32.** Mapa łącznego czasu dopływu wód do studni ujęcia Łobodno

## 8.2. Analiza migracji azotanów w poziomie jury górnej

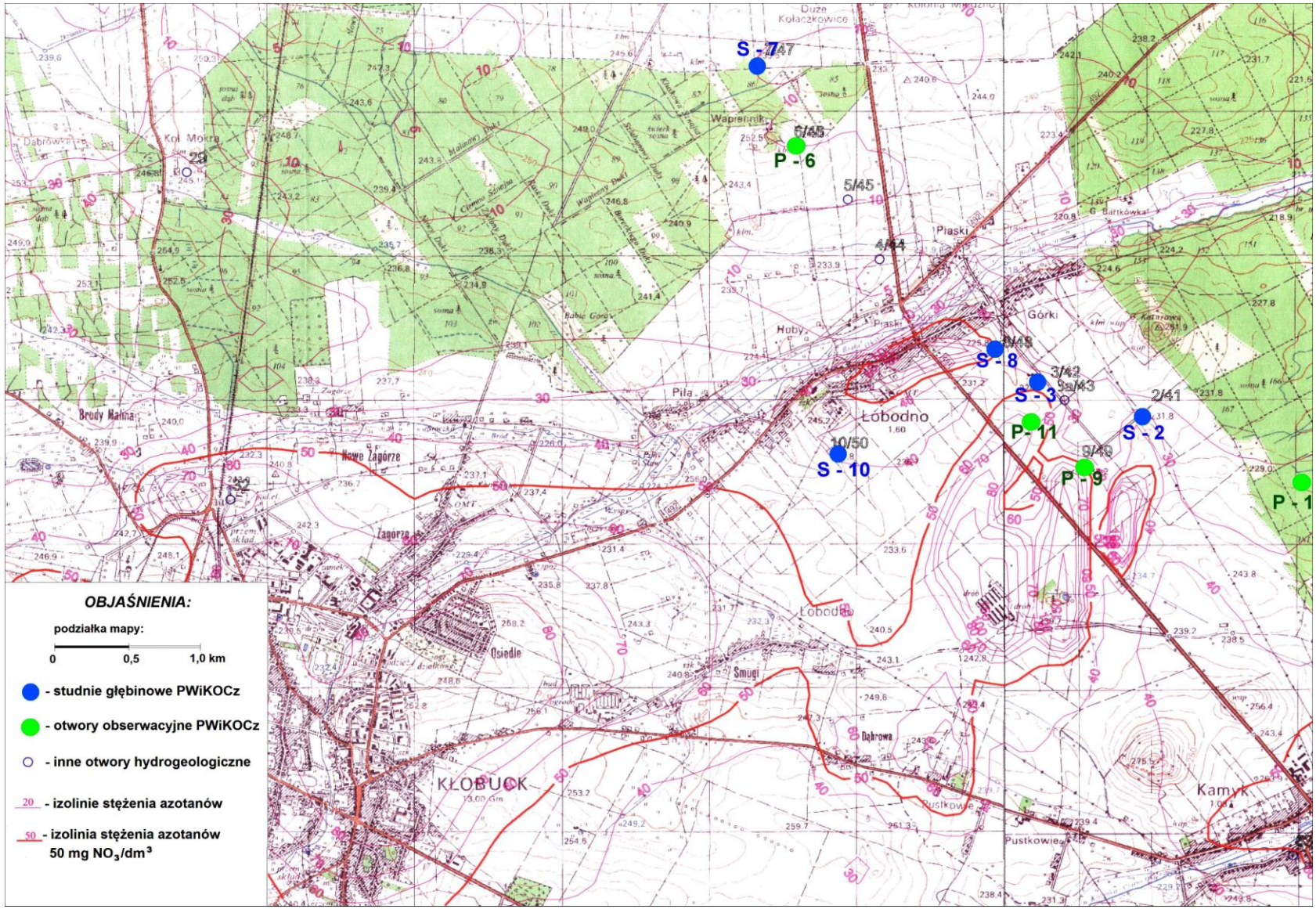
Mapę rozkładu stężenia azotanów w rejonie ujęcia Łobodno wg stanu na rok 2005 przedstawia ryc. 33 – str. 90 [16]. Najmniejsze stężenia azotanów w wodach podziemnych (30 ÷ 10 mg $NO_3/dm^3$) występują na północ od doliny cieków: Bród i Biała Oksza, natomiast największe (30 ÷ 100 mg $NO_3/dm^3$) – na południe od wymienionych cieków. Rozkład stężeń azotanów w wodach podziemnych dobrze obrazuje zasięg oznaczonej na mapie izolinii 50 mg $NO_3/dm^3$, tj. maksymalnego dopuszczalnego stężenia. Swoim zasięgiem obejmuje ona następujące tereny:

- w całości miasto Kłobuck oraz obszar położony na wschód (stężenia azotanów maleją ze wzrostem odległości na wschód od miasta), obejmujący: Smugi, Dąbrowę, okolice zakładów produkcji hodowlanej i zbożowej w odległości około 2 km na południe od zabudowy Łobodna, a także obszar intensywnych upraw rolnych na południowy – zachód od studni S – 2, S – 3 i S – 8,
- okolice miejscowości Łobodno.

Izolinie stężeń azotanów – 80 mg $NO_3/dm^3$ wskazują na występowanie najbardziej niebezpiecznych ognisk zanieczyszczeń i obejmują swym zasięgiem: centrum miasta Kłobuck, tereny zakładów produkcji hodowlanej i zbożowej, położone w odległości około 2 km na południe od zabudowy Łobodna, teren zwartej zabudowy miejscowości Łobodno. Z analizy rozkładu izolinii stężeń azotanów w ujmowanej warstwie wodonośnej wynika, że w strefach przyotworowych (tj. strefach silnego oddziaływania pompowania i depresji) stężenia azotanów wynoszą odpowiednio dla:

- studni S – 2: 20 ÷ 40 mg $NO_3/dm^3$,
- studni S – 3: 30 ÷ 50 mg $NO_3/dm^3$,
- studni S – 7 około 10 mg $NO_3/dm^3$,
- studni S – 8: 30 ÷ 60 mg $NO_3/dm^3$,
- studni S – 10 około 40 mg $NO_3/dm^3$.

Najmniejsze stężenia azotanów w wodach podziemnych występują wokół studni S – 7, najwyższe natomiast w otoczeniu S – 8.




**Ryc. 33**. Mapa rozkładu stężeń azotanów w rejonie ujęcia Łobodno (stan na 2005 rok)

Analiza powyższych danych pozwala stwierdzić, że:

- w wodach pobieranych ze studni S – 3 i S – 8 oraz w ich strefach przyotworowych występują ponadnormatywne zawartości azotanów,
- w obszarze zasilania studni S – 8 znajduje się główne lokalne ognisko zanieczyszczeń – teren zabudowy miejscowości Łobodno,
- w rejonie, z którego czerpie wodę studnia S – 3 znajduje się lokalne ognisko zanieczyszczeń (zakłady produkcji hodowlanej i zbożowej), położone w odległości około 2 km na południe od zabudowy Łobodna,
- najniższe stężenia azotanów stwierdza się w studni S – 7: w rejonie jej zasilania nie stwierdzono żadnych ognisk zanieczyszczeń,
- na kierunku spływu wód do studni S – 10 znajduje się wielkoobszarowe ognisko zanieczyszczeń, które stanowi – miasto Kłobuck.

Analiza potwierdza zatem wpływ lokalnych ognisk zanieczyszczeń w rejonie Łobodna na wzrost stężenia azotanów. Duża zmienność ładunku zanieczyszczeń związana jest z dwoma centralnymi ogniskami zanieczyszczeń, tj. obszarem zabudowy Kłobucka i Łobodna, a także kilkoma ogniskami punktowymi.

# 9. Koncepcja sterowania eksploatacją wód podziemnych dla ochrony zasobów ujęcia Łobodno przed zanieczyszczeniem azotanami

## 9.1. Warunki eksploatacji wód podziemnych

Opracowana koncepcja optymalnego sterowania pracą ujęcia Łobodno ma na celu uelastycznienie pracy poszczególnych studni ujęcia i umożliwienie sterowania poborem wód, w celu wymuszania pożądanych kierunków ich przepływu i migracji azotanów, a zatem w miarę możliwości ujmowania wody o jakości dopuszczalnej dla wód pitnych. Istotą koncepcji jest także kontrolowanie ilości wynoszonych ładunków azotanów z poziomu jury górnej.

Ujęcie Łobodno eksploatowane było z bardzo zróżnicowanymi wydatkami, ze względu na zmienne zapotrzebowanie na wodę, a także warunki pracy innych ujęć, zaopatrujących centralny wodociąg regionu częstochowskiego. Na tendencję spadkową zapotrzebowania wody w rejonach zaopatrywanych przez ujęcie Łobodno miały wpływ:

- malejące od roku 1995 zapotrzebowanie na wodę miasta Częstochowa, miasta i gminy Kłobuck oraz gminy Miedźno,
- konieczność utrzymania od roku 2006 reżimu technologicznego poboru oraz uzdatniania wody na ujęciu Wierzchowisko.

Jednak w najbliższych latach zapotrzebowanie na wodę z ujęcia Łobodno powinno wyraźnie wzrosnąć. Sterowanie pracą studni ujęcia Łobodno opracowano dla 12 wariantów wydajności eksploatacyjnych. Wydajności w poszczególnych wariantach pracy są zróżnicowane i gwarantują najniższą możliwą do uzyskania zawartość azotanów w wodzie dostarczanej do odbiorców (warianty: 1 ÷ 7) lub najwyższą ilość wynoszonego ładunku azotanów, przy zachowaniu stężenia w pobieranych wodach poniżej wartości dopuszczalnej (warianty: 8 ÷ 12). Warunki pracy ujęcia w poszczególnych wariantach przedstawia tabela 13.

Przy opracowaniu poszczególnych wariantów pracy ujęcia brano pod uwagę następujące czynniki i współzależności między nimi:

- aktualne wydajności eksploatacyjne studni,
- stężenia i ładunki azotanów w wodach ze studni (wg stanu na rok 2008),
- stężenia i ładunki azotanów w wodzie podawanej do odbiorców,

- czas pracy studni,
- uwarunkowania techniczne pracy studni,
- występowanie ognisk zanieczyszczeń w obszarze zasilania studni.

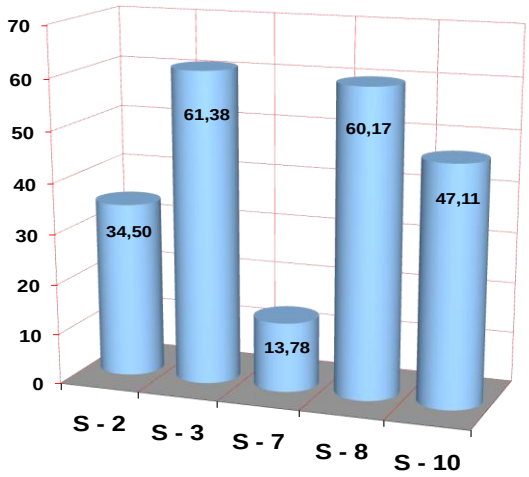
**Tabela 13.** Wydajności pracy ujęcia Łobodno w wariantach: 1 ÷ 12

| Numer wariantu | Wydajność godzinowa [$m^3$/h] | Wydajność dobowa [$m^3$/dobę] |
|---|---|---|
| 1 | 100 | 2 400 |
| 2 | 200 | 4 800 |
| 3 | 300 | 7 200 |
| 4 | 400 | 9 600 |
| 5 | 500 | 12 000 |
| 6 | 600 | 14 400 |
| 7 | 700 | 16 800 |
| 8 | 820 | 19 680 |
| 9 | 275 | 6 600 |
| 10 | 320 | 7 680 |
| 11 | 370 | 8 880 |
| 12 | 415 | 9 960 |

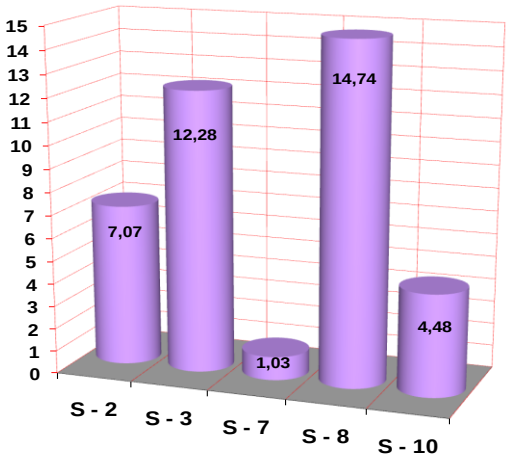
Opracowane warianty należy stosować w zależności od: (i) stężeń azotanów w wodzie ze studni, (ii) zapotrzebowania na wodę, (iii) warunków technicznych pracy ujęcia.

Średnie stężenia azotanów w drugim półroczu 2008 roku w wodach z poszczególnych studni eksploatacyjnych ujęcia Łobodna ilustruje ryc. 34. Ładunki azotanów możliwe do wyniesienia ze studni ujęcia Łobodno przedstawia ryc. 35. Najwięcej $NO_3$ zawiera 1 $m^3$ wody ze studni S – 8 (14,74 kg), najmniej ze studni S – 7 (1,03 kg). Określone dla poszczególnych studni wartości stężeń azotanów i ich ładunków wykorzystano w opracowanych symulacjach pracy studni.

W tabeli 14 porównano wydajności eksploatacyjne, średnią zawartość azotanów w drugim półroczu 2008 roku oraz obliczone łączne ilości azotanów, jakie ze studni ujęcia Łobodno mogą być usunięte w ciągu roku, podczas pracy z maksymalnym wydatkiem eksploatacyjnym. Największy ładunek azotanów podczas ciągłej pracy z wydajnością eksploatacyjną może być usuwany poprzez pompowanie S – 8 (około 31,6 tys. ton $NO_3$ rocznie) i S – 3 (około 21,5 tys. ton $NO_3$ rocznie). Obydwie studnie charakteryzuje bardzo wysoka wydajność eksploatacyjna i ponadnormatywne stężenie azotanów w czerpanych wodach. Nie ma zatem możliwości ich samodzielnej eksploatacji.




**Ryc. 34.** Stężenia azotanów (w mg $NO_3/dm^3$) w studniach ujęcia Łobodno – wartości średnie w drugim półroczu 2008 roku




**Ryc. 35.** Ładunki azotanów (w kg $NO_3/m^3$) wynoszone ze studni ujęcia Łobodna, podczas ich pracy z wydajnościami eksploatacyjnymi – drugie półrocze 2008 r.

Najniższa potencjalnie wartość wynoszonego rocznie podczas eksploatacji ładunku azotanów charakteryzuje studnię S – 7 (około 690 ton $NO_3$) oraz S – 10 (około 3,7 tys. ton $NO_3$). Eksploatacja studni S – 7 zdecydowanie wpływa na obniżenie ładunku, a tym samym stężeń azotanow w wodzie dostarczanej do odbiorców. Z tego powodu studnia ta powinna być eksploatowana ciągle we wszystkich rozpatrywanych wariantach pracy ujęcia. Studnia S – 10 powinna być również eksploatowana w miarę możliwości intensywnie. Należy wziąć pod uwagę, że w każdym z rozpatrywanych wariantów wszystkie studnie ujęcia muszą pracować w krótszym lub dłuższym okresie czasu. Dotyczy to także studni S – 3 i S – 8, w których stężenia azotanów przekraczają wartości dopuszczalne.

**Tabela 14**. Porównanie ładunków azotanów możliwych do wyniesienia podczas ciągłego pompowania poszczególnych studni ujęcia Łobodno z wydajnością eksploatacyjną

| Nr studni głębinowej | Wydajność eksploatacyjna | | Stężenia azotanów $NO_3$ | Ilość ładunku $NO_3$ możliwa do wyniesienia podczas pompowania z wydajnością eksploatacyjną w okresie | |
|---|---|---|---|---|---|
| | [$m^3$/h] | [$m^3$/rok] | [mg/$dm^3$] | 1 godz. [kg] | jednego roku [tony] |
| S – 2 | 205 | 1 795 800 | 34,50 | 7,072 | 12 999 |
| S – 3 | 200 | 1 752 000 | 61,38 | 12,276 | 21 507 |
| S – 7 | 75 | 657 000 | 13,78 | 1,033 | 697 |
| S – 8 | 245 | 2 146 200 | 60,17 | 14,741 | 31 637 |
| S – 10 | 95 | 832 200 | 47,11 | 4,475 | 3 724 |
| Stacja pomp∑ | 820 | 7 183 200 | ---- | 39,597 | 70 564 |

**Uwaga:** kolorem czerwonym oznaczono zawartości ponadnormatywne

Nie należy dopuszczać do długotrwałego wyłączania studni z eksploatacji (powyżej 3 dób), gdyż doprowadza to do stagnacji wód w otworach studziennych i strefach przyotworowych oraz wywołuje niekorzystne zmiany parametrów fizykochemicznych (np. wzrost stężeń zanieczyszczeń, mętności wody). Każdy długotrwały postój studni znacznie podnosi koszty eksploatacji ujęcia, gdyż wymusza wykonanie pompowań oczyszczających na wolny wypływ oraz dodatkowych analiz fizykochemicznych i bakteriologicznych wody. Dlatego każda studnia której wydajność jest ograniczana w określonym wariancie, powinna być włączana do eksploatacji co 3 doby, na okres około jednej godziny. Powinno to zapewnić utrzymanie dostatecznych warunków w strefach przyotworowych, co warunkuje utrzymanie sprawności studni i ich gotowości do pracy. Z kolei, minimalny okres pracy załączanych studni ograniczy ich wpływ na zmiany stężenia azotanów w wodzie podawanej do odbiorców. Czas pracy każdej studni powinien być także zsynchronizowany z czasem opróbowywania poszczególnych studni, stwarzając warunki umożliwiające właściwy pobór prób wody.

Poniżej przedstawiono warianty eksploatacji studni. Wybór określonego wariantu uzależniony jest od zapotrzebowania na wodę, a także może mieć na celu wyniesienie części ładunku azotanów z eksploatowanej warstwy wodonośnej. W poszczególnych wariantach wydzielono studnie przeznaczone do eksploatacji ciągłej. W wariantach 1 ÷ 8 symulowano pracę ujęcia ze wzrastającą wydajnością, włączając stopniowo (w każdym z kolejnych wariantów) studnie pompujące wodę o coraz większej zawartości azotanów.

