

*Rodzicom i Žonie*

**Marek RUMAN**

**CONDITIONS AND RESULTS OF CHANGES  
IN PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES  
OF THE TURAWA RESERVOIR'S WATERS**

**University of Silesia  
Katowice 2011**

**Marek RUMAN**

**UWARUNKOWANIA I SKUTKI ZMIAN  
WŁAŚCIWOŚCI FIZYKO-CHEMICZNYCH WÓD  
ZBIORNIKA TURAWSKIEGO**

**Uniwersytet Śląski  
Katowice 2011**

Redaktor prac Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego  
*prof. zw. dr hab. Andrzej T. Jankowski*

Recenzent

*prof. zw. dr hab. Adam Choiński*

Skład komputerowy i układ typograficzny oraz projekt okładki  
*Marek Ruman, Agnieszka Świstak*

Fotografia na okładce

*Odsłonięte dno Zbiornika Turawskiego z ripplemarkami eolicznymi  
oraz z korzeniami drzew – grudzień 2003 r. - fot. Marek Ruman  
[www.marekruman.pl](http://www.marekruman.pl)*

Wydanie książki sfinansowano ze środków Uniwersytetu Śląskiego  
© Copyright by Uniwersytet Śląski, Katowice 2011

ISBN 978-83-62652-19-8

Współpraca wydawnicza  
Pracownia Komputerowa Jacka Skalmierskiego  
44-100 Gliwice, ul. Pszczyńska 44  
tel. 032 729 80 97, tel. kom. 0 506 132 960  
[www.pkjs.com.pl](http://www.pkjs.com.pl) [www.pkjs.pl](http://www.pkjs.pl) [pkjs@pkjs.com.pl](mailto:pkjs@pkjs.com.pl)

# Spis treści

<b>1. Wprowadzenie.....</b>	<b>7</b>
1.1. Zarys problemu.....	7
1.2. Przegląd literatury.....	9
1.3. Cele i metody badań.....	12
1.3.1. Badania terenowe.....	12
1.3.2. Badania laboratoryjne.....	17
1.3.3. Badania kameralne.....	19
<b>2. Charakterystyka obszaru badań.....</b>	<b>21</b>
2.1. Lokalizacja obszaru badań.....	21
2.2. Środowisko geograficzne zlewni i otoczenia Zbiornika Turawskiego.....	23
2.2.1. Rzeźba terenu.....	23
2.2.2. Budowa geologiczna.....	25
2.2.3. Charakterystyka klimatu.....	28
2.2.4. Stosunki wodne.....	33
2.2.4.1. Wody powierzchniowe.....	33
2.2.4.2. Wody podziemne.....	40
2.2.4.3. Przeobrażenia stosunków wodnych.....	42
2.2.5. Pokrywa glebowa, flora i fauna.....	43
<b>3. Warunki eksploatacji Zbiornika Turawskiego.....</b>	<b>47</b>
3.1. Zarys powstania.....	47
3.2. Funkcje i znaczenie zbiornika.....	51
3.3. Zabudowa hydrotechniczna.....	54
3.4. Parametry morfometryczne.....	60
3.4.1. Parametry charakteryzujące powierzchnie zbiornika.....	63
3.4.2. Parametry charakteryzujące misę zbiornika.....	64
3.5. Zmiany retencji zbiornika.....	68
<b>4. Bilans wodny Zbiornika Turawskiego.....</b>	<b>81</b>
4.1. Elementy pionowej wymiany wody.....	83
4.1.1. Opady atmosferyczne.....	83
4.1.2. Parowanie.....	84