***<u>Wariant 1.</u> Eksploatacja ujęcia Łobodno z wydajnością 100 $m^3$/h (2 400 $m^3$/d)***

Wariant 1 stosowany może być tylko w przypadku bardzo niewielkiego zapotrzebowania na wodę. Ciągle eksploatuje się tylko studnię S – 7, włączając okresowo studnię S – 10, przy czym studnie S – 2, S – 3 i S – 8 nie pracują. Średnie stężenie azotanów w wodzie podawanej do odbiorców wyniesie 22,11 mg $NO_3$/$dm^3$, a maksymalny łączny ładunek azotanów wyniesionych z warstwy wodonośnej – 1 677 ton $NO_3$/rok. Warunki pracy ujęcia wg wariantu 1 przedstawia tabela 15.

**Tabela: 15**. Warunki eksploatacji ujęcia Łobodno – wariant 1 (wydajność 100 $m^3$/h)

| Wyszczególnienie | Studnie eksploatowane ciągle | Studnie włączane okresowo | Studnie nie eksploatowane |
|---|---|---|---|
| Numery studni | S – 7 | S – 10 | S – 2, S – 3, S – 8 |
| Wydajność eksploatacyjna studni [$m^3$/h] | **75** | **95** | ---- |
| Wydajność ujęcia: **100** [$m^3$/h] | **75** | **25** | ---- |
| Stężenie azotanów [mg $NO_3$/$dm^3$] | **13,78** | **47,11** | ---- |
| Wynoszony ładunek azotanów [ton $NO_3$/rok] | **697** | **980** (przy eksploatacji średniorocznej 25 $m^3$/h) | ---- |
| Średnie stężenie azotanów | **22,11** mg $NO_3$/$dm^3$ | | ---- |
| Wynoszony łączny ładunek azotanów | **1 677** t $NO_3$/rok | | ---- |

***<u>Wariant 2.</u> Eksploatacja ujęcia Łobodno z wydajnością 200 $m^3$/h (4 800 $m^3$/d)***

W wariancie 2 przewiduje się ciągłą eksploatację studni S – 7 i S – 10 oraz w razie konieczności okresowe włączanie studni S – 2. Studnie S – 3 i S – 8 nie pracują. Średnie stężenie azotanów w wodzie podawanej do odbiorców wyniesie 31,92 mg $NO_3$/$dm^3$, a maksymalny łączny ładunek wyniesionych azotanów z warstwy wodonośnej – 6 323 tony $NO_3$/rok. Warunki pracy ujęcia wg wariantu 2 przedstawia tabela 16.

**Tabela: 16**. Warunki eksploatacji ujęcia Łobodno – wariant 2 (wydajność 200 $m^3$/h)

| Wyszczególnienie | Studnie eksploatowane ciągle | Studnie włączane okresowo | Studnie nie eksploatowane |
|---|---|---|---|
| Numery studni | S – 7, S – 10 | S – 2 | S – 3, S – 8 |
| Wydajność eksploatacyjna studni [$m^3$/h] | S – 7: **75**<br>S – 10: **95** | **205** | ---- |
| Wydajność ujęcia: 200 [$m^3$/h] | **170** | **30** | ---- |
| Stężenie azotanów [mg $NO_3$/$dm^3$] | S – 7: **13,78**<br>S – 10: **47,11** | **34,50** | ---- |
| Wynoszony ładunek azotanów [ton $NO_3$/rok] | S – 7: **697**<br>S – 10: **3 724**<br>∑ **4 421** | **1902** (przy eksploatacji średniorocznej 30 $m^3$/h) | ---- |
| Średnie stężenie azotanów | **31,92** mg $NO_3$/$dm^3$ | | ---- |
| Wynoszony łączny ładunek azotanów | **6 323** tony $NO_3$/rok | | ---- |

***<u>Wariant 3</u>. Eksploatacja ujęcia Łobodno z wydajnością 300 $m^3$/h (7 200 $m^3$/d)***

W wariancie 3 podobnie jak w wariancie 2 przewiduje się ciągłą eksploatację studni S – 7 i S – 10. Różnica polega na zwiększeniu poboru przez okresowe włączanie studni S – 2. Studnie S – 3 i S – 8 nie pracują. Średnie stężenie azotanów w wodzie podawanej do odbiorców wyniesie 33,30 mg $NO_3$/$dm^3$, a maksymalny łączny ładunek wyniesionych azotanów – 12 664 tony $NO_3$/rok. Warunki pracy ujęcia wg wariantu 3 przedstawia tabela 17.

**Tabela: 17**. Warunki eksploatacji ujęcia Łobodno – wariant 3 (wydajność 300 $m^3$/h)

| Wyszczególnienie | Studnie eksploatowane ciągle | Studnie włączane okresowo | Studnie nie eksploatowane |
|---|---|---|---|
| Numery studni | S – 7, S – 10 | S – 2 | S – 3, S – 8 |
| Wydajność eksploatacyjna studni [$m^3$/h] | S – 7: **75**<br>S – 10: **95** | **205** | ---- |
| Wydajność ujęcia: **300** [$m^3$/h] | **170** | **130** | ---- |
| Stężenie azotanów [mg $NO_3$/$dm^3$] | S – 7: **13,78**<br>S – 10: **47,11** | **34,50** | ---- |
| Wynoszony ładunek azotanów [ton $NO_3$/rok] | S – 7: **697**<br>S – 10: **3 724**<br>∑ **4 421** | **8243** ton (przy eksploatacji średniorocznej 130 $m^3$/h) | ---- |
| Średnie stężenie azotanów | **33,30** mg $NO_3$/$dm^3$ | | ---- |
| Wynoszony łączny ładunek azotanów | **2 664** tony $NO_3$/rok | | ---- |

***<u>Wariant 4.</u> Eksploatacja ujęcia Łobodno z wydajnością 400 $m^3$/h (9 600 $m^3$/d)***

W wariancie 4 ciągle eksploatowane są studnie S – 2, S – 7 i S – 10. W razie potrzeby przewiduje się okresowe włączanie studni S – 3. Studnia S – 8 nie pracuje. Średnie stężenie azotanów w wodzie podawanej do odbiorców wyniesie 35,29 mg $NO_3$/$dm^3$, a maksymalny łączny ładunek wyniesionych azotanów z warstwy wodonośnej – 20 108 ton $NO_3$/rok. Warunki pracy ujęcia wg wariantu 4 przedstawia tabela 18.

**Tabela: 18**. Warunki eksploatacji ujęcia Łobodno – wariant 4 (wydajność 400 $m^3$/h).

| Wyszczególnienie | Studnie eksploatowane ciągle | Studnie włączane okresowo | Studnie nie eksploatowane |
|---|---|---|---|
| Numery studni | S – 2, S – 7, S – 10 | S – 3 | S – 8 |
| Wydajność eksploatacyjna studni [$m^3$/h] | S – 7: **75**<br>S – 10: **95**<br>S – 2: **205** | **200** | ---- |
| Wydajność ujęcia: **400** [$m^3$/h] | **375** | **25** | ---- |
| Stężenie azotanów [mg $NO_3/dm^3$] | S – 7: **13,78**<br>S - 10: **47,11**<br>S – 2: **34,50** | **61,38** | ---- |
| Wynoszony ładunek azotanów [ton $NO_3$/rok] | S – 7: **697**<br>S – 10: **3 724**<br>S – 2: **12 999**<br>∑ **17 420** | **2688** (przy eksploatacji średniorocznej 25 $m^3$/h) | ---- |
| Średnie stężenie azotanów | **35,29** mg $NO_3/dm^3$ | | ---- |
| Wynoszony łączny ładunek azotanów | **20 108** ton $NO_3$/rok | | ---- |

**Uwaga:** kolorem czerwonym oznaczono zawartości ponadnormatywne azotanów

### ***Wariant 5. Eksploatacja ujęcia Łobodno z wydajnością 500 $m^3$/h (12 000 $m^3$/d)***

W wariancie 5 podobnie jak w wariancie 4 ciągle eksploatowane są studnie S – 2, S – 7 i S – 10. Różnica polega na znacznie intensywniejszej eksploatacji studni S – 3. Studnia nr 8 nie pracuje. Średnie stężenie azotanów w wodzie podawanej do odbiorców wyniesie 40,50 mg $NO_3/dm^3$, a maksymalny łączny ładunek wyniesionych azotanów z warstwy wodonośnej – 30 862 ton $NO_3$/rok. Warunki pracy ujęcia wg wariantu 5 przedstawiono w tabeli 19.

**Tabela: 19**. Warunki eksploatacji ujęcia Łobodno – wariant 5 (wydajność 500 $m^3$/h)

| Wyszczególnienie | Studnie eksploatowane ciągle | Studnie włączane okresowo | Studnie nie eksploatowane |
|---|---|---|---|
| Numery studni | S – 2, S – 7, S – 10 | S – 3 | S – 8 |
| Wydajność eksploatacyjna studni [$m^3$/h] | S – 7: **75**<br>S – 10: **95**<br>S – 2: **205** | **200** | ---- |
| Wydajność ujęcia: **500** [$m^3$/h] | **375** | **125** | ---- |
| Stężenie azotanów [mg $NO_3/dm^3$] | S – 7: **13,78**<br>S – 10: **47,11**<br>S – 2: **34,50** | **61,38** | ---- |
| Wynoszony ładunek azotanów [ton $NO_3$/rok] | S – 7: **697**<br>S – 10: **3 724**<br>S – 2: **12 999**<br>∑ **17 420** | **13 442** (przy eksploatacji średniorocznej 125 $m^3$/h) | ---- |
| Średnie stężenie azotanów | **40,50 mg** $NO_3/dm^3$ | | ---- |
| Wynoszony łączny ładunek azotanów | **30 862 tony** $NO_3$/rok | | ---- |

**Uwaga:** kolorem czerwonym oznaczono zawartości ponadnormatywne azotanów

***<u>Wariant 6.</u> Eksploatacja ujęcia Łobodno z wydajnością 600 $m^3$/h (14 400 $m^3$/d)***

W wariancie 6 ciągle eksploatowane są studnie S – 2, S – 3, S – 7 i S – 10. Studnia S – 8 jest włączana tylko w przypadku takiej potrzeby. Średnie stężenie azotanów w wodzie podawanej do odbiorców wyniesie 43,94 mg $NO_3$/$dm^3$, a maksymalny łączny ładunek wyniesionych azotanów z warstwy wodonośnej – 42 155 ton $NO_3$/rok. Warunki pracy ujęcia wg wariantu 6 przedstawiono w tabeli 20.

**Tabela: 20**. Warunki eksploatacji ujęcia Łobodno – wariant 6 (wydajność 600 $m^3$/h)

| Wyszczególnienie | Studnie eksploatowane ciągle | Studnie włączane okresowo |
|---|---|---|
| Numery studni | S – 2, S – 7, S – 10, S – 3 | S – 8 |
| Wydajność eksploatacyjna studni [$m^3$/h] | S – 7: **75**<br>S – 10: **95**<br>S – 2: **205**<br>S – 3: **200** | **245** |
| Wydajność ujęcia: **600** [$m^3$/h] | **575** | **25** |
| Stężenie azotanów [mg $NO_3$/$dm^3$] | S – 7: **13,78**<br>S – 10: **47,11**<br>S – 2: **34,50**<br>S – 3: **61,38** | **60,17** |
| Wynoszony ładunek azotanów [ton $NO_3$/rok] | S – 7: **697**<br>S – 10: **3 724**<br>S – 2: **12 999**<br>S – 3: **21 507**<br>∑ **38 927** | **3 228**<br>(przy eksploatacji średniorocznej 25 $m^3$/h) |
| Średnie stężenie azotanów | **43,94** mg $NO_3$/$dm^3$ | |
| Wynoszony łączny ładunek azotanów | **42 155** ton $NO_3$/rok | |

**Uwaga:** kolorem czerwonym oznaczono zawartości ponadnormatywne azotanów

***<u>Wariant 7.</u> Eksploatacja ujęcia Łobodno z wydajnością 700 $m^3$/h (16 800 $m^3$/d)***

W wariancie 7 podobnie jak w wariancie 6 ciągle eksploatowane są studnie S – 2, S – 3, S – 7 i 10. Studnia S – 8 jest eksploatowana intensywniej. Średnie stężenie azotanów w wodzie podawanej do odbiorców wyniesie 46,25 mg $NO_3$/$dm^3$, a maksymalny łączny ładunek wyniesionych azotanów z warstwy wodonośnej – 55 068 ton $NO_3$/rok. Warunki pracy ujęcia wg wariantu 6 przedstawiono w tabeli 21.

**Tabela: 21**. Warunki eksploatacji ujęcia Łobodno – wariant 7 (wydajność 700 $m^3$/h)

| Wyszczególnienie | Studnie eksploatowane ciągle | Studnie włączane okresowo |
|---|---|---|
| Numery studni | S – 2, S – 7, S – 10, S – 3 | S – 8 |
| Wydajność eksploatacyjna studni [$m^3$/h] | S – 7: **75**<br>S – 10: **95**<br>S – 2: **205**<br>S – 3: **200** | **245** |
| Wydajność ujęcia: **700** [$m^3$/h] | **575** | **125** |
| Stężenie azotanów [mg $NO_3$/$dm^3$] | S – 7: **13,78**<br>S – 10: **47,11**<br>S – 2: **34,50**<br>S – 3: **61,38** | **60,17** |
| Wynoszony ładunek azotanów [ton $NO_3$/rok] | S – 7: **697**<br>S – 10: **3 724**<br>S – 2: **12 999**<br>S – 3: **21 507**<br>∑ = **38 927** | **16 141**<br>(przy eksploatacji średniorocznej 125 $m^3$/h) |
| Średnie stężenie azotanów | **46,25** mg $NO_3$/$dm^3$ | |
| Wynoszony łączny ładunek azotanów | **55 068** ton $NO_3$/rok | |

**Uwaga:** kolorem czerwonym oznaczono zawartości ponadnormatywne azotanów

***<u>Wariant 8.</u> Eksploatacja ujęcia Łobodno z wydajnością 820 $m^3$/h (19 680 $m^3$/d)***

W wariancie 8 wszystkie studnie ujęcia S – 2, S – 3, S – 7, S – 8 i S – 10 eksploatowane są z maksymalnymi wydatkami eksploatacyjnymi, z wydajnością łączną określoną w pozwoleniu wodnoprawnym na 820 $m^3$/h. Średnie stężenie azotanów w wodzie podawanej do odbiorców wyniesie 48,29 mg $NO_3$/$dm^3$, a maksymalny łączny ładunek wyniesionych azotanów z warstwy wodonośnej – 70 564 tony $NO_3$ rocznie. Warunki pracy ujęcia wg wariantu 8 przedstawia tabela 22.

**Tabela: 22**. Warunki eksploatacji ujęcia Łobodno – wariant 8 (wydajność 820 $m^3$/h)

| Wyszczególnienie | Studnie eksploatowane ciągle |
|---|---|
| Numery studni | S – 2, S – 7, S – 10, S – 3, S – 8 |
| Wydajność eksploatacyjna studni [$m^3$/h] | S – 7: **75**<br>S – 10: **95**<br>S – 2: **205**<br>S – 3: **200**<br>S – 8: **245** |
| Wydajność ujęcia | **820** $m^3$/h |
| Średnie stężenie azotanów [mg $NO_3$/$dm^3$] | S – 7: **13,78**<br>S – 10: **47,11**<br>S – 2: **34,50**<br>S – 3: **61,38**<br>S – 8: **60,17** |
| Wynoszony ładunek azotanów [ton $NO_3$/rok] | S – 7: **697**<br>S – 10: **3 724**<br>S – 2: **12 999**<br>S – 3: **21 507**<br>S – 8: **31 637** |
| Średnie stężenie azotanów | **48,29** mg $NO_3$/$dm^3$ |
| Wynoszony łączny ładunek azotanów | **70 564** tony $NO_3$/rok |

**Uwaga:** kolorem czerwonym oznaczono zawartości ponadnormatywne azotanów

W celu eksploatacji ujęcia w warunkach zapewniających wynoszenie znacznych ilości ładunku azotanów z warstwy wodonośnej, przy zachowaniu dopuszczalnych norm stężenia azotanów w wodzie podawanej do odbiorców przeanalizowano kolejne warianty pracy ujęcia: 9 ÷ 12. W każdej z 4 symulacji eksploatuje się ciągle studnię S – 7 (z najmniejszym stężeniem azotanów) oraz studnie: S – 3 lub S – 8 (z ponadnormatywnymi stężeniami). W dwóch przypadkach zasymulowano także pracę studni S – 10.

***<u>Wariant 9.</u> Eksploatacja ujęcia Łobodno z wydajnością 275 $m^3$/h (6 600 $m^3$/d)***

W wariancie 9 pracują studnie S – 7 i S – 3 z wydatkami eksploatacyjnymi. Średnie stężenie azotanów w wodzie podawanej do odbiorców wyniesie 48,40 mg $NO_3$/$dm^3$, a maksymalny łączny ładunek wyniesionych azotanów z warstwy wodonośnej – 22 204 tony $NO_3$/rok. Warunki pracy ujęcia wg wariantu 9 przedstawia tabela 23.

**Tabela: 23**. Warunki eksploatacji ujęcia Łobodno – wariant 9 (wydajność 275 $m^3/h$)

| Wyszczególnienie | Studnie eksploatowane ciągle | Studnie nie eksploatowane |
|---|---|---|
| Numery studni | S – 7, S – 3 | S – 2, S – 8, S – 10 |
| Wydajność eksploatacyjna studni [$m^3/h$] | S – 7: **75**<br>S – 3: **200** | ---- |
| Wydajność ujęcia | **275** $m^3/h$ | |
| Stężenie azotanów [mg $NO_3/dm^3$] | S – 7: **13,78**<br>S – 3: **61,38** | ---- |
| Wynoszony ładunek azotanów [ton $NO_3$ / rok] | S – 7: **697**<br>S – 3: **21 507** | ---- |
| Średnie stężenie azotanów | **48,40** mg $NO_3/dm^3$ | |
| Wynoszony łączny ładunek azotanów | **22 204** tony $NO_3$/rok | |

**Uwaga:** kolorem czerwonym oznaczono zawartości ponadnormatywne azotanów

***<u>Wariant 10.</u> Eksploatacja ujęcia Łobodno z wydajnością 320 $m^3/h$ (7 680 $m^3/d$)***

W wariancie 10 pracują studnie S – 7 i S – 8 z wydatkami eksploatacyjnymi. Średnie stężenie azotanów w wodzie podawanej do odbiorców wyniesie 49,30 mg $NO_3/dm^3$, a maksymalny łączny ładunek wyniesionych azotanów z warstwy wodonośnej – 32 334 tony $NO_3$ rocznie. Warunki pracy ujęcia wg wariantu 10 przedstawia tabela 24.

**Tabela: 24**. Warunki eksploatacji ujęcia Łobodno – wariant 10 (wydajność 320 $m^3/h$)

| Wyszczególnienie | Studnie eksploatowane ciągle | Studnie nie eksploatowane |
|---|---|---|
| Numery studni | S – 7, S – 8 | S – 2, S – 3, S – 10 |
| Wydajność eksploatacyjna studni [$m^3/h$] | S – 7: **75**<br>S – 8: **245** | ---- |
| Wydajność ujęcia | **320** $m^3/h$ | |
| Stężenie azotanów [mg $NO_3/dm^3$] | S – 7: **13,78**<br>S – 8: **60,17** | ---- |
| Wynoszony ładunek azotanów [ton $NO_3$/rok] | S – 7: **697**<br>S – 8: **31 637** | ---- |
| Średnie stężenie azotanów | **49,30** mg $NO_3/dm^3$ | |
| Wynoszony łączny ładunek azotanów | **32 334** tony $NO_3$/rok | |

**Uwaga:** kolorem czerwonym oznaczono zawartości ponadnormatywne azotanów

***<u>Wariant 11.</u> Eksploatacja ujęcia Łobodno z wydajnością 370 m$^3$/h (8 880 m$^3$/d)***

W wariancie 11 pracują studnie S – 7, S – 3 i S – 10 z wydatkami eksploatacyjnymi. Średnie stężenie azotanów w wodzie podawanej do odbiorców wyniesie 48,06 mg $NO_3$/dm$^3$, a maksymalny łączny ładunek wyniesionych azotanów z warstwy wodonośnej – 25 928 tony $NO_3$/rok. Warunki pracy ujęcia wg wariantu 11 przedstawia tabela 25.

**Tabela: 25**. Warunki eksploatacji ujęcia Łobodno – wariant 11 (wydajność 370 m$^3$/h)

| Wyszczególnienie | Studnie eksploatowane ciągle | Studnie nie eksploatowane |
|---|---|---|
| Numery studni | S – 7, S – 3, S – 10 | S – 2, S – 8 |
| Wydajność eksploatacyjna studni [m$^3$/h] | S – 7: **75**<br>S – 3: **200**<br>S – 10: **95** | ---- |
| Wydajność ujęcia | **370** m$^3$/h | |
| Stężenie azotanów [$NO_3$/dm$^3$] | S – 7: **13,78** mg<br>S – 3: **61,38** mg<br>S – 10: **47,11** mg | ---- |
| Wynoszony ładunek azotanów [ton $NO_3$/rok] | S – 7: **697**<br>S – 3: **21 507**<br>S – 10: **3 724** | ---- |
| Średnie stężenie azotanów | **48,06** mg $NO_3$/dm$^3$ | |
| Wynoszony łączny ładunek azotanów | **25 928** ton $NO_3$/rok | |

**Uwaga:** kolorem czerwonym oznaczono zawartości ponadnormatywne azotanów

***<u>Wariant 12.</u> Eksploatacja ujęcia Łobodno z wydajnością 415 m$^3$/h (9 960 m$^3$/d)***

W wariancie 12 pracują studnie S – 7, S – 8 i S – 10 z wydatkami eksploatacyjnymi. Średnie stężenie azotanów w wodzie podawanej do odbiorców wyniesie 48,06 mg $NO_3$/dm$^3$, a maksymalny łączny ładunek wyniesionych azotanów z warstwy wodonośnej – 25 928 ton $NO_3$/rok. Warunki pracy ujęcia wg wariantu 12 przedstawia tabela 26.

**Tabela: 26**. Warunki eksploatacji ujęcia Łobodno – wariant 12 (wydajność 415 $m^3$/h)

| Wyszczególnienie | Studnie eksploatowane ciągle | Studnie nie eksploatowane |
|---|---|---|
| Numery studni | S – 7, S – 8, S – 10 | S – 2, S – 3 |
| Wydajność eksploatacyjna studni [$m^3$/h] | S – 7: **75**<br>S – 8: **245**<br>S – 10: **95** | ---- |
| Wydajność ujęcia | **415** $m^3$/h | |
| Stężenie azotanów [mg $NO_3/dm^3$] | S – 7: **13,78**<br>S – 8: **60,17**<br>S – 10: **47,11** | ---- |
| Wynoszony ładunek azotanów [ton $NO_3$/rok] | S – 7: **697**<br>S – 8: **31 637**<br>S – 10: **3 724** | ---- |
| Średnie stężenie azotanów | **48,80** mg $NO_3/dm^3$ | |
| Wynoszony łączny ładunek azotanów | **36 058** ton $NO_3$/rok | |

**Uwaga:** kolorem czerwonym oznaczono zawartości ponadnormatywne azotanów

W tabeli 27 zestawiono proponowane warianty (1 ÷ 12) eksploatacji ujęcia Łobodna z wyszczególnieniem symulowanego stężenia i ładunków azotanów w wodach. Wynika z niej, że:

- w żadnym z wariantów nie przekroczono wartości dopuszczalnej stężenia azotanów w wodach do picia (50 mg $NO_3/dm^3$),
- w symulacjach (1 ÷ 8) stwierdza się wzrost stężenia i wielkości wynoszonego ładunku azotanów ze wzrostem całkowitej wydajności ujęcia, odpowiednio w granicach:
  100 $m^3$/h → 820 $m^3$/h,
  22,11 mg $NO_3/dm^3$ → 48,29 mg $NO_3/dm^3$,
  1 677 ton $NO_3$/rok → 70 564 ton $NO_3$/rok,
- najniższe stężenia azotanów w ujmowanych wodach występują w wariantach, w których nie eksploatuje się studni S – 3 i S – 8: są to warianty: 1 ÷ 5, ze stężeniem azotanów: 22,11 ÷ 40,50 mg $NO_3/dm^3$, przy wydatkach: 100 ÷ 500 $m^3$/h,
- najwyższe zawartości azotanów w ujmowanych wodach występują w wariantach, w których eksploatuje się studnie S – 3 i S – 8: są to warianty: 6 ÷ 12, ze stężeniami azotanów: 43,94 ÷ 49,30 mg $NO_3/dm^2$, przy wydajnościach: 275 ÷ 820 $m^3$/h,
- największy ładunek azotanów (70 564 ton $NO_3$/rok) wynoszony jest z warstwy wodonośnej w wariancie 8, w którym z wydajnością eksploatacyjną pracują studnie: S – 3 i S – 8.

**Tabela: 27**. Zbiorcze zestawienie wariantów (1 ÷ 12) eksploatacji ujęcia Łobodna z wyszczególnieniem symulowanego stężenia i ładunków azotanów

| Numer wariantu | Wydajność [$m^3$/h] | Studnie eksploatowane ciągle | | Studnie eksploatowane okresowo | | Stężenie azotanów [mg $NO_3/dm^3$] | Wynoszony ładunek azotanów [ton $NO_3$ /rok] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | numer | wydajność [$m^3$/h] | numer | wydajność [$m^3$/h] | | |
| **1** | 100 | S – 7 | 75 | S – 10 | 25 | 22,11 | 1 677 |
| **2** | 200 | S – 7<br>S – 10 | 75<br>95 | S – 2 | 30 | 31,92 | 6 323 |
| **3** | 300 | S – 7<br>S – 10 | 75<br>95 | S – 2 | 130 | 33,30 | 12 664 |
| **4** | 400 | S – 7<br>S – 10<br>S – 2 | 75<br>95<br>205 | S – 3 | 25 | 35,29 | 20 108 |
| **5** | 500 | S – 7<br>S – 10<br>S – 2 | 75<br>95<br>205 | S – 3 | 125 | 40,50 | 30 862 |
| **6** | 600 | S – 7<br>S – 10<br>S – 2<br>S – 3 | 75<br>95<br>205<br>200 | S – 8 | 25 | 43,94 | 42 155 |
| **7** | 700 | S – 7<br>S – 10<br>S – 2<br>S – 3 | 75<br>95<br>205<br>200 | S – 8 | 125 | 46,25 | 55 068 |
| **8** | 820 | S – 7<br>S – 10<br>S – 2<br>S – 3<br>S – 8 | 75<br>95<br>205<br>200<br>245 | ---- | ---- | 48,29 | 70 564 |
| **9** | 275 | S – 7<br>S – 3 | 75<br>200 | ---- | ---- | 48,40 | 22 204 |
| **10** | 320 | S – 7<br>S – 8 | 75<br>245 | ---- | ---- | 49,30 | 32 334 |
| **11** | 370 | S – 7<br>S – 3<br>S – 10 | 75<br>200<br>95 | ---- | ---- | 48,06 | 25 928 |
| **12** | 415 | S – 7<br>S – 8<br>S – 10 | 75<br>245<br>95 | ---- | ---- | 48,80 | 36 058 |

**Uwaga:** kolorem czerwonym oznaczono studnie z wodami o ponadnormatywnych stężeniach azotanów

Wybór określonego wariantu jest zdeterminowany zapotrzebowaniem na wodę, ale również należy wziąć pod uwagę warunki eksploatacji każdej studni i wpływ poboru wody z poszczególnych otworów studziennych, na kształtowanie się dynamiki i składu chemicznego wód podziemnych:

– ciągła eksploatacja studni S – 7 zapewnia dostawę wody o stężeniu azotanów na bezpiecznym poziomie ,

- eksploatacja studni S – 10, w której zasięgu oddziaływania znajdują się liczne ogniska zanieczyszczeń z obszaru Kłobucka, będzie stanowić barierę hydrauliczną, w pewnym stopniu ograniczają migrację azotanów w kierunku wschodnim, tj. w kierunku studni S – 3 i S – 8: studnię S – 10, mimo znaczącego przyrostu stężeń azotanów należy eksploatować nadal, jej ewentualne wyłączenie z eksploatacji spowoduje migrację azotanów w kierunku wschodnim i kumulację ładunku w obszarze zasilania studni,
- pobór wód ze studni S – 3 i S – 8 pracujących z wydajnościami eksploatacyjnymi, zapewni wynoszenie skumulowanego ładunku azotanów, z ujmowanego poziomu jury górnej, co przy mniejszym wnoszeniu (niż wynoszeniu) do warstwy wodonośnej, przyczyni się do ich częściowego oczyszczenia: przejawi się to spadkiem stężeń azotanów w wodzie w trakcie ciągłej eksploatacji wymienionych studni – sytuacja potwierdzająca taki stan rzeczy miała miejsce podczas pompowania studni S – 3 w 2004 roku (por. rozdz. 7.1.6),
- wyłączenie z eksploatacji studni S – 3 i S – 8 prowadzi, w przypadku nawet ograniczonej dostawy ładunku azotanów do warstwy wodonośnej, do kumulacji i wzrostu stężeń w ujmowanych wodach: dlatego w wyniku obserwowanego od kilkunastu lat znacznego, stopniowego ograniczania wydajności ujęcia Łobodno i jednoczesnego zadawania dużych ilości azotanów do poziomu jury górnej z lokalnych ognisk zanieczyszczeń w Łobodnie, doszło do silnego zanieczyszczenia ujmowanych wód podziemnych,
- ciągłe pomopowanie studni S – 3 i/lub S – 8 z wydajnościami eksploatacyjnymi doprowadzi do znacznego obniżenia stężeń azotanów w ujmowanych wodach, w czasie około dwóch tygodni, a w dłuższej perspektywie czasowej do częściowej remediacji (oczyszczenia) warstwy wodonośnej.

Istotna redukcja stężeń azotanów w warstwie wodonośnej wymaga radykalnego zmniejszenia ich dostawy z powierzchni, tj. likwidacji ognisk zanieczyszczeń i kontroli istniejących studni kopanych w Łobodnie.

Przedstawione warianty nie wyczerpują wszystkich możliwości eksploatacji ujęcia Łobodno. W wariantach założono pracę studni S – 2 i S – 8 z wydajnościami eksploatacyjnymi (200 ÷ 245 $m^3$/h), co przy aktualnych bardzo niskich poborach wody z tego ujęcia (średniorocznie za rok 2008 – 133 $m^3$/h), zdecydowanie ogranicza możliwości pracy wymienionych studni. Studnie włączane są do eksploatacji bardzo rzadko, co powoduje kumulację ładunku azotanów w ich strefach przyotworowych. Aby ładunek azotanów w wodach eksploatowanych zmniejszał się, niezbędna jest ich intensywniejsza eksploatacja. Zatem proponuje się okresowe obniżenie wydajności eksploatacyjnych studni S – 2 i S – 3 do

około 100 $m^3$/h każda. Spowoduje to możliwość ich częstszej eksploatacji oraz elastyczniejszą pracę ujęcia. Najważniejszym jednak efektem proponowanej zmiany będzie zwiększenie ładunku wynoszonych azotanów (oczyszczanie wód podziemnych), dzięki możliwości dłuższej pracy wymienionych studni. Dlatego opracowano dodatkowe warianty pracy ujęcia Łobodo (13 ÷ 15), które będą możliwe do zastosowania po wymianie podwodnych agregatów pompowych. Praca aktualnie zainstalowanych agregatów w warunkach ograniczania wydatków jest nieekonomiczna i prowadzi do znacznie szybszego ich zużycia. Po wymianie podwodnych agregatów pompowych wydajność eksploatacyjna studni S – 3 i S – 8 wynosić będzie po około 100 $m^3$/h, a wydajność eksploatacyjna całego ujęcia zmniejszy się o 245 $m^3$ tj. z 820 $m^3$/h do 575 $m^3$/h. Sposoby sterowania pracą poszczególnych studni ujęcia Łobodno opracowano dla 3 wariantów pracy ujęcia, przy założeniu, że studnie S – 3 i S – 8 będą pracować ze zmniejszoną wydajnością (tj. po około 100 $m^3$/h). Porównanie ładunków azotanów możliwych do wyniesienia podczas ciągłego pompowania poszczególnych studni ujęcia Łobodno w tych warunkach przedstawiono w tabeli 28.

**Tabela 28.** Porównanie ładunków azotanów możliwych do wyniesienia podczas ciągłego pompowania studni ujęcia Łobodno (S – 3 i S – 8) z obniżoną wydajnością

| Nr studni głębinowej | Wydajność | | Stężenia $NO_3$ | Ilość ładunku $NO_3$ możliwa do wyniesienia podczas pompowania w okresie | |
|---|---|---|---|---|---|
| | [$m^3$/h] | [$m^3$/rok] | [mg/$dm^3$] | 1 godz. [kg] | 1 roku [tony] |
| S – 2 | 205 | 1 795 800 | 34,50 | 7,072 | 12 999 |
| S – 3 | **100** | **876 000** | 61,38 | **6,138** | **5 377** |
| S – 7 | 75 | 657 000 | 13,78 | 1,033 | 697 |
| S – 8 | **100** | **876 000** | 60,17 | **6,017** | **5 271** |
| S – 10 | 95 | 832 200 | 47,11 | 4,475 | 3 724 |
| Stacja pomp∑ | **575** | **5 037 000** | ---- | **24,735** | **28 068** |

**Uwaga:** kolorem czerwonym oznaczono zawartości ponadnormatywne

W wariantach: 13 ÷ 15 symulowano pracę ujęcia Łobodno z możliwą do osiągnięcia w aktualnych warunkach zapotrzebowania wydajnością gwarantującą najniższą możliwą do uzyskania zawartość azotanów w wodzie dostarczanej do odbiorców, przy założeniu że studnie S – 3 i S – 8 eksploatowane będą z wydajnością około 100 $m^3$/h:

– wariant 13: 175 $m^3$/h (4 200 $m^3$/d: S – 7 + S – 8),
– wariant 14: 175 $m^3$/h (4 200 $m^3$/d: S – 7 + S – 3),
– wariant 15: 275 $m^3$/h (6 000 $m^3$/d: S – 7 + S – 3 + S – 8).

***<u>Wariant 13.</u> Eksploatacja ujęcia Łobodno podczas pracy studni S – 7 (Q = 75 $m^3$/h) i studni S – 8 (Q = 100 $m^3$/h)***

Wariant 13 można zastosować tylko w przypadku niewielkiego zapotrzebowania na wodę. Ciągle eksploatowane są studnie S – 7 i S – 8, a S – 2, S – 3 i S – 10 nie pracują. Średnie stężenie azotanów w wodzie podawanej do odbiorców wyniesie 40,29 mg $NO_3$/$dm^3$, a maksymalny łączny ładunek wyniesionych azotanów z warstwy wodonośnej – 5 968 ton $NO_3$/rok. Warunki pracy ujęcia wg wariantu 13 przedstawia tabela 29.

**Tabela: 29**. Warunki eksploatacji ujęcia Łobodno – wariant 13: studnia S – 7 (Q = 75 $m^3$/h) i S – 8 (Q = 100 $m^3$/h)

| Wyszczególnienie | Studnie eksploatowane ciągle | Studnie nie eksploatowane |
|---|---|---|
| Numery studni | S – 7, S – 8 | S – 2, S – 3, S – 10 |
| Wydajność eksploatacyjna studni [$m^3$/h] | S – 7: **75**<br>S – 8: **100** | ---- |
| Wydajność ujęcia | **175** $m^3$/h | |
| Stężenie azotanów [mg $NO_3$/$dm^3$] | S – 7: **13,78**<br>S – 8: **60,17** | ---- |
| Wynoszony ładunek azotanów [ton $NO_3$/rok] | S – 7: **697**<br>S – 8: **5 271** | ---- |
| Średnie stężenie azotanów | **40,29** mg $NO_3$/$dm^3$ | |
| Wynoszony łączny ładunek azotanów | **5 968** ton $NO_3$/rok | |

**Uwaga:** kolorem czerwonym oznaczono zawartości ponadnormatywną

Eksploatacja studni wg wariantu 13 zapewni bezpieczną, pod względem zawartości azotanów, wodę dostarczaną do odbiorców, a jednocześnie nie będzie powodował kumulacji ładunku azotanów w strefie przyotworowej studni S – 8.

***<u>Wariant 14.</u> Eksploatacja ujęcia Łobodno podczas pracy studni S – 7 (Q = 75 $m^3$/h) i studni S – 3 (Q = 100 $m^3$/h)***

Wariant 14 stosowany może być tylko w przypadku niewielkiego zapotrzebowania na wodę. Ciągle eksploatuje się studnię S – 7 i S – 3. Studnie S – 2, S – 8 i S – 10 nie pracują. Średnie stężenie azotanów w wodzie podawanej do odbiorców wyniesie 40,98 mg $NO_3$/$dm^3$, a maksymalny łączny ładunek wyniesionych azotanów z warstwy wodonośnej – 6 074 ton $NO_3$/rok. Warunki pracy ujęcia wg wariantu 14 przedstawia tabela 30.