4.2. Elementy poziomej wymiany wody.....	86
4.2.1. Dopływ powierzchniowy.....	86
4.2.2. Odpływ powierzchniowy.....	88
4.2.3. Wymiana wód zbiornika ze zlewnią pod powierzchnią.....	90
4.3. Tempo wymiany wód.....	91
<b>5. Zmiany właściwości fizyko-chemicznych wód Zbiornika Turawskiego.....</b>	<b>93</b>
5.1. Kształtowanie się warunków termiczno-tlenowych.....	93
5.1.1. Termika.....	93
5.1.2. Natlenienie.....	101
5.2. Mineralizacja wody zbiornika w świetle jej przewodności elektrolitycznej.....	105
5.3. Zmiany twardości wody zbiornika.....	107
5.4. Zmiany zasolenia jako indyktor hydrochemicznych zmian jakościowych wód zbiornika.....	110
5.4.1. Chlorki i siarczany.....	110
5.4.2. Sód i potas.....	113
5.5. Zmiany stężenia substancji organicznych.....	115
5.5.1. Rodzaje substancji organicznych.....	115
5.5.2. Wskaźniki zanieczyszczenie organicznego.....	116
5.5.3. Wskaźniki zanieczyszczenie mikrobiologicznego.....	120
5.6. Procesy eutrofizacyjne jako pochodna żyzności wód zbiornika.....	123
5.7. Zawartość wybranych metali ciężkich.....	141
5.7.1. Mangan.....	143
5.7.2. Żelazo.....	144
5.7.3. Kobalt.....	145
5.7.4. Nikiel.....	145
5.7.5. Miedź.....	145
5.7.6. Cynk.....	146
5.7.7. Ołów.....	146
5.7.8. Kadm.....	147
5.8. Wpływ Zbiornika Turawskiego na kształtowanie właściwości fizyko-chemicznych wód powierzchniowych.....	148
<b>6. Specyfika Zbiornika Turawskiego a jeziora i inne zbiorniki antropogeniczne Polski.....</b>	<b>173</b>
<b>7. Wnioski.....</b>	<b>183</b>
<b>Literatura.....</b>	<b>186</b>
<b>Spis rysunków, tabel i fotografii.....</b>	<b>208</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>216</b>
<b>List of figures, tables, photographs.....</b>	<b>219</b>

# Rozdział I

## Wprowadzenie

### 1.1. Zarys problemu

Otoczająca nas przyroda od milionów lat podlegała i podlega ciągłym zmianom. Choć tempo zmian w przeszłości było zróżnicowane, zawsze była to ewolucja naturalna, geogeniczna podlegająca jedynie uwarunkowaniom przyrodniczym. Kiedy pojawił się człowiek i rozpoczął w otaczającym go środowisku naturalnym świadomą działalność, stał się, obok czynników geogenicznych, nową, znaczącą siłą w jego modelowaniu i przekształcaniu (CZAJA, 1999).

Degradacja środowiska stanowi jeden z największych problemów współczesnego świata. Środowisko geograficzne w wyniku wielowiekowej i wielokierunkowej antropopresji uległo znacznym zmianom (JANKOWSKI, 1987). Efektem tych zmian jest szereg antropogenicznych przekształceń obejmujących: ukształtowanie terenu, klimat, wody powierzchniowe i podziemne, glebę oraz szatę roślinną. Brak dostatecznej wiedzy i nieświadomość konsekwencji zmian poczynionych przez człowieka skutkowały znaczną degradacją środowiska geograficznego, zwłaszcza wód powierzchniowych. Działalność człowieka spowodowała z jednej strony zwiększenie ilości wody wchodzącej w obieg hydrologiczny, z drugiej natomiast wpłynęła na zmniejszenie jej dostępnych zasobów, w wyniku pogorszenia jakości wody (JANKOWSKI, 1992). Postępująca degradacja środowiska wodnego, uwarunkowana działalnością gospodarzącego człowieka wymusza konieczność ochrony i zmiany sposobu użytkowania zasobów naturalnych (DĄBROWSKA-PROT, HILLBRICHT-ILKOWSKA, 1991). Pogorszenie jakości wody, prowadzące do ograniczenia jej użyteczności, stało się poważnym problemem, szczególnie na obszarach wysoko uprzemysłowionych i zurbanizowanych (CHELMICKI, 1997).