**Tabela: 30**. Warunki eksploatacji ujęcia Łobodno – wariant 14: studnia S – 7 (Q = 75 $m^3$/h) i S – 3 (Q = 100 $m^3$/h)

| Wyszczególnienie | Studnie eksploatowane ciągle | Studnie nie eksploatowane |
|---|---|---|
| Numery studni | S – 7, S – 3 | S – 2, S – 8, S – 10 |
| Wydajność eksploatacyjna studni [$m^3$/h] | S – 7: **75**<br>S – 3: **100** | ---- |
| Wydajność ujęcia | **175** $m^3$/h | |
| Stężenie azotanów [mg $NO_3$/$dm^3$] | S – 7: **13,78**<br>S – 3: **61,38** | ---- |
| Wynoszony ładunek azotanów [ton $NO_3$/rok] | S – 7: **697**<br>S – 3: **5 377** | ---- |
| Średnie stężenie azotanów | **40,98** mg $NO_3$/$dm^3$ | |
| Wynoszony łączny ładunek azotanów | **6 074** ton $NO_3$/rok | |

**Uwaga:** kolorem czerwonym oznaczono zawartości ponadnormatywne

Eksploatacja studni wg wariantu 14 zapewni bezpieczną wodę dostarczaną do odbiorców, pod względem zawartości azotanów, a jednocześnie nie będzie powodował kumulacji ładunku azotanów w strefie przyotworowej studni S – 3.

### ***Wariant 15.*** *Eksploatacja ujęcia Łobodno* **podczas pracy studni S – 7 (Q = 75 $m^3$/h), studni S – 3 (Q = 100 $m^3$/h) i studni S – 8 (Q = 100 $m^3$/h)**

Wariant 15 może być stosowany w przypadku zwiększonego zapotrzebowania na wodę. Ciągle eksploatowane są studnie S – 7, S – 3 i S – 8. Studnie S – 2 i S – 10 nie pracują. Średnie stężenie azotanów w wodzie podawanej do odbiorców wyniesie 47,96 mg $NO_3$/$dm^3$, a maksymalny łączny ładunek wyniesionych azotanów z warstwy wodonośnej – 11 345 ton $NO_3$/rok. Eksploatacja studni wg wariantu 15 zapewni w wodzie dostarczanej do odbiorców stężenie azotanów poniżej wartości dopuszczalnej, a jednocześnie nie będzie powodowała kumulacji ładunku azotanów w strefach przyotworowych studni S – 3 i S – 8. Warunki pracy ujęcia wg wariantu 15 przedstawia tabela 31.

**Tabela: 31**. Warunki eksploatacji ujęcia Łobodno – wariant 15: studnia S – 7 (Q = 75 $m^3$/h), studnia S – 3 (Q = 100 $m^3$/h) i studnia S – 8 (Q = 100 $m^3$/h)

| Wyszczególnienie | Studnie eksploatowane ciągle | Studnie nie eksploatowane |
|---|---|---|
| Numery studni | S – 7, S – 3, S – 8 | S – 2, S – 10 |
| Wydajność eksploatacyjna studni [$m^3$/h] | S – 7: **75**<br>S – 3: **100**<br>S – 8: **100** | ---- |
| Wydajność ujęcia | **275** $m^3$/h | |
| Stężenie azotanów [mg $NO_3$/$dm^3$] | S – 7: **13,78**<br>S – 3: **61,38**<br>S – 8: **60,17** | ---- |
| Wynoszony ładunek azotanów [ton $NO_3$/rok] | S – 7: **697**<br>S – 3: **5 377**<br>S – 8: **5 271** | ---- |
| Średnie stężenie azotanów | **47,96** mg $NO_3$/$dm^3$ | |
| Wynoszony łączny ładunek azotanów | **11 345** ton $NO_3$/rok | |

**Uwaga:** kolorem czerwonym oznaczono zawartości ponadnormatywne

Zbiorcze zestawienie symulowanych wariantów eksploatacji ujęcia Łobodno: 13 ÷ 15, z wyszczególnieniem stężenia i ładunków azotanów przedstawiono w tabeli 32.

**Tabela: 32**. Zbiorcze zestawienie symulowanych wariantów: 13 ÷ 15 eksploatacji ujęcia Łobodno z wyszczególnieniem stężenia i ładunków azotanów

| Numer wariantu | Wydajność [$m^3$/h] | Studnie eksploatowane ciągle | | Studnie eksploatowane okresowo | | Stężenie azotanów [mg $NO_3$/$dm^3$] | Wynoszony ładunek azotanów [ton $NO_3$/rok] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | numer | wydajność [$m^3$/h] | numer | wydajność [$m^3$/h] | | |
| **13** | 175 | S – 7<br>S – 8 | 75<br>100 | --- | --- | **40,29** | 5 968 |
| **14** | 175 | S – 7<br>S – 3 | 75<br>100 | --- | --- | **40,98** | 6 074 |
| **15** | 275 | S – 7<br>S – 8<br>S – 3 | 75<br>100<br>100 | --- | --- | **47,96** | 11 345 |

Spośród wszystkich symulowanych wariantów pracy ujęcia Łobodno, w aktualnych uwarunkowaniach zapotrzebowania na wodę oraz ochrony wód ujmowanej warstwy wodonośnej, najkorzystniejsze wydają się być warianty: 13 i 14. Eksploatacja prowadzona w ich warunkach zapewni:

- spełnienie norm prawnych względem dopuszczalnych zawartości azotanów w wodzie dostarczanej do odbiorców,
- brak kumulacji azotanów w strefach przyotworowych studni S – 3 i S – 8.

Praca studni ujęcia Łobodno wg wariantów: 13 i 14, przy istotnym ograniczeniu dostawy ładunków azotanów do warstwy wodonośnej, powinna powodować stopniowy spadek stężenia azotanów w wodzie podziemnej. Stosowanie pozostałych wariantów można rozważyć po obniżeniu stężeń azotanów w wodach eksploatowanych przez studnie S – 3 i S – 8 poniżej wartości dopuszczalnej lub podczas znacznego zwiększenia wydajności ujęcia.

## 9.2. Monitoring osłonowy ujęcia

Monitoring jakości wód to zunifikowany, powtarzalny system kontrolnych badań, będących podstawą podejmowania decyzji dotyczących eksploatacji ujęć. Zadaniem monitoringu lokalnego jest rozpoznanie i śledzenie wpływu ognisk zanieczyszczeń na jakość wód podziemnych. Dla ujęć wód podziemnych ma on znaczenie osłonowe. Osłonowy monitoring lokalnych ujęć eksploatujących wody dla zaopatrzenia ludności powinien być prowadzony szczególnie w przypadkach, gdy występuje zagrożenie ujmowanych wód konsumpcyjnych dopływem wód zanieczyszczonych antropogenicznie, zarówno w sytuacjach występowania realnych jak i potencjalnych zagrożeń ich jakości. Monitoringiem tym powinny być objęte przede wszystkim ujęcia wód szczelinowych, zasilanych infiltracyjnie [27, 29]. Do takich ujęć należy Łobodno.

### 9.2.1. Organizacja monitoringu

Zaprojektowany monitoring osłonowy ujęcia Łobodno polega na systematycznym śledzeniu ilościowych i jakościowych zmian wód podziemnych, w strefie ochronnej i w samym ujęciu. Celem badań monitoringowych ujęcia jest:

- przewidywanie ujawniających się w warunkach jego eksploatacji, trendów i tempa niekorzystnych zmian zasobów wywołanych antropopresją, w samym systemie hydrogeologicznym jak i w jego otoczeniu,
- kontrola skuteczności ochrony wód oraz podejmowanie przedsięwzięć zabezpieczających gwarantowany, ciągły standard zaopatrzenia.

Dlatego z monitoringiem osłonowym ujęcia prowadzonym w otworach obserwacyjnych jest ściśle związana kontrola jakości produkowanej wody w studniach eksploatacyjnych, zbiornikach magazynowych (retencyjnych) i w punktach poboru wody dostarczanej do konsumentów. W rejonie ujęcia Łobodno wymienione cele monitoringu osłonowego realizowane są od 2008 roku głównie poprzez rejestrację zmian położenia zwierciadła wody podziemnej i zawartości stężenia azotanów, jako podstawowych wskaźników charakteryzujących zjawiska i procesy determinujące dynamikę zmian zasobów wód podziemnych.

Monitoring osłonowy ujęcia Łobodno zorganizowano jako system pełniący rolę kontrolną, ostrzegawczą (alarmową) oraz decyzyjną, przy czym funkcje te nawzajem się uzupełniają, stanowiąc kolejne, zazębiające się etapy systematycznych badań jakości wód [40]. W monitoringu osłonowym ujęcia Łobodno prowadzi się:

- rejestrację zmienności składu chemicznego wód pozwalającą na ocenę zmienności lokalnych i sezonowych oraz związanych ze zmianami intensywności eksploatacji poszczególnych studni ujęcia,
- uchwycenie ukierunkowanych zmian jakości eksploatowanych wód i śledzenie ich rozwoju, aż do wystąpienia stanów alarmowych, które mogą ograniczyć lub wykluczyć dalszą eksploatację poszczególnych studni.

Określenie zakresów wymienionych zmienności oraz poziomów alarmowych stanów jakości, wymaga przeprowadzania okresowych interpretacji i podsumowań wyników badań monitoringowych w celu ustalenia bezpiecznego poziomu eksploatacji wód wyznaczonego bezpiecznym poziomem stężeń wskaźników zanieczyszczeń, w tym przypadku azotanów. Analiza danych z badań monitoringowych prowadzi do prognozy zmian zasobów i określenia głównych przyczyn tych zmian oraz opracowania propozycji zaradczych.

System monitoringowy ujęcia Łobodno składa się z 4 otworów obserwacyjnych – piezometrów (studni głębinowych o niezadowalającej wydajności) o numerach: P – 1, P – 6, P – 9 i P – 11, a zlokalizowanych w rejonie oddziaływania studni eksploatacyjnych. W otworach tych do roku 2008 poza pomiarami poziomu zwierciadła wód podziemnych nie prowadzono innych badań (jakości wód podziemnych). W celu wykorzystania tych otworów do badań stanu chemicznego wód dostosowano je do poboru prób wody, przez wykonanie specjalnych zamknięć umożliwiających wprowadzanie próbników. Jeden z wymienionych otworów (P – 1) z uwagi na powstały w strefie filtracyjnej zasyp, służy tylko do pomiaru zwierciadła wody. Trzy pozostałe (P – 6, P – 9, P – 11) umożliwiają także pobór próbek wody. Charakterystykę otworów obserwacyjnych (ze zdjęciami) przedstawia tabela 33.

**Tabela: 33.** Wykaz, lokalizacja i przeznaczenie istniejących otworów obserwacyjnych ujęcia Łobodno

| Numer | Fotografia wylotu otworu obserwacyjnego | Rzędna terenu/ kryzy [m n.p.m.] | Współrzędne geograficzne (GPS) | Przedział głębokości ujętej warstwy wodonośnej – głębokość poboru prób wody | Głębokość zwierciadła wody podziemnej poniżej kryzy /Uwagi |
|---|---|---|---|---|---|
| **P 6** | | 243,88<br>**244,22** | 50º56'35,6'' N<br>18º58'46,0'' E | 31,0 ÷ 90,0 m<br>**(~ 51 m)** | **21,28 m**<br>(10 X 2008)<br>**21,22 m**<br>(7 IV 2009)<br>Do stacjonarnych poborów prób wody i pomiarów zwierciadła wody |
| **P 9** | | 234,31<br>**234,98** | 50º55'21,1'' N<br>19º00'23,2'' E | 29,1 ÷ 70,0<br>**(~ 49 m)** | **8,98 m**<br>(8 X 2008)<br>**8,74 m**<br>(7 IV 2009)<br>Do stacjonarnych poborów prób wody i pomiarów zwierciadła wody |
| **P 11** | | 227,80/<br>**228,40** | 50º55'32,0'' N<br>19º00'02,8'' E | 31,0 ÷ 62,0<br>**(~ 35 m)** | **7,56 m**<br>(8 X 2008)<br>**7,43 m**<br>(7 IV 2009)<br>Do stacjonarnych poborów prób wody i pomiarów zwierciadła wody |
| **P 1** | | 226,81<br>**227,27** | 50º55'03'' N<br>19º01'45'' E | 29,1 ÷ 70,0<br>-------- | **4,02 m**<br>(7 IV 2009)<br>Tylko do stacjonarnych pomiarów zwierciadła wody |

Wykonana na podstawie badań modelowych, mapa zwierciadła wody i linii prądu obrazuje siatkę hydrodynamiczną obszaru zasilania ujęcia Łobodno wg stanu na rok 2005 (ryc. 33), w którym to średniodobowy pobór wód z ujęcia Łobodno wynosił około 5,7 tys. $m^3$/dobę [16]. Zakłada się, że podobna siatka hydrodynamiczna linii prądu i hydroizohips, ale o mniejszym zasięgu, odzwierciedlałaby stan obecny (tj. przy eksploatacji ujęcia Łobodno na poziomie 3,2 tys. $m^3$/dobę). Otwór obserwacyjny P – 11 znajduje się w zasięgu oznaczonych

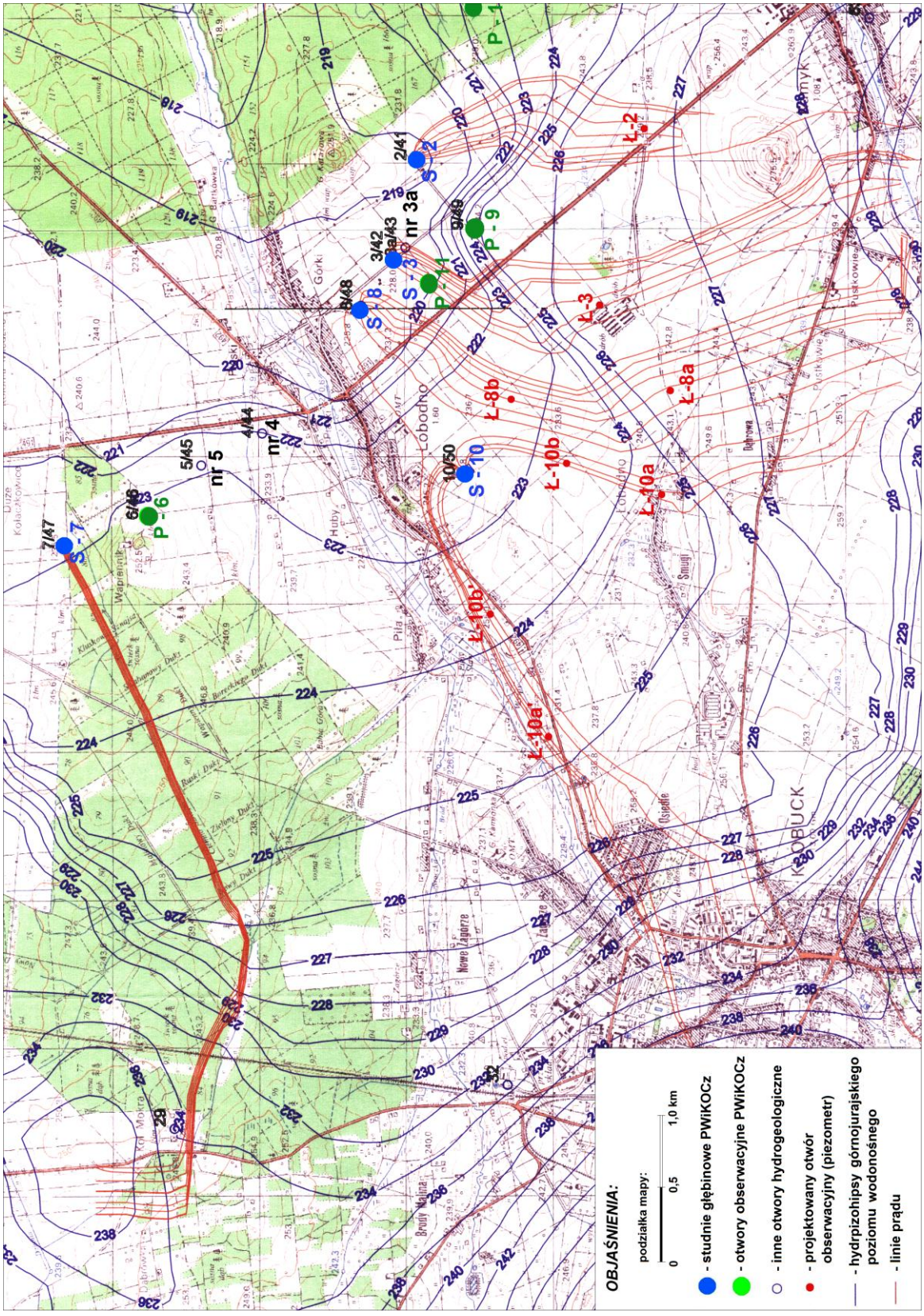
na mapie linii prądu, wywołanych oddziaływaniem studni S – 3. Otwór obserwacyjny P – 9 znajduje się w zasięgu oddziaływania studni S – 2 i S – 3. Zatem głównym celem prowadzenia monitoringu w otworach obserwacyjnych P – 11 i P – 9 jest alarmowanie o napływie zanieczyszczeń w kierunku studni S – 2, S – 3 i S – 8, z obszaru ich zasilania położonego na południowy – zachód. Kolejny otwór obserwacyjny P – 6, położony jest w zasięgu oddziaływania studni S – 7 i służy do badania jakości i przepływu wód podziemnych w obszarze jej zasilania, położonym na południe od tej studni.

### 9.2.2. Koncepcja rozbudowy sieci i jej rola ostrzegawcza

Do systemu obserwacji monitoringowych włączone są studnie ujęcia Łobodno. W najbliższych latach planuje się odwiercenie kolejnych 8 piezometrów. Wykaz oraz opracowane na podstawie map hydrogeologicznych dane geologiczno – techniczne, proponowanych otworów obserwacyjnych przedstawiono w tabeli 34. Ich proponowaną lokalizację, w dostosowaniu do stwierdzonych badaniami modelowymi warunków hydrogeologicznych, przedstawia ryc. 36 – str. 115 [16].