W ostatnich latach opady uległy wyraźnemu zmniejszeniu, co ma istotny wpływ na kształtowanie zasobów wodnych Polski. Średni roczny odpływ wód powierzchniowych, z terytorium Polski wyniósł 56,6 km<sup>3</sup> (lata 1975-2005). Wskaźnik dostępności wody dla ludności i gospodarki wodnej, wyrażony ilorazem średniego rocznego odpływu do ilości mieszkańców, wynosi około 1600 m<sup>3</sup> i jest w przybliżeniu trzy razy niższy niż średnia dla Europy (STRATEGIA GOSPODARKI WODNEJ, 2005; MAŁY ROCZNIK STATYSTYCZNY, 2007). Zasoby wód powierzchniowych w Polsce są po Malcie najmniejsze w Europie (BOGDANOWICZ, FAL, 2002).

Niskie zasoby wód powierzchniowych Polski spowodowane są czynnikami naturalnymi, takimi jak położenie, małe opady, duże parowanie. Ponadto zasoby wodne Polski cechuje duża sezonowa zmienność i nierównomierne rozmieszczenie terytorialne. Nie bez znaczenia dla stanu środowiska wodnego pozostają jednak przekształcenia antropogeniczne, a w szczególności liczne błędy dotyczące polityki wodno-gospodarczej ostatnich lat. Można do nich zaliczyć zaniedbywanie infrastruktury zaopatrzenia w wodę, wyniszczenie urządzeń tzw. małej retencji, niewłaściwą meliorację i nieracjonalne gospodarowanie zasobami wodnymi.

W chwili obecnej w Polsce niezbędne jest zwiększanie retencji przy jednoczesnych działaniach prowadzących do poprawy jakości dostępnych zasobów wodnych. Możliwości retencyjne zbiorników wodnych w Polsce są ograniczone i nie zapewniają dostatecznej ochrony przed okresowymi nadmiarami lub deficytami wody. W Polsce jest około 100 zbiorników i stopni wodnych o pojemności powyżej 1 mln m<sup>3</sup>. Łączna pojemność zbiorników wynosi ponad 4 mld m<sup>3</sup>, co stanowi 6,5% całkowitej objętości wody odpływającej z obszaru Polski w ciągu roku (MIKULSKI, 2001). Szacuje się, że realne możliwości sztucznej retencji, wynikające z warunków topograficznych, demograficznych i gospodarczych, wynoszą 15% średniego rocznego odpływu (SŁOTA, 1997). Aby poprawić jakość retencionowanych wód, konieczne jest uporządkowanie gospodarki wodno-ściekowej, likwidacja zanieczyszczeń punktowych i obszarowych na terenach zlewni oraz rekultywacja samych zbiorników.

Badanie reakcji środowiska przyrodniczego, w tym zasobów wodnych, na różnorodne formy antropopresji, jest jednym z najważniejszych zadań współczesnej hydrologii (KUPCZYK, JANKOWSKI, 2002). Prowadzenie i wspomaganie działań na rzecz ochrony i podtrzymania zasobów czystej wody, wobec rosnącego zagrożenia środowiska, uznaje się za priorytetowe cele nauki (WORD SCIENCE REPORT, 1998).

Z tego względu poznanie uwarunkowań i skutków zamian właściwości fizyko-chemicznych wód Zbiornika Turawskiego, stanowiące temat prezentowanej pracy, jest istotne nie tylko dla poznania lokalnych warunków hydrologicznych, ale także dla zrozumienia przekształceń całego obiegu wody.

# Spis rysunków, tabel i fotografii

## Rysunki

- Rys. 1. Lokalizacja punktów poboru wody do analiz fizyko-chemicznych (opracowanie własne)
- Rys. 2. Plan profili batymetrycznych wykorzystanych podczas badań głębokości Zbiornika Turawskiego (opracowanie własne)
- Rys. 3. Położeniem z regionu Równiny Opolskiej (318.57) na tle podziału fizycznogeograficznego makroregionu Niziny Śląskiej (wg Kondracki, 2001)
- Rys. 4. Zbiornik Turawski i jego otoczenie (opracowanie własne)
- Rys. 5. Mapa geomorfologiczna otoczenia Zbiornika Turawskiego (wg Atlasu Śląska Dolnego i Opolskiego, 1997)
- Rys. 6. Numeryczny model terenu otoczenia Zbiornika Turawskiego (opracowanie własne)
- Rys. 7. Położenie Zbiornika Turawskiego na tle budowy geologicznej (wg Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski, 1958)
- Rys. 8. Sieć obserwacyjna IMiGW wokół Zbiornika Turawskiego (opracowanie własne)
- Rys. 9. Średnie miesięczne wartości temperatury powietrza atmosferycznego (T) i średnie miesięczne sumy opadów atmosferycznych (P) w Opolu w wieloleciu 1996-2005 (opracowanie własne na podstawie danych IMiGW w Katowicach)
- Rys. 10. Roczna suma opadów atmosferycznych na stacji opadowej w Turawie w latach hydrologicznych 1996-2005 (opracowanie własne na podstawie danych IMiGW w Katowicach)
- Rys. 11. Minimalne, średnie i maksymalne miesięczne sumy opadów atmosferycznych na stacji opadowej w Turawie z wielolecia hydrologicznego 1996-2005 (opracowanie własne na podstawie danych IMiGW w Katowicach)
- Rys. 12. Średnie roczne sumy opadów atmosferycznych w wieloleciu 1960-1990 określone metodą izohiet (opracowanie własne na podstawie danych IMiGW w Katowicach)
- Rys. 13. Zlewnia Małej Panwi. Opracowanie własne na podstawie Mapy Podziału Hydrograficznego Polski - (Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej)
- Rys. 14. Zlewnia Małej Panwi na tle numerycznego modelu terenu (opracowanie własne)

- Rys. 15. Średnie miesięczne przepływy Małej Panwi w profilach Staniszcze Wielkie oraz Turawa w wieloletniu 1996-2005 (opracowanie własne na podstawie danych IMiGW w Katowicach)
- Rys. 16. Plan batymetryczny Jeziora Srebrnego (opracowanie własne)
- Rys. 17. Mapa hydrologiczna okolic Zbiornika Turawskiego (wg Mapy hydrologicznej, 1998)
- Rys. 18. Planowany zasięg Zbiornika Turawskiego (opracowanie własne na podstawie Staubackenander Malapanebei Turawa..., 1933)
- Ryc. 19. Lokalizacja Jeziora Średniego i Małego (opracowanie własne)
- Rys. 20. Średnie roczne odłowy ryb w latach 1949-1999 na Zbiorniku Turawskim (opracowanie własne wg Bartosiewicza, 2002);
- Rys. 21. Lokalizacja głównych obiektów i urządzeń hydrotechnicznych na Zbiorniku Turawskim (opracowanie własne)
- Rys. 22. Plan batymetryczny Zbiornika Turawskiego (opracowanie własne)
- Rys. 23. Przestrzenny model misy Zbiornika Turawskiego (opracowanie własne)
- Rys. 24. Zasięg Zbiornika Turawskiego przy poszczególnych stanach piętrzenia wody na tle doliny Małej Panwi sprzed budowy akwenu (opracowanie własne, na podkładzie mapy Staubackenander Malapanebei Turawa..., 1933)
- Rys. 25. Rozkład prędkości w wybranym profilu Zbiornika Turawskiego – sonda ADCP (opracowanie własne)
- Rys. 26. Zasięg Zbiornika Turawskiego podczas poszczególnych stanów piętrzenia wody (opracowanie własne)
- Rys. 27. Plan batymetryczny najgłębszej części Zbiornika Turawskiego zlokalizowanej bezpośrednio przy zablokowanej budowlu upustowej – wieżach przelewowych (opracowanie własne)
- Rys. 28. Przebieg codziennych stanów wody Zbiornika Turawskiego w latach hydrologicznych 1968-2006 (opracowanie własne na podstawie danych RZGW);
- Rys. 29. Przebieg charakterystycznych stanów wody w Zbiorniku Turawskim w latach hydrologicznych 1968-2006 (opracowanie własne na podstawie danych RZGW)
- Rys. 30. Średnie miesięczne rzędne piętrzenia wody w Zbiorniku Turawskim w wieloletniu hydrologicznym 1968-2006 (opracowanie własne na podstawie danych RZGW)
- Rys. 31. Przebieg codziennej retencji wody Zbiorniku Turawskim w latach hydrologicznych 1968-2006 (opracowanie własne na podstawie danych RZGW)
- Rys. 32. Zmiany retencji Zbiornika Turawskiego w latach hydrologicznych 1968-2006 (opracowanie własne na podstawie danych RZGW)
- Rys. 33. Średnia, maksymalna i minimalna miesięczna retencja Zbiornika Turawskiego w latach hydrologicznych 1968-2006 (opracowanie własne na podstawie danych RZGW)
- Rys. 34. Zmiany powierzchni Zbiornika Turawskiego (opracowanie własne)
- Rys. 35. Średnie miesięczne odsłonięcie dna Zbiornika Turawskiego w okresie lat hydrologicznych 1996-2005 (opracowanie własne);
- Rys. 36. Zasilanie Zbiornika Turawskiego opadami atmosferycznymi w latach hydrologicznych 1996 - 2005 (opracowanie własne na podstawie danych IMiGW w Katowicach i RZGW w Opolu)
- Rys. 37. Roczne opady atmosferyczne w Turawie w porównaniu ze średnią roczną powierzchnią zbiornika (opracowanie własne na podstawie danych IMiGW w Katowicach i RZGW w Opolu)
- Rys. 38. Parowanie wody ( $E_p$ ) ze Zbiornika Turawskiego w latach hydrologicznych 1996-2006 (opracowanie własne na podstawie danych IMiGW w Katowicach i RZGW w Opolu)
- Rys. 39. Średnie miesięczne parowanie wody ( $E$ ) ze Zbiornika Turawskiego w porównaniu ze średnią miesięczną powierzchnią zbiornika w latach hydrologicznych 1996-2006 (opracowanie własne na podstawie danych IMiGW w Katowicach i RZGW w Opolu)