**Tabela: 34.** Lokalizacja i podstawowe dane geologiczno - techniczne przewidzianych do odwiercenia piezometrów sieci monitoringu osłonowego ujęcia Łobodno

| Numer piezometru | Współrzędne piezometru (GPS) | Rzędna terenu [m n.p.m.] i przewidywana **głębokość stropu jury górnej [m]** | Przewidywana rzędna [m n.p.m.] i **głębokość ustalonego zw. wody [m]** | Proponowana głębokość wiercenia [m] i przelot zafiltrowania [m] | Lokalizacja na podstawie badań modelowych |
|---|---|---|---|---|---|
| Ł2 | N: 50º54’44,0’’<br>E: 19º00’59,5’’ | 238,0<br>**23,0** | 226,7<br>**11,3** | 43,0<br>28,0 ÷ 40,0 | na kierunku spływu wód z południa do studni S - 2 |
| Ł3 | N: 50º54’54,4’’<br>E: 18º59’54,6’’ | 237,0<br>**22,0** | 226,2<br>**10,8** | 42,0<br>27,0 ÷ 40,0 | na kierunku spływu wód z południowego - zachodu do S – 3 |
| Ł8a | N: 50º54’39,4’’<br>E: 18º59’31,2’’ | 244,0<br>**24,0** | 226,3<br>**17,7** | 44,0<br>29,0 ÷ 42,0 | na kierunku spływu wód z południowego - zachodu do S – 8 |
| Ł8b | N: 50º55’12,5’’<br>E: 18º59’30,5’’ | 237,0<br>**27,0** | 228,0<br>**9,0** | 47,0<br>32,0 ÷ 45,0 | |
| Ł10a | N: 50º54’41,6’’<br>E: 18º58’55,0’’ | 236,0<br>**21,0** | 224,5<br>**11,5** | 41,0<br>26,0 ÷ 39,0 | na kierunku spływu wód z obszaru Kłobucka i Smug do S – 10 |
| Ł10a’ | N: 50º55’05,5’’<br>E: 18º57’28,2’’ | 230,0<br>**13,0** | 224,8<br>**5,2** | 33,0<br>18,0 ÷ 31,0 | |
| Ł10b | N: 50º55’03,1’’<br>E: 18º59’04,3’’ | 236,0<br>**21,0** | 223,4<br>**12,6** | 41,0<br>26,0-39,0 | |
| Ł10b’ | N: 50º55’19,2’’<br>E: 18º58’16,5’’ | 232,0<br>**24,0** | 223,6<br>**8,4** | 44,0<br>29,0-42,0 | |




Ryc. 36. Mapa lokalizacyjna otworów piezometrycznych w obszarze ujęcia Łobodno (siatka hydrodynamiczna - stan na rok 2005)

Od strony Kłobucka i Smug (tj. z kierunków: południowego i południowo – zachodniego) rolę osłonową dla ujęcia Łobodno pełnić będą planowane do odwiercenia piezometry: Ł10a, Ł10b, Ł10a' i Ł10b'. Wymienione piezometry zlokalizowane będą w zasięgu oddziaływania studni S – 10, co uwidoczniają (na mapie) linie prądu wymuszone jej eksploatacją. Piezometry zostaną zlokalizowane zgodnie z kierunkiem przepływu wód podziemnych w dwóch liniach: Ł10a → Ł10b, Ł10a' → Ł10b'. Będą one miały zasadnicze znaczenie dla ochrony zasobów ujęcia Łobodno, gdyż prowadzony przy ich udziale monitoring jakości wód, będzie pełnił rolę ostrzegawczą w stosunku do najgroźniejszych pod względem ilości i zajmowanej powierzchni ognisk zanieczyszczeń zlokalizowanych w Kłobucku. Piezometry: Ł8a i Ł8b odwiercone zostaną w zasięgu oddziaływania studni S – 8, która posiada największą ze wszystkich studni ujęcia Łobodno wydajność (245 $m^3$/h), a jednocześnie jest najbardziej zagrożona oddziaływaniem lokalnych ognisk zanieczyszczeń (obszar zwartej zabudowy Łobodna). Na południowy – zachód od studni S – 8 (w obszarze spływu wód do S – 8), odwiercone zostaną 2 piezometry w jednej linii: Ł8a → Ł8b, co umożliwi prowadzenie monitoringu i wczesne ostrzeganie o napływie zanieczyszczeń z obszarów intensywnie użytkowanych rolniczo. Piezometr Ł3 będzie odwiercony w zasięgu oddziaływania studni S – 3, również o bardzo dużej wydajności (200 $m^3$/h), a zagrożonej napływem zanieczyszczeń z kierunku południowo – zachodniego (magazyny zbożowe, fermy hodowlane, pola uprawne). Z kolei piezometr nr Ł2 planuje się odwiercić w zasięgu oddziaływania studni S – 2, a jego zadaniem będzie ostrzeganie o napływie zanieczyszczeń z południa, od strony miejscowości Kamyk, gdzie znajdują się liczne niekontrolowane wysypiska śmieci w byłych łomach po eksploatacji wapienia [30, 31].

Wszystkie istniejące i projektowane otwory obserwacyjne zlokalizowane będą w granicach strefy ochrony pośredniej ujęcia Łobodno, na przewidywanym kierunku dopływu zanieczyszczeń do ujmowanych wód podziemnych, a ich lokalizacja, głębokość i konstrukcja uwzględnia drogi wnikania i krążenia wód zanieczyszczonych w ujmowanej warstwie wodonośnej, a więc całokształt warunków hydrodynamicznych, hydrogeochemicznych i sozologicznych. Odległość punktów obserwacyjnych od ujęcia i częstotliwość badań w sieci monitoringu dobrano tak, by sieć ta spełniała rolę alarmową. Czas dopływu zanieczyszczeń jest wielokrotnie dłuższy, niż ustalane w harmonogramach opróbowania interwały czasowe, między wykonywanymi poszczególnymi pomiarami w sieci.

Dla istniejącej sieci monitoringu ujęcia Łobodno opracowano, właściwy dla istniejących warunków i zagrożeń program badań wraz z aktualizowanym corocznie harmonogramem poboru prób wody. W programie uwzględniono częstotliwość i zakres

prowadzonych oznaczeń oraz wstępnie określono maksymalne wartości stężeń azotanów uznane za alarmowe, dla każdego z istniejących otworów obserwacyjnych. Określono także sposób postępowania w przypadku stwierdzenia występowania stężeń alarmowych.

Określenie poziomu stężeń alarmowych na okres wieloletni wymaga znajomości lokalnego i regionalnego, aktualnego tła hydrogeochemicznego ujmowanego poziomu wodonośnego jury górnej i będzie możliwe dopiero po zrealizowaniu przewidzianych do odwiercenia piezometrów. W przypadku stwierdzenia stężenia alarmowego lub wyraźnie zaznaczonego trendu zmiany jakości wody, należy:

- bezwzględnie powtórzyć analizę wody, przy czym badanie powinno być wykonane w szerszym zakresie,
- jeżeli wyniki analiz wskażą w dalszym ciągu na stężenia alarmowe, koniecznym jest zwiększenie częstotliwości i zakresu badań w sieci.

Przede wszystkim należy jednak przedsięwziąć środki zaradcze, ograniczające zanieczyszczenie ujmowanych wód, czyli rozpoznać przyczynę wywołującą zmianę jakości wód podziemnych i w zależności od tego ustalić program działania. Program taki uwzględnia:

- ograniczenie lub przerwanie eksploatacji studni (ujęcia),
- zwiększenie częstotliwości kontrolnych badań jakości wód w eksploatowanych studniach i pozostałych otworach monitoringowych ujęcia,
- wykonanie analiz wody w sąsiednich studniach (ujęciach),
- wykonanie ekspertyzy oceny przyczyn zaistniałej sytuacji,
- opracowanie programu ochrony jakości wód,
- rozbudowę sieci monitoringowej,
- opracowanie systemu wdrożenia środków technicznych ograniczających zaistniałe zagrożenie wód np.: likwidacja lub odizolowanie lokalnego ogniska zanieczyszczeń zagrażającego jakości wód, budowa bariery studni odpompowujących wody zanieczyszczające,
- wprowadzenie uzdatniania wody.

## 9.3. Weryfikacja strefy ochrony pośredniej ujęcia

W celu zapewnienia właściwej ochrony ilościowo – jakościowej zasobów wodnych ujęcia Łobodno oraz racjonalnego nimi gospodarowania niezbędna była weryfikacja granic istniejącej strefy pośredniej oraz obowiązujących w niej zakazów i nakazów. Prawidłowe zwymiarowane strefy ochrony pośredniej (z odpowiednimi zakazami i ograniczeniami w użytkowaniu terenu) włączone do planu przestrzennego zagospodarowania stanowi system biernej ochrony wód (system prewencyjny) [28, 53]. Ponieważ wielkość eksploatacji ujęcia Łobodno jest wartością zmienną w czasie, dlatego nasuwało się pytanie dotyczące wymiarów weryfikowanej strefy. Założenie wielkości strefy dla maksymalnych poborów wody wiązałoby się z wysokimi kosztami jej utrzymania i nie byłoby racjonalne w przypadku mniejszych poborów. Przy podejściu krótkoterminowym, obszar strefy dopasowany byłby do bieżących potrzeb, a koszty jej utrzymania mniejsze, lecz wymagana byłaby jej cykliczna aktualizacja, co z kolei podnosiłoby koszty. W efekcie w projektowaniu zasięgu strefy ochrony pośredniej dla ujęcia Łobodno wybrano rozwiązanie które opierało się na:

- prognozowanym rozkładzie zwierciadła wody wywołanym poborem wody na poziomie zapewniającym pokrycie zapotrzebowania ludności na wodę (wymuszającym przepływ wody w warstwie wodonośnej i limitującym czas dopływu wody do ujęć) – mapy zwierciadła wody i mapy czasu przepływu wody w warstwie wodonośnej,
- ocenie wrażliwości terenu (stopień izolacji warstwy wodonośnej przed zanieczyszczeniem z powierzchni) – mapy podatności i czasu pionowego przesączania się wody przez strefę aeracji do zwierciadła wody,
- ocenie ognisk potencjalnego zanieczyszczenia, z uwzględnieniem takich elementów jak: zagospodarowanie terenu (obszary zurbanizowane, przemysłowe, rolne, leśne), jakość wód powierzchniowych, odcinki rzek infiltrujących, obszary ochrony prawnej, itp. – mapy sozologiczne.

W 2007 roku w oparciu o wyniki wcześniej wykonanych prac modelowych [16] zaprojektowano strefę ochrony pośredniej ujęcia Łobodno [15]. Zgodnie z art. 55 ust. 1 ustawy Prawo wodne *(2)* teren ochrony pośredniej ujęcia wód podziemnych obejmuje obszar zasilania ujęcia wody. Jeżeli czas przepływu wody od granicy obszaru zasilania jest dłuższy od 25 lat, strefa ochronna powinna obejmować obszar wyznaczony 25 – letnim czasem wymiany wody w warstwie wodonośnej. Dlatego granice strefy ochronnej dostosowano do wyznaczonej izochrony 25 – letniego czasu wymiany wody w warstwie wodonośnej. Mając jednak na uwadze fakt, że w tej sytuacji w strefie ochrony pośredniej znajdują się tereny

zurbanizowane o znacznej powierzchni, strefę podzielono na dwa obszary o zróżnicowanym zakresie proponowanych ograniczeń w użytkowaniu terenu:

- obszar „A” – z granicą zewnętrzną wyznaczoną 25 – letnim czasem wymiany wód, na którym będą obowiązuje jedynie zakaz przechowywania i składowania odpadów promieniotwórczych (obszar zewnętrzny)
- obszar „B” – teren wewnętrzny z szeregiem zakazów, nakazów i ograniczeń.

Całkowita powierzchnia strefy ochrony pośredniej ujęcia Łobodno (obszar „A” + obszar „B”) wynosi 35,96 km$^2$ (tabela 35). Jest to powierzchnia ograniczona izochroną 25 – letniego czasu dopływu wody do studni ujęcia Łobodno. Powierzchnia obszaru „B” na której wprowadzono liczne zakazy i nakazy wynosi 18,95 km$^2$.

**Tabela 35.** Powierzchnia strefy ochrony pośredniej ujęcia Łobodno

| Powierzchnia | [km$^2$] |
|---|---|
| obszar „A” | 18,95 |
| obszar „B” | 17,01 |
| obszary „A” + „B” | 35,96 |

Granicę obszaru „A” (zewnętrznego) tj. izochronę 25 – letniego czasu dopływu wód do eksploatowanych studni ujęcia Łobodno (wewnątrz obszaru czas dopływu jest < od 25 lat) określono w oparciu o wyniki badań modelowych. Lokalnie obszar strefy wykracza na zewnątrz izochrony 25 lat w dostosowaniu do warunków topograficznych terenu badań. Granicę obszaru „B” dostosowano do granic działek i do istniejącej infrastruktury (przebieg dróg, kolei, rzek) widocznej w terenie i na mapach topograficznych. Przebieg granic strefy ochrony pośredniej oraz OSW przy wydajności ujęcia Łobodno w ilości maksymalnej tj. 820 m$^3$/h przedstawia ryc. 37 – str. 121**.**

Na terenie „B” wprowadzono zakazy oraz ograniczenia wykonywania robót oraz innych czynności mogących spowodować zmniejszenie przydatności ujmowanej wody lub wydajności ujęcia, uwzględniając lokalne warunki hydrogeologiczne, hydrologiczne i geomorfologiczne oraz warunki infiltracji zanieczyszczeń do poziomu wodonośnego [15].

Zakazy:

- lokalizowania składowisk odpadów komunalnych, niebezpiecznych, innych niż niebezpieczne i obojętne oraz obojętnych,
- lokalizowania instalacji w rozumieniu Prawo Ochrony Środowiska *(3)*, których funkcjonowanie ze względu na rodzaj i skalę prowadzonej działalności, może powodować

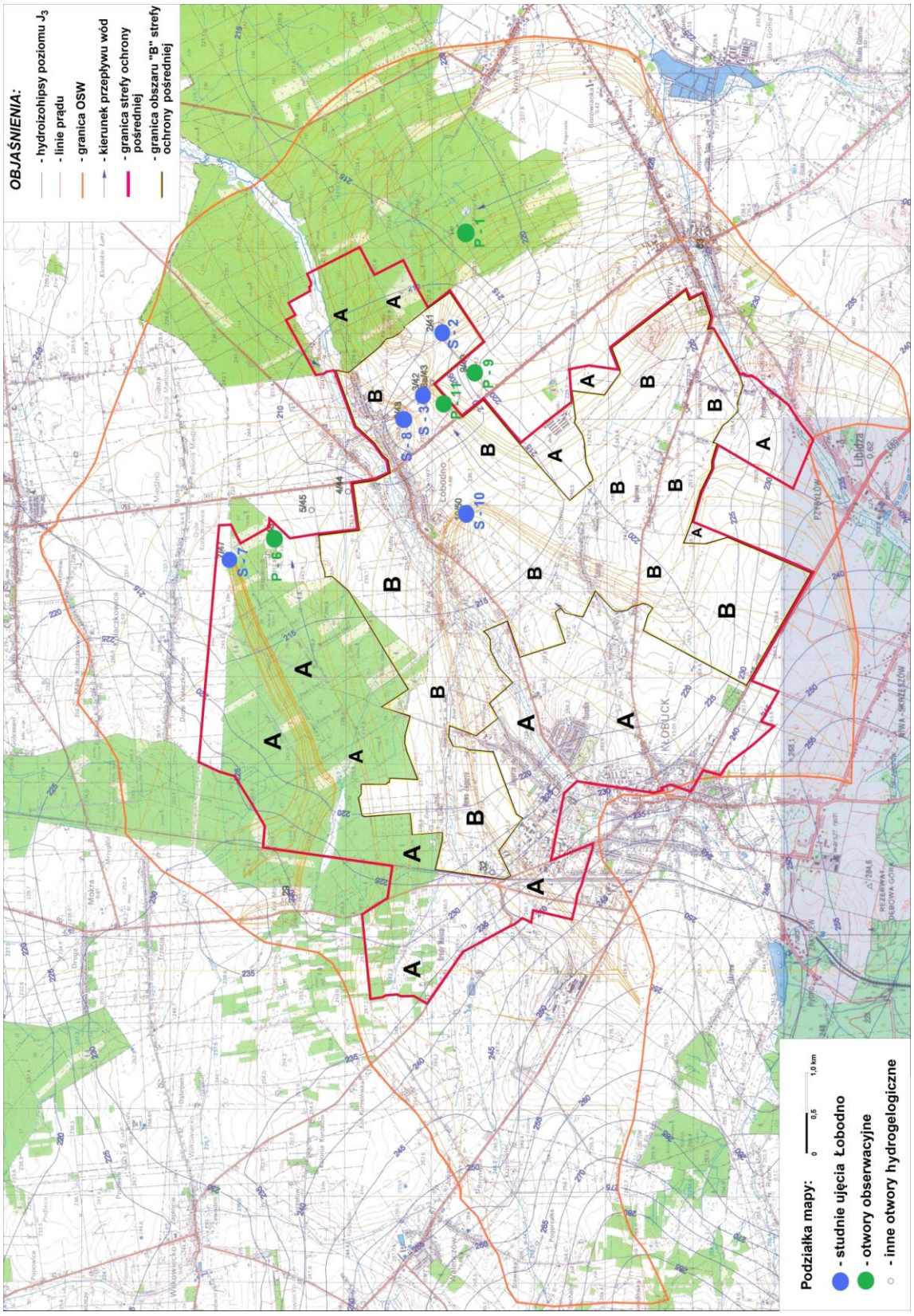
znaczne zanieczyszczenie poszczególnych elementów przyrodniczych albo środowiska jako całości,

- lokalizowania cmentarzy oraz grzebanie zwłok zwierzęcych,
- przechowywania i składowania odpadów promieniotwórczych,
- składowania środków ochrony roślin i opakowań po tych środkach,
- wprowadzania ścieków do wód lub do ziemi,
- lokalizowania magazynów produktów ropopochodnych oraz rurociągów do ich transportu,
- lokalizowania przydomowych oczyszczalni ścieków.

Ograniczenia:

- budowy i rozbudowy dróg publicznych, z wyjątkiem dróg posiadających system odprowadzania ścieków i wód opadowych,
- budowy nowych ujęć wody innych użytkowników, poza służącymi zwykłemu korzystaniu z wód *(2)*.

Zweryfikowaną strefę ustanowiono w formie Rozporządzenia Dyrektora Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Poznaniu z dnia 10 września 2008 roku, opublikowanego w Dzienniku Urzędowym Województwa Śląskiego Nr 177 z dnia 26 września 2008 roku *(15)*.




**Ryc. 37.** Mapa zasięgu zweryfikowanych granic strefy ochrony pośredniej oraz OSW do studni ujęcia Łobodno

## 9.4. Planowanie przestrzenne, a ochrona zasobów ujęcia

Ochrona zasobów wodnych w obszarach zasilania ujęcia Łobodno powinna mieć priorytetowe znaczenie w planach zagospodarowania przestrzennego gmin Kłobuck i Miedźno, z uwagi na zasadnicze znaczenie ujęcia dla zaopatrzenia miasta i gminy Kłobuck, gminy Miedźno i Częstochowy w wodę pitną oraz bardzo wysoki stopień podatności eksploatowanego poziomu wodonośnego jury górnej na zanieczyszczenia z powierzchni terenu. Na terenie gminy Kłobuck, a także Miedźno w zasięgu oddziaływania studni głębinowych ujęcia Łobodno, zidentyfikowano szereg problemów ekologicznych, często związanych z brakiem odpowiedniej infrastruktury technicznej:

- wysoki stopień zanieczyszczenia wód podziemnych wynikający z budowy geologicznej, powodowany niewłaściwą gospodarką odpadami komunalnymi,
- zły stan czystości wód rzek Białej i Czarnej Okszy oraz zbiorników wodnych powodowany przez dopływ zanieczyszczeń (ścieki komunalne i deszczowe, nadmierna chemizacja w rolnictwie),
- brak kanalizacji sanitarnej na terenach wiejskich i częściowo w mieście,
- niekorzystny stosunek długości sieci wodociągowej do sieci kanalizacji sanitarnej,
- brak kanalizacji deszczowej w większości ulic,
- brak wyposażenia istniejącej sieci wodociągowej w urządzenia oczyszczające, co powoduje, że wody opadowe z miasta odprowadzane są kanalizacją deszczową do rzeki Biała Oksza oraz do lokalnych cieków powierzchniowych,
- brak na terenie gminy Kłobuck składowiska odpadów komunalnych i przemysłowych.

Sieć kanalizacyjną obsługuje mechaniczno – biologiczna oczyszczalnia ścieków zlokalizowana w Kłobucku wraz z wybudowaną w roku 1997 stacją odwadniania osadu. Rzeczywiste jej możliwości wynoszą obecnie 2 100 $m^3$ ścieków/dobę. Po zakończeniu rozbudowy o komorę biologicznego oczyszczania, ilość możliwych do przyjęcia ścieków podwoi się i wyniesie 4 200 $m^3$/dobę. Zaspokoi to w pełni obecne i perspektywiczne potrzeby miasta. W pozostałych miejscowościach gminy najpowszechniejszym sposobem utylizacji ścieków są osadniki bezodpływowe oraz nielicznie występujące systemy odprowadzania ścieków przez osadniki. Powoduje to zagrożenie dla czystości zalegających stosunkowo płytko wód podziemnych piętra czwartorzędowego. Jednocześnie należy podkreślić fakt dowozu ścieków wozami asenizacyjnymi do oczyszczalni ścieków tylko przez niewielką część mieszkańców gminy. Infrastruktura kanalizacyjna jest więc niewspółmierna do sieci

wodociągowej. Obecna przewaga wyposażenia w sieć wodociągową nad siecią kanalizacyjną powoduje powstawanie większej ilości ścieków. Społeczność nieskanalizowanych dzielnic zmuszona jest gromadzić płynne nieczystości najczęściej w zbiornikach zlokalizowanych na terenie własnych posesji. To z kolei wpływa na zwiększone zanieczyszczenie gleb oraz wód powierzchniowych i podziemnych. Istotną rolę dla ograniczenia wielkości ładunków azotanów migrujących do wód podziemnych w obszarze „B" strefy ochrony pośredniej ujęcia Łobodno, powinien spełnić jasno sprecyzowany zakaz budowy przydomowych oczyszczalni ścieków w których słabo oczyszczone ścieki wprowadzane są do ziemi, a następnie do warstwy wodonośnej.

Bardzo istotnym problemem wymagającym natychmiastowego rozwiązania jest występowanie, w obszarze stref licznych niekontrolowanych wysypisk śmieci, które w poważnym stopniu zagrażają jakości eksploatowanych wód podziemnych. Działania samorządu, powinny skupić się na skutecznej eliminacji tych obiektów oraz biologicznej rekultywacji zanieczyszczonych przez nielegalne składowiska terenów. Likwidacja ognisk zanieczyszczeń powinna doprowadzić do wyhamowania tendencji wzrostowej stężenia azotanów w studniach głębinowych, a tym samym przyczynić się do oddalenia w czasie konieczności budowy stacji usuwania azotanów z ujmowanej wody podziemnej. Szacuje się, że obecnie zorganizowanym wywozem śmieci objętych jest 90% mieszkańców miasta Kłobuck i 75% mieszkańców sołectw. Mając na uwadze dbałość o stan środowiska naturalnego należy dążyć do osiągnięcia 100% wartości wskaźnika gospodarstw domowych objętych zorganizowanym wywozem odpadów [60].

Poprawę stanu środowiska naturalnego w gminie Kłobuck i Miedźno, a tym samym w obszarze zasilania ujęcia Łobodno można osiągnąć poprzez podjęcie działań polegających na rozwoju infrastruktury technicznej poprzez:

- rozbudowę sieci wodociągowych,
- budowę i modernizację sieci kanalizacyjnych,
- modernizację i rozbudowę oczyszczalni ścieków,
- modernizację i rozbudowę kanalizacji deszczowej,
- budowę kompleksowego systemu zagospodarowania odpadów, obejmującego odbiór posegregowanych odpadów od mieszkańców, odzyskanie surowców wtórnych, recykling oraz kompostowanie odpadów organicznych,
- likwidację niekontrolowanych wysypisk śmieci.

Wymienione inwestycje i działania zmniejszą ilości zanieczyszczeń odprowadzanych do wód i gruntów. Jednak pozytywne wyniki wymienionych przedsięwzięć, dotyczących ochrony wód mogą mieć miejsce jedynie przy pełnym, świadomym poparciu społeczeństwa dotyczącym podejmowanych działań. Dlatego też bardzo istotne jest mobilizowanie do zbiorowego odprowadzania ścieków, edukacja, egzekwowanie obowiązującego prawa w zakresie ochrony środowiska. Usuwanie skutków zanieczyszczenia wód podziemnych azotanami jest działaniem znacznie kosztowniejszym, gdyż wymusza: budowanie stacji uzdatniania wody, zwiększanie kosztów eksploatacyjnych w zakładach wodociągowych, stosowanie zwiększonych dawek środków uzdatniających, poszukiwanie nowych źródeł wody pitnej.

# 10. Podsumowanie

Wieloletnia eksploatacja wód podziemnych ujęcia Łobodno spowodowała zmianę naturalnej bazy drenażu, którą stanowiła dolina Białej Okszy. Od lat 90 – tych podstawą drenażu stały się studnie głębinowe ujęcia, a rzeka z drenującej stała się w pewnych odcinkach swego biegu infiltrującą. Infiltracja wód powierzchniowych oraz zanieczyszczeń z powierzchniowych ognisk przyczyniły się do degradacji użytkowego poziomu wód podziemnych (UPWP). Rzeki i cieki powierzchniowe po zmianie ich charakteru przestały w znacznej mierze pełnić funkcję wynoszenia zanieczyszczeń z terenu oddziaływania ujęcia. Wynoszą tylko te zanieczyszczenia, które trafiają bezpośrednio do ich koryta. Ponadto zwiększył się stopień zagrożenia wód podziemnych z powodu pojawienia się nowego ogniska, jakim stały się wody powierzchniowe infiltrujące do wód podziemnych z doliny Białej Okszy. Od 1994 roku obserwuje się postępujący wzrost zawartości azotanów, przy czym szczególny wpływ na zanieczyszczenie wód podziemnych miała powódź stulecia w roku 1997. Pod koniec lat 90 - tych eksploatacja wód podziemnych w rejonie zasilania ujęcia Łobodno uległa znacznemu ograniczeniu. Następuje więc odbudowa zasobów górnojurajskiego poziomu wodonośnego GZWP 326 pod względem ilościowym. Jednak ciągle doprowadzane azotany z ognisk zanieczyszczeń do warstwy wodonośnej kumulują się w strefach przyotworowych eksploatowanych sporadycznie studni głębinowych, przyczyniając się do dalszej jakościowej degradacji wód.

GZWP 326 to zbiornik charakteryzujący się niską odpornością na zanieczyszczenia przenikające z powierzchni, głównie z powodu braku pokrywy izolującej utworów słaboprzepuszczalnych. Odkrycie zbiornika na znacznej powierzchni, przy obecności niewielkich nawet punktowych ognisk zanieczyszczeń i charakterystycznym, krasowym i szczelinowym systemie przewodzenia powoduje, że najmniejsze nawet zanieczyszczenie powoduje szybką i długotrwałą degradację wód podziemnych.

Wysoki stopień zanieczyszczenia wód podziemnych rejonu Łobodna jest także wynikiem kontaktów hydraulicznych poziomów wodonośnych, stanowiących podstawę zaopatrzenia ludności w wodę do picia, ułatwiających migrację zanieczyszczeń z powierzchni ziemi, bezpośrednio w strefie zasilania lub pośrednio poprzez utwory czwartorzędowe (brak izolujących utworów słaboprzepuszczalnych). Ponadto obecność w wodach azotanów potwierdza wpływ ognisk związanych z gospodarką komunalną (ścieki, osady ściekowe), odpadami (niekontrolowane składowiska odpadów) i rolnictwem (gnojowica, nawozy).

Obecny stan zanieczyszczenia i zagrożenia wód podziemnych w obszarze zasilania ujęcia Łobodna zmusza do natychmiastowego wprowadzenia w życie zasad szczególnej ich ochrony. Utrzymywanie się obecnego stanu, przy rosnącym natężeniu antropopresji może spowodować, iż zanieczyszczenie wód podziemnych eksploatowanych przez studnie S – 3 i S – 8, może stać się przyczyną ich wyłączenia z eksploatacji i powodem poważnych problemów w zaopatrzeniu w wodę pitną aglomeracji częstochowskiej, miasta i gminy Kłobuck oraz gminy Miedźno. Aby tego uniknąć należy na ujęciu Łobodno utrzymywać poziom azotanów poniżej wartości dopuszczalnych.

Azotany wnikając do strefy saturacji przemieszczają się z masami wody podziemnej w kierunkach wymuszonych pracą studni, przy czym najintensywniejszy przepływ odbywa się w strefach silnego uszczelnienia, gdzie stawiany opór masom wody jest najmniejszy. Migracja azotanów odbywa się zarówno podczas pracy poszczególnych studni, jak i ich postojów. W trakcie wyłączeń przemieszczanie się wód zanieczyszczonych azotanami wywołane jest głównie wypełnianiem się pustych szczelin w obrębie zasięgu obniżenia zwierciadła wody powstałego w czasie eksploatacji studni. Doprowadza to w efekcie do kumulacji ładunku azotanów w strefach przyotworowych, gdzie ilość drożnych szczelin jest największa.

W przedstawionej sytuacji zmniejszenie stopnia zagrożenia jakości wód w UPWP można uzyskać jedynie poprzez likwidację ognisk zanieczyszczeń i remediację w wielu miejscach zanieczyszczonych już wód, intensywniejsze i w miarę możliwości ciągłe pompowanie studni najbardziej zagrożonych. Likwidacja ognisk ograniczy dostawę, a remediacja przyczyni się do stopniowego usuwania azotanów z warstwy wodonośnej.

Projekt sterowania pracą poszczególnych studni ujęcia Łobodno opracowano dla 15 wariantów pracy ujęcia, ze zróżnicowanymi wydajnościami, gwarantującymi najniższe możliwe do uzyskania zawartości azotanów w wodzie dostarczanej do odbiorców lub najwyższe ilości wynoszonego ładunku azotanów (w celu remediacji) z warstwy wodonośnej, przy zachowaniu zawartości zanieczyszczeń w pobieranych wodach w granicach stężeń dopuszczalnych. Eksploatacja studni wg wytycznych w opracowanych wariantach będzie efektywna z punktu widzenia ochrony zasobów wodnych, gdyż pozwali na elastyczną pracę poszczególnych studni ujęcia: sterowanie poborem, wymuszanie optymalnych i pożądanych kierunków przepływu wód podziemnych i zanieczyszczeń, a zatem ujmowanie w miarę możliwości wody, o jakości dopuszczalnej dla wód pitnych.

Prognozowanie zmian pola hydrodynamicznego wymaga długotrwałych, systematycznych obserwacji prowadzonych w specjalnie wyznaczonej sieci otworów

obserwacyjnych obejmujących: nieczynne ujęcia, wytypowane studnie gospodarskie, piezometry, przy jednoczesnej kontroli eksploatacji wszystkich studni eksploatacyjnych w zakresie jakości i ilości pobranej wody oraz głębokości zalegania zwierciadła wody podziemnej.

W związku z potrzebą ochrony jakości zasobów wód podziemnych w rejonach zasilania studni ujęcia Łobodno utworzono dla nich strefy ochrony bezpośredniej i strefę pośrednią, w której wprowadzono szereg zakazów. Dostępność metod modelowania matematycznego umożliwiła dla ujęcia wody Łobodno stworzenie modelu i opracowanie wiarygodnych siatek hydrodynamicznych (linii prądu i hydroizohips), wyznaczenie granic OSW do ujęcia i map z izoliniami czasu dopływu wody do poszczególnych studni. Mapy z badań modelowych posłużyły do szczegółowej analizy warunków hydrodynamiki i wzajemnego oddziaływania studni.

Analiza mapy rozkładu stężeń azotanów w obszarze zasilania ujęcia Łobodno wskazała, że najmniejsze stężenia azotanów w wodach podziemnych występują w obszarze badań położonym na północ od doliny Białej Okszy, natomiast największe na południe od niej. Ponadnormatywne stężenia azotanów w wodach podziemnych występują w Kłobucku oraz terenach położonych na wschód, przy czym ilość azotanów maleje wraz ze wzrostem odległości od miasta. Osobny rejon z zawartością azotanów przekraczającą normy obejmuje obszar zabudowy Łobodna. Ponadnormatywne stężenia azotanów występują w wodach dwóch studni ujęcia: S – 3 i S – 8, natomiast najniższe w studni S – 7. Potwierdzają to wyniki badań modelowych, które identyfikują główne ogniska zanieczyszczeń: (i) lokalne ognisko, jakie stanowi teren zabudowy miejscowości Łobodna w obszarze zasilania studni S – 8, (ii) lokalne ognisko na terenie i w okolicach zakładów produkcji hodowlanej i zbożowej, położonych w odległości około 2 km na południe od zabudowy Łobodna, na kierunku spływu wód do studni S – 3, (iii) ognisko wielkoobszarowe (miasto Kłobuck) na kierunku spływu wód do studni S – 10.

Stwierdzono, że głównym czynnikiem determinującym zmiany warunków hydrogeologicznych jest eksploatacja studni głębinowych ujęcia Łobodno. Sprawia to, że w zależności od wielkości eksploatacji ujęcia i poszczególnych studni, kierunki dopływu wód do studni mogą się znacznie zmieniać, a odpowiednio dobranym rozkładem wydatków studni, w ramach zadanych wielkości eksploatacji, można stworzyć możliwość sterowania pracą ujęcia, zarówno w zakresie obszaru wpływu ujęcia, jak i wielkości ładunku zanieczyszczeń wynoszonych z warstwy wodonośnej.

W oparciu o ZSGIO zasobów wodnych GZWP 326 opracowano i wdrożono program organizacji monitoringu jakości wód podziemnych, który ma za zadanie umożliwić znacznie wcześniejsze wykrycie ewentualnych zagrożeń dla jakości ujmowanych wód podziemnych. Monitoring osłonowy ujęcia Łobodno zorganizowano w oparciu o adaptowane do tego celu 4 otwory studzienne, jako system pełniący rolę kontrolną, ostrzegawczą oraz decyzyjną. Pierwsze wykonane w 2008 i 2009 pomiary zwierciadła wody podziemnej i wyniki analiz fizykochemicznych wody pozwalają na uchwycenie ukierunkowanych zmian jakości eksploatowanych wód i śledzenie ich rozwoju, a w dalszej kolejności będą wykorzystane do projektowanej weryfikacji modelu.

Systematyczne monitorowanie jakości wody oraz pomiary położenia zwierciadła wody na ujęciach, a także w wybranych studniach gospodarczych i wykonanych piezometrach, umożliwią dokładniejszą ocenę jakości wody w obszarze zasilania ujęcia i zwiększą dokładność prognoz: pola hydrodynamicznego i migracji azotanów. Dlatego w najbliższych latach przewiduje się rozbudowę sieci monitoringu osłonowego ujęć w oparciu o opracowaną koncepcję rozbudowy. Określono podstawowe dane geologiczno – techniczne przewidzianych do odwiercenia otworów obserwacyjnych, przy czym ich proponowaną lokalizację dostosowano do stwierdzonych badaniami modelowymi warunków hydrogeologicznych.

Realizacja przez PWiKOCz wniosków zawartych w pracy (rozdział 11), co do sposobu efektywnej ochrony wód podziemnych ujęcia Łobodno, poprzez optymalne sterowanie pracą poszczególnych studni oraz wprowadzenie w życie procedur szczególnej ochrony wód podziemnych ujęcia Łobodno, pozwoli na wyhamowanie procesów zanieczyszczenia wód podziemnych azotanami w strefie zasilania i ujmowania wody, a w miarę możliwości przywrócenia ich naturalnej jakości dla obecnych i przyszłych użytkowników.

# 11. Wnioski

Wyniki uzyskane w trakcie realizacji pracy pozwoliły na udowodnienie przyjętych tez i sformułowanie następujących wniosków ogólnych i szczegółowych:

1. Azotany przemieszczają się z ognisk zanieczyszczeń do obszaru zasilania ujęcia wody Łobodno, a następnie do studni eksploatujących wodę pitną, stanowiąc tym samym problem zarówno dla producenta jak i konsumentów.
2. Opracowana strategia sterowania eksploatacją studni ujęcia, stwarzając odpowiednie warunki hydrogeologiczne (wymuszenie kontrolowanymi wydatkami pracy studni pożądanych kierunków przepływu wód), zapewnia ochronę zasobów ujęcia Łobodno i utrzymywanie w wodzie podawanej do odbiorców stężeń azotanów poniżej wartości dopuszczalnych.
3. Sterowanie pracą studni ujęcia Łobodno według przyjętych wariantów gwarantuje najniższe możliwe do uzyskania stężenia w ujmowanej wodzie lub najwyższe ilości wynoszonego ładunku azotanów (remediacja warstwy wodonośnej), przy zachowaniu stężeń w granicach dopuszczalnych.
4. Przy aktualnym zapotrzebowaniu na wodę oraz z punktu widzenia ochrony ujmowanej warstwy wodonośnej, najkorzystniejsze są warianty 13 i 14. Eksploatacja prowadzona w ich warunkach zapewni utrzymanie dopuszczalnych stężeń azotanów w ujmowanej wodzie, ograniczenie ich akumulacji w strefach przyotworowych (studnie S – 3 i S – 8) i stopniowy spadek stężenia w wodzie podziemnej.
5. Pobór wody według pozostałych wariantów można rozważyć po obniżeniu stężeń azotanów w wodach eksploatowanych przez studnie S – 3 i S – 8 poniżej wartości dopuszczalnej bądź w przypadku gdy zaistnieje potrzeba znacznego zwiększenia wydajności ujęcia.
6. Wzrost ładunków azotanów usuwanych z warstwy wodonośnej wymaga intensywniejszej niż dotychczas eksploatacji studni: S – 8 i S – 3 bez długotrwałych przestojów.
7. Zmniejszenie ładunków azotanów dostających się do warstwy wodonośnej wymaga ścisłego przestrzegania zakazów i ograniczeń wprowadzonych w obrębie ustanowionej strefy ochrony pośredniej ujęcia Łobodno.