- Rys. 40. Średnie miesięczne parowanie wody (E) ze Zbiornika Turawskiego w porównaniu ze średnim miesięcznym opadem atmosferycznym w Turawie w latach hydrologicznych 1996-2006 (opracowanie własne na podstawie danych IMiGW w Katowicach i RZGW w Opolu)
- Rys. 41. Dopływ powierzchniowy (Q<sub>p</sub>) do Zbiornika Turawskiego w latach hydrologicznych 1996-2005 (opracowanie własne na podstawie danych IMiGW w Katowicach i RZGW w Opolu)
- Rys. 42. Procentowy udział dopływu powierzchniowego do Zbiornika Turawskiego w latach hydrologicznych 1996-2005 (opracowanie na podstawie danych IMiGW oraz własnych badań terenowych)
- Rys. 43. Średni miesięczny dopływ powierzchniowy do Zbiornika Turawskiego w latach hydrologicznych 1996-2005 (opracowanie własne na podstawie danych IMiGW w Katowicach i RZGW w Opolu)
- Rys. 44. Odpływ powierzchniowy ze zbiornika Turawskiego w latach hydrologicznych 1996 - 2005 (opracowanie własne na podstawie danych IMiGW w Katowicach i RZGW w Opolu)
- Rys. 45. Średni miesięczny odpływ powierzchniowy ze Zbiornika Turawskiego w latach hydrologicznych 1996-2005 (opracowanie własne na podstawie danych IMiGW w Katowicach i RZGW w Opolu)
- Rys. 46. Średni miesięczny bilans wymiany wód Zbiornika Turawskiego ze zlewni pod powierzchnią w latach hydrologicznych 1996-2005 (opracowanie własne na podstawie danych IMiGW w Katowicach i RZGW w Opolu)
- Rys. 47. Czas wymiany wód Zbiornika Turawskiego w okresie lat hydrologicznych 1996-2005 (opracowanie własne na podstawie danych IMiGW w Katowicach i RZGW w Opolu)
- Rys. 48. Zmiany temperatury wody w Zbiorniku Turawskim w roku hydrologicznym 2004 - profil pionowy: 50°44'10.28"N, 18°05'30.22"E (opracowanie własne)
- Rys. 49. Zmiany temperatury wody w Zbiorniku Turawskim w roku hydrologicznym 2005 - profil pionowy: 50°44'10.28"N, 18°05'30.22"E (opracowanie własne)
- Rys. 50. Zmiany temperatury wody w Zbiorniku Turawskim w roku hydrologicznym 2006 - profil pionowy: 50°44'10.28"N, 18°05'30.22"E (opracowanie własne)
- Rys. 51. Natlenienie wody (w %) Zbiornika Turawskiego w roku hydrologicznym 2004 - profil pionowy: 50°44'10.28"N, 18°05'30.22"E (opracowanie własne)
- Rys. 52. Natlenienie wody (w %) Zbiornika Turawskiego w roku hydrologicznym 2005 - profil pionowy: 50°44'10.28"N, 18°05'30.22"E (opracowanie własne)
- Rys. 53. Natlenienie wody (w %) Zbiornika Turawskiego w roku hydrologicznym 2006 - profil pionowy: 50°44'10.28"N, 18°05'30.22"E (opracowanie własne)
- Ryc. 54. Zmiany średniej miesięcznej przewodności elektrolitycznej właściwej wody Zbiornika Turawskiego oraz stanu napełnienia w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Ryc. 55. Zmiany średniej miesięcznej przewodności elektrolitycznej właściwej (PEW) wody Zbiornika Turawskiego w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Ryc. 56. Zmiany średniej miesięcznej twardości ogólnej wody Zbiornika Turawskiego w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Ryc. 57. Zmiany średniego miesięcznego stężenia wapnia w wodach Zbiornika Turawskiego w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Ryc. 58. Zmiany średniego miesięcznego stężenia magnezu w wodach Zbiornika Turawskiego w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Ryc. 59. Zmiany średniego miesięcznego stężenia chlorków w wodach Zbiornika Turawskiego w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)