8. Prognozowanie zagrożeń i szybsze ich wykrywanie zapewni zaproponowany stały monitoring osłonowy ujęcia oraz objęcie kontrolą na zawartość azotanów wybranych studni kopanych w miejscowości Łobodno.
9. Włączenie do modelu hydrodynamiki i migracji zanieczyszczeń zaproponowanych punktów monitoringu uczyni go bardziej wiarygodnym i pozwoli na precyzyjniejsze zobrazowanie kierunków i czasu migracji azotanów.
10. Niezbędnym elementem ochrony zasobów ujęcia Łobodno jest wprowadzenie ograniczeń odnośnie użytkowania terenu i lokalizacji obiektów uciążliwych w strefie ochrony ujęcia na etapie planów zagospodarowania przestrzennego.

# Literatura


1. *Analizy fizykochemiczne i bakteriologiczne wody z ujęcia Łobodno*, wykonane w Centralnym Laboratorium Badania Wody i Ścieków przy Wodociągach Częstochowskich S.A. – przechowywane w centralnym Laboratorium Wodociągów Częstochowskich S.A.
2. *Budowa geologiczna Polski*, 1991, J. Malinowski (red.), t. VII. *Hydrogeologia*. Wydawnictwa Geologiczne. Warszawa.
3. Byczyński H., Stelmach M.: *Obserwacje nad rozprzestrzenianiem się zanieczyszczeń w rejonie zasilania komunalnych ujęć wody w Częstochowie* – Instytut Kształtowania Środowiska – Oddział w Poznaniu – Zakład Ujęć i Ochrony Wód Podziemnych – Poznań, 1975 r. *(niepublikowane).*
4. Chełmiński W." 2002 – *Woda, zasoby, degradacja, ochrona*. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa.
5. Dąbrowska T. (red.), 1965 – *Informator geologa*. Wydawnictwa Geologiczne. Warszawa.
6. Dębski K., 1970 – *Hydrologia* . Arkady. Warszawa.
7. Dojlido J., 1995 – *Chemia wody*. Wyd. Ekonomia i Środowisko. Białystok.
8. Dowgiałło J, Kleczkowski A.S., Macioszczyk T., Różkowski A. (red.), 2002 – *Słownik hydrogeologiczny*. Państwowy Instytut Geologiczny. Warszawa.
9. Dziuk M., Grodowska I.: *Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych z utworów jury górnej na północ od miasta Częstochowy* – Katowickie Przedsiębiorstwo Geologiczne w Katowicach – Terenowy Oddział Geologii w Częstochowie – Częstochowa, 1998 r. *(niepublikowane).*
10. Hermański S.: *„Sprawozdanie z badań zanieczyszczenia wód podziemnych związkami Cr".* GEOBIOS Sp. z o.o. Częstochowa, 1993 r. *(niepublikowane).*
11. Hermański St., Nikiel G., Hermańska – Nikiel D.: *Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne dla wielootworowego ujęcia wód podziemnych z utworów jury górnej w rejonie Łobodna* – GEOBIOS Częstochowa, 2005 r. *(niepublikowane).*
12. Hermański St., Nikiel G., Hermańska – Nikiel D.: *Projekt prac geologicznych dla wielootworowego ujęcia wód podziemnych z utworów jury górnej w rejonie m. Łobodno* – GEOBIOS – Częstochowa, 2005 r. *(niepublikowane).*
13. Hermański St.: *Dokumentacja powykonawcza otworu nr 11 ujęcia Łobodno w Łobodnie* – GEOSOZ Sp z o.o. – Częstochowa 1991 r. *(niepublikowane).*
14. Kaczorowski Z., J. Mizera, G. Malina, K. Janczarek, T. Rychliński, A. Pacholewski. *Weryfikacja modeli hydrodynamiki i migracji związków azotu w rejonie ujęć wód podziemnych Łobodno i Wierzchowisko (GZWP 326N)* [W]: Modelowanie Przepływu Wód Podziemnych, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań 2006, str. 121 ÷ 130.
15. Kaczorowski Z., Malina G.: *Dokumentacja stref ochronnych dla ujęcia Łobodno (studnie nr 2, 3, 7, 8, 10)* – Częstochowa, lipiec 2007 r. *(niepublikowane).*

16. Kaczorowski Z.: *Weryfikacja modelu hydrodynamiki i migracji zanieczyszczeń dla północnej części zbiornika GZWP 326 (ujęcie Łobodno i Wierzchowisko)* – Hydrogeotechnika – Kielce – 2005 r. *(niepublikowane).*

17. *Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania*. t. I i II. Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa. 1994

18. Kleczkowski A.S. (red.) 1984 – *Ochrona wód podziemnych*. Wydawnictwa Geologiczne. Warszawa.

19. Kleczkowski A.S. (red.), 1990 – *Mapa obszarów głównych zbiorników wód podziemnych (GZWP) w Polsce wymagających szczególnej ochrony 1: 500 000.* AGH. Kraków.

20. Kleczkowski A.S.: 1994 – *Metodyczne podstawy ochrony wód podziemnych*. AGH. Kraków.

21. Kleczkowski A.S.: *Strategia ochrony głównych zbiorników wód podziemnych (GZWP) w Polsce.* [W] „Problemy eksploatacji wód podziemnych" – Mat. VIII sympozjum naukowo – technicznego PZiTS Problemy wykorzystania wód podziemnych w gospodarce komunalnej' 1989, Kowalczyk E., Szczepański A. (red.). Częstochowa 1989, str. 1 ÷ 31.

22. Kondracki J.: 2002 – *Geografia regionalna Polski*. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa.

23. *Książki eksploatacji studni nr 2, 3, 7, 8, 10 ujęcia Łobodno* – przechowywane w Wydziale Produkcji Wody PWiK Częstochowa.

24. Macioszczyk A (red.), 2006 – *Podstawy hydrogeologii stosowanej.* PWN. Warszawa

25. Macioszczyk A .: 1987 – *Hydrogeochemia.* Wydawnictwa Geologiczne. Warszawa

26. Macioszczyk A., Dobrzyński D.: 2002 – *Hydrogeochemia strefy aktywnej wymiany wód podziemnych* . Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa.

27. Macioszczyk A.: *Monitoring jakości wód podziemnych w strefach ochronnych ujęć*. [W] „Strefy ochronne ujęć i głównych zbiorników wód podziemnych" – Mat. XI sympozjum naukowo – technicznego PZiTS Problemy wykorzystania wód podziemnych w gospodarce komunalnej' 1995, Kowalczyk E. (red.). CWA REGINA POLONIAE, Częstochowa 1995, str. 40 ÷ 46.

28. Macioszczyk T., Rodzoch A., Frączek E., 1993 – *Wyznaczanie stref ochronnych ujęć wód podziemnych – wymagania formalne a możliwości metodyczne.* Mat. VI Ogólnopolskiego Sympozjum n.t. Współczesne problemy hydrogeologii, Wrocław s. 381 ÷ 386, na zlecenie Zakładu Hydrogeologii Instytutu Nauk Geologicznych Uniwersytetu Wrocławskiego Oficyna Wydawnicza Sudety. Wrocław.

29. Macioszczyk T.: *Monitoring osłonowy ujęć wód podziemnych oraz monitoring jakości produkowanej wody podstawą właściwego standardu zaopatrzenia w wodę.* [W] „Problemy eksploatacji wód podziemnych" – Mat. XIII sympozjum naukowo – technicznego PZiTS Problemy wykorzystania wód podziemnych w gospodarce komunalnej' 2000, Kowalczyk E. (red.). CWA REGINA POLONIAE Częstochowa 2000, str. 116 ÷ 123.

30. Malina G. (red.). *Zintegrowany System Gospodarowania i Ochrony (ZSGiO) zasobów wodnych GZWP 326*. Projekt celowy nr 6T12 2003C/06267 - Raport końcowy, Częstochowa, 2007 r. *(niepublikowane).*

31. Malina G., Kaczorowski Z., Mizera J., 2007 – *Zintegrowany system gospodarowania i ochrony zasobów wodnych GZWP 326.* Wyd.: HARIT. Częstochowa.

32. Musiał T. Gorgoń E.: *Operat hydrogeologiczny dotyczący rozwoju leja depresyjnego wywołanego eksploatacja wody z ujęcia Łobodno* – Kombinat Geologiczny „Południe" Zakład Projektów i Dokumentacji Geologicznych – Katowice 1982 r. *(niepublikowane).*

33. Niżyńska A.: *Denitryfikacja azotanów w wodach podziemnych* (rozprawa doktorska) – Politechnika Wrocławska – 2005 r. *(niepublikowane).*

34. Pacholewski A. Guzik M., Zembal M., Liszka P.: *Dokumentacja stref ochronnych ujęć PWIK w Częstochowie* – Przedsiębiorstwo Usług Geologicznych SYLUR w Sosnowcu – Sosnowiec 1997 r. *(niepublikowane).*

35. Pacholewski A., 1982 – *Wody szczelinowo – krasowe jury górnej rejonu Częstochowy.* Przew. 55 Zjazdu Pol. Tow. Geol.: 239 ÷ 261. Wyd. Geol. Warszawa.

36. Pacholewski A., Kruk L., 2006 – *Dokumentacja dla odcinka autostrady przebiegającego przez obszar GZWP w ośrodku szczelinowo – krasowym w rejonie ujęcia wody*. W: Zasady sporządzania dokumentacji określających warunki hydrogeologiczne w związku z projektowaniem dróg krajowych i autostrad. Poradnik metodyczny (red. Andrzej Rodzoch): 133 ÷ 139. Ministerstwo Środowiska. Warszawa.

37. Pacholewski A., Razowska L., Hermański S.: 1995 – *Zmiany w środowisku hydrogeochemicznym w obrębie wypełniającego się leja depresji zlikwidowanych kopalń rud złoża rejonu kłobucko – częstochowskiego.* W: Współczesne problemy hydrogeologii, t. 7, cz. 2: 143 ÷ 149. Wyd. Profil. Kraków.

38. Paczyński B., Sadurski A. (red.), 2007 – *Hydrogeologia regionalna Polski t. I, II.* Państwowy Instytut Geologiczny. Warszawa.

39. Pazdro Z. Kozerski B.: 1990 – *Hydrogeologia ogólna*. Wydawnictwo Geologiczne. Warszawa.

40. Poprawski L.: 1983 – *Założenia do projektu regionalnego monitoringu wód podziemnych w dorzeczu górnej i środkowej Odry.* Mat. VI Ogólnopolskiego Sympozjum n.t. Współczesne problemy hydrogeologii, Wrocław s. 283 ÷ 291, na zlecenie Zakładu Hydrogeologii Instytutu Nauk Geologicznych Uniwersytetu Wrocławskiego Oficyna Wydawnicza Sudety. Wrocław.

41. Razowska L.: 2000 – *Zmiany hydrochemiczne w rejonie częstochowskim spowodowane zatopieniem kopalń rud żelaza*. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, 390: 35 ÷ 96.

42. Rochacz J.: *Projekt techniczny. Strefy ochronne ujęcia wody Łobodno* – Biuro Projektów Budownictwa Komunalnego – Katowice 1974 r. *(niepublikowane).*

43. Różkowski A., Pacholewski A., Jóźwiak A.: 1985 – *Problemy hydrogeologiczne jury górnej Wyżyny Krakowsko – Częstochowskiej*. Mat. III Ogólnopolskiego Sympozjum n.t. Aktualne problemy hydrogeologii, Kraków – Karniowice, s. 63 ÷ 74, Wyd. AGH, Kraków.

44. Różkowski A.: *Przeprowadzenie badań terenowych i analizy rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń wód wgłębnych w rejonach eksploatacyjnych ujęć WPWiK w Częstochowie* – Polskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk o Ziemi – Oddział Górnośląski – Sosnowiec 1981 r. *(niepublikowane).*

46. Skrzypczyk L.: 2001 – *Mapa głównych zbiorników wód podziemnych w Polsce w skali 1 : 500 000"* (wg stanu na dzień 30 września 2001 r. – na podstawie Mapy obszarów GZWP w Polsce wymagających szczególnej ochrony, pod red. A.S. Kleczkowskiego , 1990 r.). Państwowy Instytut Geologiczny. Warszawa.

47. Szafranek M., Sawicki J., Dyjach St., Chądzyński J.*: Dokumentacja hydrogeologiczna w kategorii C wraz z projektem robót na ujęcie wód podziemnych w rejonie Łobodna* – Przedsiębiorstwo Hydrogeologiczne we Wrocławiu – Wrocław 1966 r. *(niepublikowane).*

48. Szafranek M.: *Aneks do Dokumentacji hydrogeologicznej w kategorii C wraz z projektem robót na ujęcie wód podziemnych w rejonie Łobodna* – Przedsiębiorstwo Hydrogeologiczne we Wrocławiu – Wrocław 1966 r. *(niepublikowane).*

49. Szafranek M.: *Dokumentacja hydrogeologiczna w kategorii B wraz z projektem robót na ujęcie wód podziemnych w rejonie Łobodna* – Przedsiębiorstwo Hydrogeologiczne we Wrocławiu – Wrocław 1967 r. *(niepublikowane).*

50. Szczepański A., Kaczorowski Z., Malicki W., Widerska – Kowalczyk A.: *Analiza zanieczyszczenia wód podziemnych w celu określenia sterowania pracą ujęć Wodociągów Częstochowskich w aspekcie zagrożenia jakości wód przez ogniska zanieczyszczeń i określenie strategii rozwoju ujęć położonych na terenie górnojurajskiego zbiornika wód podziemnych GZWP 326 N* – Hydrogeotechnika – Kielce – 1999 r. *(niepublikowane).*

51. Szczepański A., Kaczorowski Z., Malicki W.: *Wpływ zanieczyszczeń komunalnych na jakość użytkowych wód podziemnych występujących w GZWP 326 w rejonie Częstochowy* – Hydrogetechnika – Kielce 1999 r. *(niepublikowane).*

52. Szczepański A., Kaczorowski Z., Malicki W.: *Zastosowanie modelowania matematycznego do sterowania pracą ujęć Wodociągów Częstochowskich w aspekcie zagrożenia wód związkami azotu.* W: XIII Sympozjum „Problemy wykorzystania wód podziemnych w gospodarce komunalnej". Częstochowa 2000, s. 78 ÷ 84.

53. Szczepański A., Szklarczyk T.: *Zasady wyznaczania stref ochronnych na przykładach różnego typu ujęć wód.* [W] „Strefy ochronne ujęć i głównych zbiorników wód podziemnych" – Mat. XI sympozjum naukowo – technicznego PZiTS Problemy wykorzystania wód podziemnych w gospodarce komunalnej' 1995, Kowalczyk E. (red.). CWA REGINA POLONIAE, Częstochowa 1995 r., str. 15 ÷ 27.

54. Szymanko J.: *Dokumentacja badań geofizycznych metodą paneli elektrooporowych wykonanych dla lokalizacji ujęć wód podziemnych* – Uniwersytet Warszawski, Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej – Warszawa 1991 r. *(niepublikowane).*

55. Turek S., (red.), 1971: *Poradnik hydrogeologa*. Wydawnictwa Geologiczne. Warszawa.

56. Umińska K. Mach M.: *Operat wodnoprawny – pobór wód podziemnych z jury górnej za pomocą ujęcia wielootworowego w rejonie miejscowości Łobodno* – Aqua – Eko Projekt – Częstochowa – grudzień 2005 r. *(niepublikowane).*

57. Więckowski R.: *Opinia w sprawie warunków geologicznych rejonu projektowanego ujęcia wód podziemnych w okolicach Łobodna* – Uniwersytet Warszawski, Instytut Geologii Podstawowej – 1972 r. *(niepublikowane).*

58. *Wskazówki metodyczne dotyczące tworzenia regionalnych i lokalnych monitoringów wód podziemnych.* Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska. Warszawa. 1995 r.

59. *Wytyczne WHO dotyczące jakości wody do picia*. Warszawa: PZiTS. 1998 r.

60. *Zmiana studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy Kłobuck* – REGIONPLAN Wrocław Sp. z o.o. – 2008 r. *www.bip.Klobuck.akcessnet.*

61. Czetwertyński E., Szuster A.: 1978 – *Hydrologia i hydraulika.* Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne. Warszawa.

62. Mlącka I.: *Dokumentacja badań geoelektrycznych: Łobodno – 1968 rok.* Przedsiębiorstwo Poszukiwań Geofizycznych. Warszawa. *(niepublikowane).*

63. *Jakość powietrza w Polsce w roku 2008 w świetle wyników pomiarów realizowanych w ramach PIOŚ*. Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska. Warszawa. 2009. *http.//www.gios.gov.pl/dokumenty/raport.*

# Powoływane akty i dokumenty prawne

*(1)* Ustawa z dnia 4 lutego 1994 roku – *Prawo geologiczne i górnicze* [Dz. U. Nr 27, poz. 96] z późniejszymi zmianami,

*(2)* Ustawa z dnia 18 lipca 2001 roku *Prawo wodne* [Dz. U. Nr 115 poz. 1229] z późniejszymi zmianami,

*(3)* Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 roku *Prawo ochrony środowiska* [Dz. U. Nr 62, poz. 627] z późniejszymi zmianami,

*(4)* Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 roku – *o odpadach* [Dz. U. Nr 62, poz. 628] z późniejszymi zmianami,

*(5)* Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 roku *w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi* [Dz. U. Nr 61 poz. 417],

*(6)* Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 maja 2004 roku *w sprawie wzorów tablic informacyjnych o strefie ochronnej ujęcia wody* [Dz. U. Nr 136 poz. 1457],

*(7)* Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 8 listopada 2004 roku *zmieniające rozporządzenie w sprawie wzorów tablic informacyjnych o strefie ochronnej ujęcia wody* [Dz. U. Nr 257 poz. 2573],

*(8)* Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 roku *w sprawie warunków jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego* [Dz. U. Nr 137 poz. 984],

*(9)* Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 lipca 2008 roku *w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód podziemnych* [Dz. U. Nr 143, poz. 896].