- Ryc. 60. Zmiany średniego miesięcznego stężenia siarczanów w wodach Zbiornika Turawskiego w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Ryc. 61. Zmiany średniego miesięcznego stężenia sodu w wodach Zbiornika Turawskiego w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Ryc. 62. Zmiany średniego miesięcznego stężenia potasu w wodach Zbiornika Turawskiego w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Ryc. 63. Zmiany średniego miesięcznego stężenia BZT5 w wodach Zbiornika Turawskiego w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Ryc. 64. Zmiany średniego miesięcznego stężenia  $\text{ChZT}_{\text{Mn}}$  w wodach Zbiornika Turawskiego w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Ryc. 65. Lokalizacja punktów poboru wody na Zbiorniku Turawskim do analiz mikrobiologicznych (opracowanie własne)
- Ryc. 66. Średnia, minimalna oraz maksymalna liczba bakterii grupy coli w 100 ml w wodzie Zbiornika Turawskiego w poszczególnych punktach pomiarowych w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne na podstawie danych własnych i PWIS w Opolu)
- Ryc. 67. Średnia, minimalna oraz maksymalna liczba bakterii grupy coli w 100 ml wody Zbiornika Turawskiego w poszczególnych punktach pomiarowych w latach hydrologicznych 2004 - 2006 (opracowanie własne na podstawie danych własnych i PWIS w Opolu)
- Rys. 68. Stężenie fosforanów w wodach powierzchniowych Zbiornika Turawskiego w dniu 29 maja 2004 roku określone metodą izolinii, opracowanie własne)
- Rys. 69. Stężenie fosforu fosforanowego w wodach powierzchniowych i przydennych Zbiornika Turawskiego w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Rys. 70. Stężenie azotu azotanowego w wodach rzek: Libawy, Małej Panwi oraz Rosy w profilach ujściowych do Zbiornika Turawskiego w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Rys. 71. Stężenie fosforu fosforanowego w wodach rzek: Libawy, Małej Panwi oraz Rosy w profilach ujściowych do Zbiornika Turawskiego w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Rys. 72. Średnie miesięczne zewnętrzne obciążenie Zbiornika Turawskiego fosforem fosforanowym w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Rys. 73. Średnie miesięczne zewnętrzne obciążenie Zbiornika Turawskiego azotem azotanowym w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Rys. 74. Zmiany przezroczystości wody (minimalnej, maksymalnej i średniej) Zbiornika Turawskiego w okresie lat hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Ryc. 75. Średnie miesięczne stężenie azotu azotanowego w wodach Zbiornika Turawskiego w latach hydrologicznych 2004-2005 (opracowanie własne)
- Rys. 76. Średnie miesięczne stężenie fosforu fosforanowego w wodach Zbiornika Turawskiego w latach hydrologicznych 2004-2005 (opracowanie własne)
- Rys. 77. Zmiany stężenia fosforu fosforanowego w wodach Zbiornika Turawskiego oraz stanu napełnienia akwenu w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Rys. 78. Natlenienie wody Zbiornika Turawskiego w % w okresie od czerwca do września 2004 r. - profil pionowy: 50°44'07.71"N, 18°05'50.48"E (opracowanie własne)
- Rys. 79. Natlenienie wody Zbiornika Turawskiego w % w okresie od czerwca do września 2005 r. - profil pionowy: 50°44'07.71"N, 18°05'50.48"E (opracowanie własne)
- Rys. 80. Natlenienie wody Zbiornika Turawskiego w % w okresie od czerwca do września 2006 r. - profil pionowy: 50°44'07.71"N, 18°05'50.48"E (opracowanie własne)
- Rys. 81. Zmiany odczynu wód Zbiornika Turawskiego w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)