*(10)* Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 maja 2009 roku *w sprawie form i sposobu prowadzenia monitoringu jednolitych części wód powierzchniowych i podziemnych* [Dz. U. Nr 81, poz. 685],

*(11)* Decyzja KDH/013/5462/89 z dnia 12 października 1989 roku zasoby północnej części GZWP 326 w ilości 8900 $m^3$/h, przy depresji 1 ÷ 15 metrów wg stanu na dzień 30 czerwca 1988 roku,

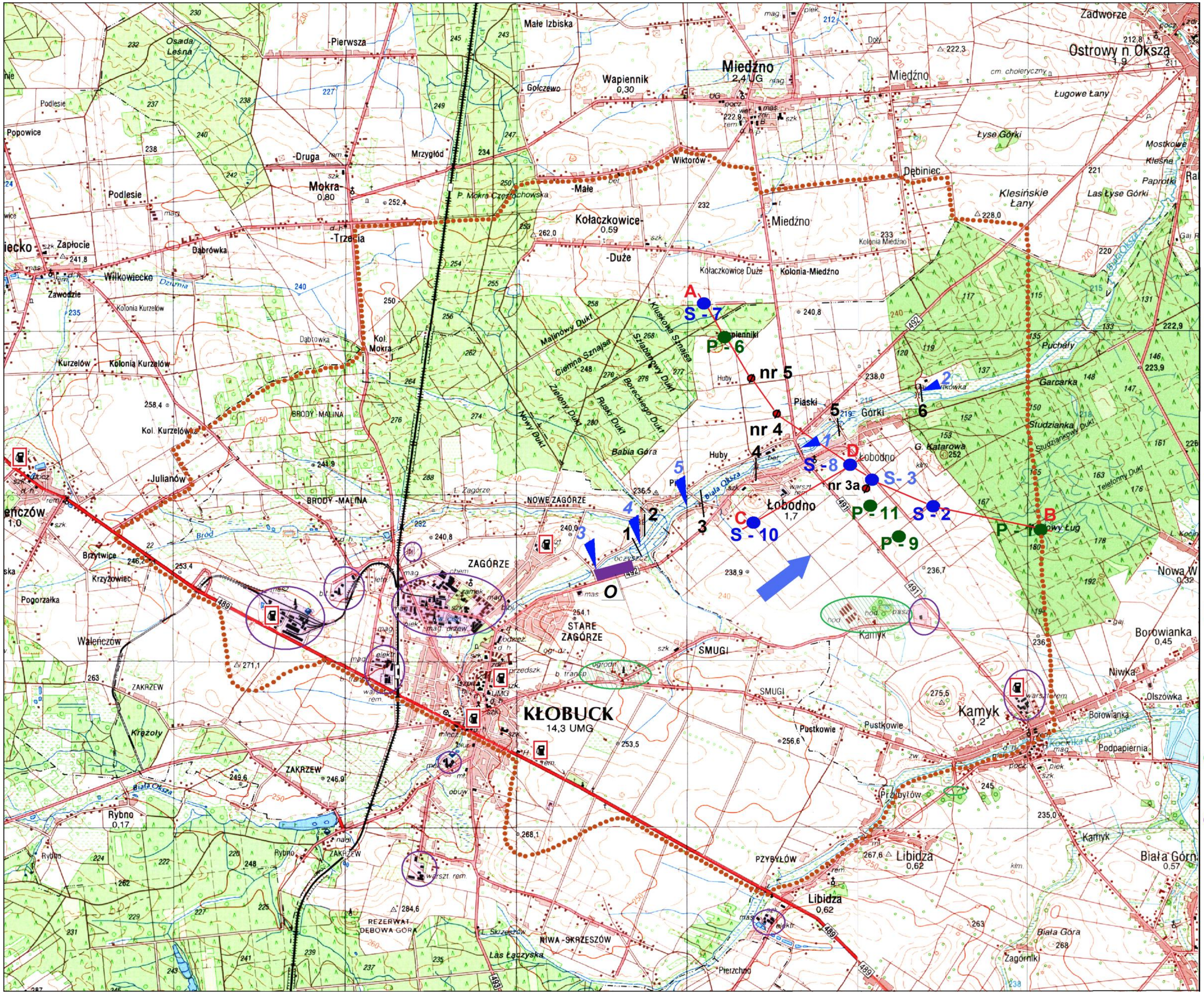
*(12)* Decyzja Wojewody Śląskiego ŚR-V-7441/JK/25.2/05 z dnia 28 grudnia 2005 r. o przyjęciu dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby eksploatacyjne dla wielootworowego ujęcia wód podziemnych z utworów jury górnej w rejonie Łobodna,

*(13)* Decyzja Wojewody Śląskiego ŚR-I-6811/149/05 z dnia 17 stycznia 2006 r. o udzieleniu Przedsiębiorstwu Wodociągów i Kanalizacji Okręgu Częstochowskiego pozwolenia wodnoprawnego na pobór wód podziemnych z utworów jury górnej studniami ujęcia Łobodno,

*(14)* Decyzja Wojewody Częstochowskiego OS.I.6210/49/97 z dnia 15 grudnia 1997 r. ustanawiająca strefy ochronne ujęcia wód podziemnych Łobodno.

# MAPA DOKUMENTACYJNA

**Skala: 1 : 25 000**




***Załącznik:1***

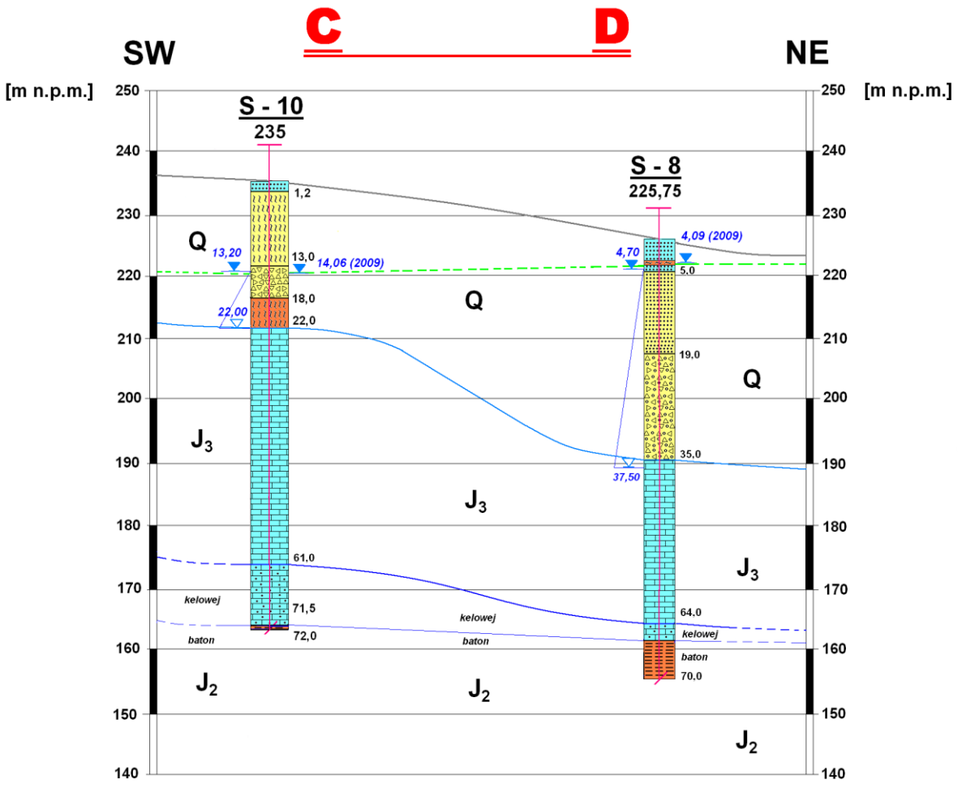
**OBJAŚNIENIA:**

- studnie
- piezometry
- inne otwory
- A B - linie przekrojów hydrogeolog.
- generalny kierunek przepływu wód podziemnych
- granica obszaru badań
- 1 - miejsca poboru prób wody powierzchniowej
- 6 - linia przekroju hydrometrycznego
- obiekt gospodarki paliwami
- O - oczyszczalnia ścieków
- większe zakłady produkcji rolnej i zwierzęcej
- obszary przemysłowe

*Załącznik: 2 a*

# ZGENERALIZOWANE PRZEKROJE HYDROGEOLOGICZNE

## skala pozioma: 1 : 1 000  skala pionowa: 1 : 2 000




***stratygrafia:***

- **Q** czwartorzęd
- **$J_3$** jura górna (malm)
- **$J_2$** jura środkowa (dogger) { kelowej / baton }

***litologia:***

- piaski
- gliny
- wapienie
- margle
- wapienie piaszczyste
- rumosz wapienny
- iły
- mułki
- okruchy krzemienia ze żwirem
- pyły

- utwory dobrze, względnie bardzo dobrze przepuszczalne
- utwory słabo przepuszczalne
- utwory bardzo słabo przepuszczalne

***Objaśnienia do przekrojów:***

S - 8 / 225,75 — numer, rzędna terenu, otwór — otwór hydrogeologiczny

- powierzchnia terenu
- powierzchnia stropu jury górnej ($J_3$)
- powierzchnia stropu jury dolnej ($J_2$)
- powierzchnia piezometryczna ($J_3$) - 2009 r.

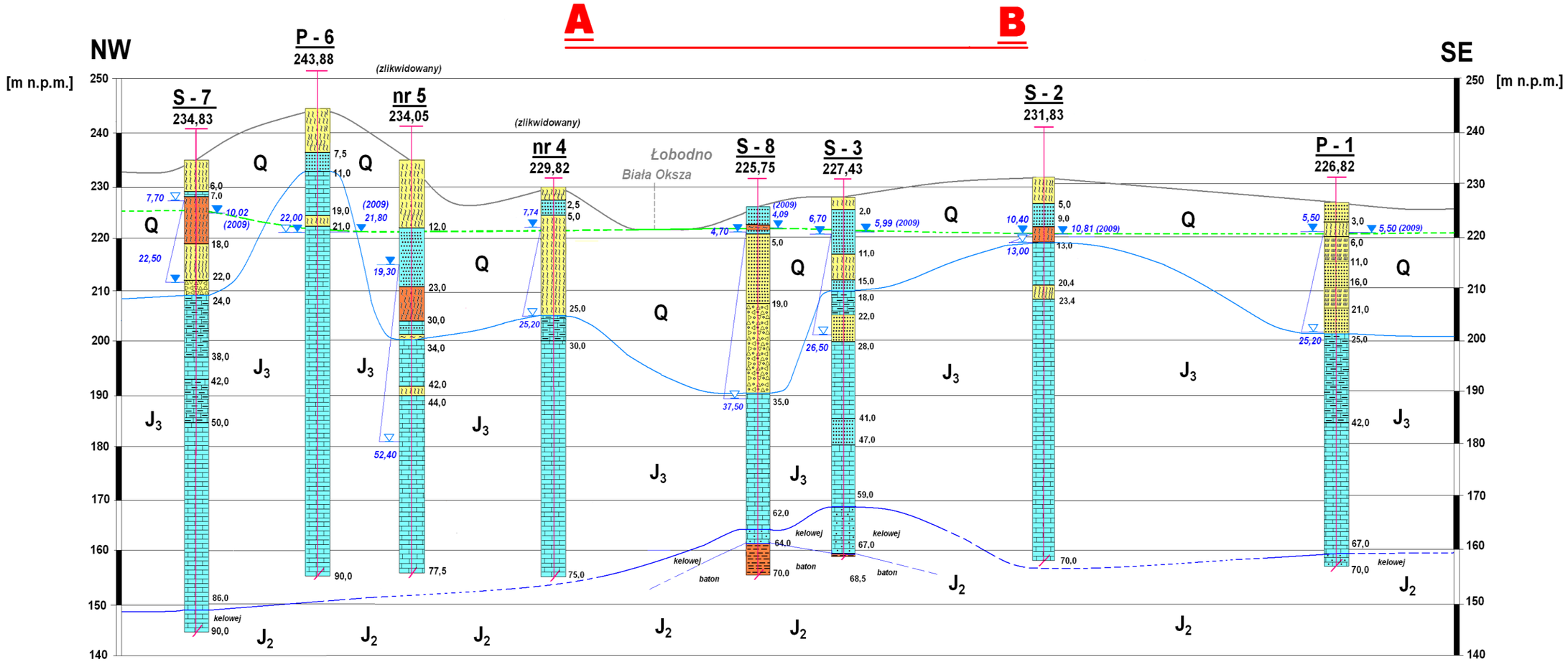
(2009) - zwierciadło wody statyczne (2009 r.) - poziom $J_3$

- zwierciadło wody nawiercone - poziom $J_3$
- zwierciadło wody ustabilizowane - poziom $J_3$

*Załącznik: 2 b*

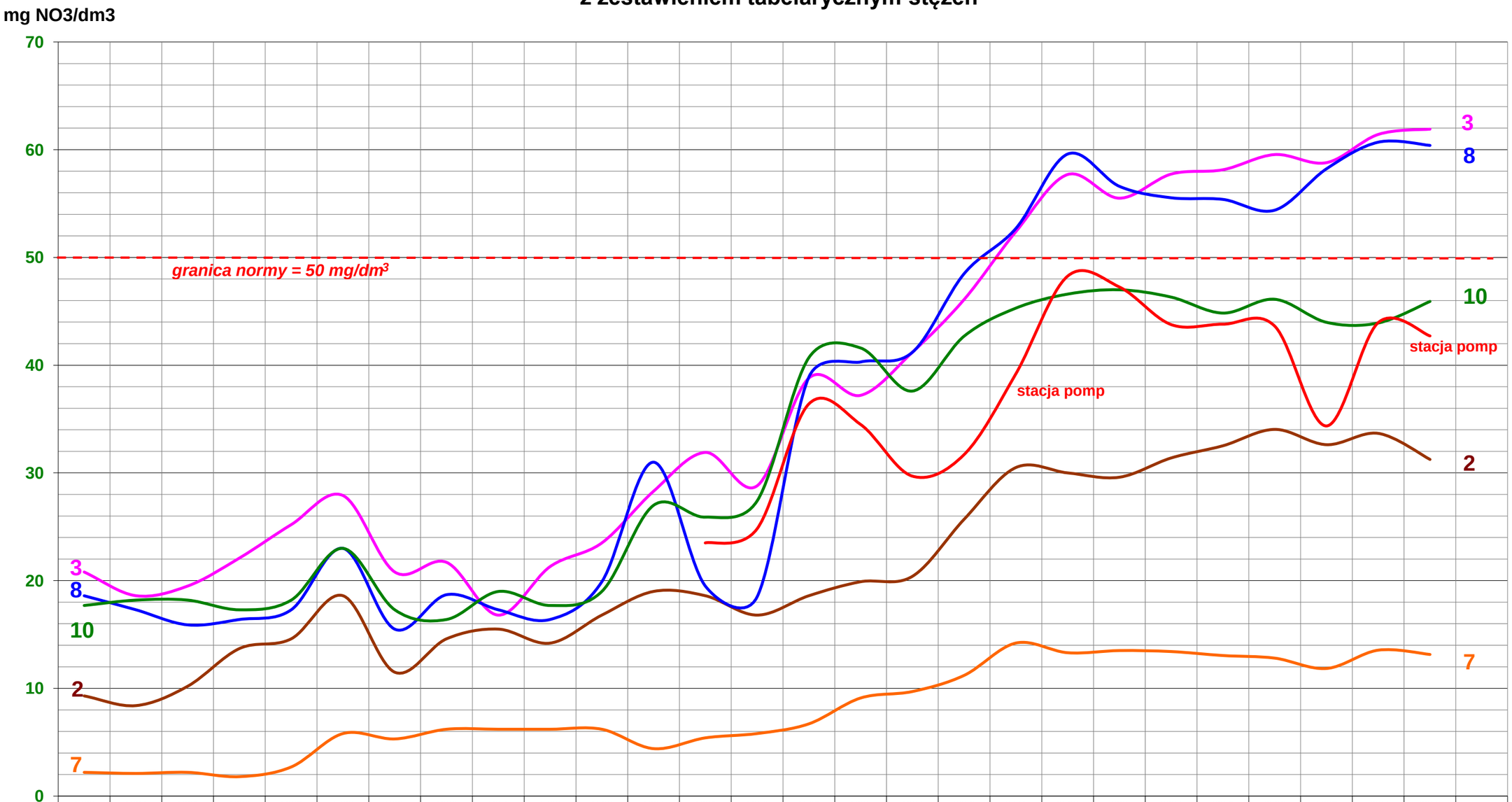
# ZGENERALIZOWANE PRZEKROJE HYDROGEOLOGICZNE

## skala pozioma: 1 : 10 000 skala pionowa: 1 : 1 200



## Średnioroczne stężenia azotanów w wodach ujęcia Łobodno [mg NO3/dm3] w latach 1983 - 2009 z zestawieniem tabelarycznym stężeń

*Załącznik: 3*




| | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| studnia nr 2 | 9,3 | 8,4 | 10,2 | 13,7 | 14,6 | 18,6 | 11,5 | 14,6 | 15,5 | 14,2 | 16,8 | 19 | 18,6 | 16,8 | 18,6 | 19,9 | 20,4 | 25,7 | 30,5 | 30 | 29,6 | 31,39 | 32,52 | 34,04 | 32,62 | 33,67 | 31,25 | |
| studnia nr 3 | 20,8 | 18,6 | 19,5 | 22,1 | 25,2 | 27,9 | 20,8 | 21,7 | 16,8 | 21,3 | 23,5 | 28,3 | 31,9 | 28,8 | 38,8 | 37,2 | 41,2 | 46,1 | 52,4 | 57,7 | 55,5 | 57,74 | 58,14 | 59,55 | 58,8 | 61,42 | 61,91 | |
| studnia nr 7 | 2,2 | 2,1 | 2,2 | 1,8 | 2,7 | 5,8 | 5,3 | 6,2 | 6,2 | 6,2 | 6,2 | 4,4 | 5,4 | 5,8 | 6,7 | 9,1 | 9,7 | 11,2 | 14,2 | 13,3 | 13,5 | 13,41 | 13,04 | 12,8 | 11,84 | 13,54 | 13,14 | |
| studnia nr 8 | 18,6 | 17,3 | 15,9 | 16,4 | 17,3 | 23 | 15,5 | 18,7 | 17,3 | 16,4 | 19,9 | 31 | 19,5 | 18,5 | 38,9 | 40,3 | 41,2 | 48,5 | 52,7 | 59,6 | 56,6 | 55,54 | 55,39 | 54,39 | 58,23 | 60,7 | 60,4 | |
| studnia nr 10 | 17,7 | 18,2 | 18,2 | 17,3 | 18,2 | 23 | 17,3 | 16,4 | 19 | 17,7 | 19 | 27 | 25,9 | 27,4 | 40,7 | 41,6 | 37,6 | 42,7 | 45,3 | 46,6 | 47 | 46,32 | 44,84 | 46,12 | 43,98 | 43,92 | 45,92 | |
| stacja pomp | | | | | | | | | | | | | 23,5 | 24,8 | 36,4 | 34,5 | 29,7 | 31,7 | 39,2 | 48,27 | 47,26 | 43,77 | 43,81 | 43,63 | 34,36 | 43,96 | 42,72 | |

studnia nr 2 studnia nr 3 studnia nr 7 studnia nr 8 studnia nr 10 stacja pomp