- Rys. 82. Stężenia średnie, minimalne i maksymalne wybranych metali ciężkich w wodach Zbiornika Turawskiego w okresie lat hydrologicznych 2004 – 2006 (opracowanie własne)
- Rys. 83. Temperatury wody (minimalne, maksymalne, średnie) w okresie lat hydrologicznych 2004-2006 w profilach: rzeka Mała Panew-dopływ do zbiornika, Zbiornik Turawski, rzeka Mała Panew-wypływ ze zbiornika (opracowanie własne)
- Rys. 84. Grubość pokrywy lodowej Zbiornika Turawskiego (w cm) w dniu 20 lutego 2006 roku określone metodą izolinii (opracowanie własne)
- Rys. 85. Procentowa różnica wybranych parametrów fizyko-chemicznych wód rzeki Małej Panwi wypływających ze Zbiornika Turawskiego w stosunku do jej dopływu w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Rys. 86. Procentowa różnica wybranych parametrów fizyko-chemicznych wód rzeki Małej Panwi względem rzeki Libawy w profilu ujściowym do Zbiornika Turawskiego w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Rys. 87. Procentowa różnica wybranych parametrów fizyko-chemicznych wód rzeki Małej Panwi względem rzeki Rosy w profilu ujściowym do Zbiornika Turawskiego w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Rys. 88. Zmiany przewodności właściwej wód rzek: Libawy i Rosy dopływającej do Zbiornika Turawskiego oraz wód rzeki Małej Panwi (dopływ i odpływ z akwenu) w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Rys. 89. Zmiany przewodności elektrolitycznej wody rzeki Małej Panwi (odpływ ze zbiornika) wraz ze stanem napełnienia w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Rys. 90. Zmiany odczynu (pH) wód rzek: Libawy i Rosy dopływających do Zbiornika Turawskiego oraz wód rzeki Małej Panwi (dopływ i odpływ z akwenu) w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Rys. 91. Zmiany zasadowości ogólnej wód rzek: Libawy i Rosy dopływających do Zbiornika Turawskiego oraz wód rzeki Małej Panwi (dopływ i odpływ z akwenu) w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Rys. 92. Zmiany stężenia chlorków wód rzek: Libawy i Rosy dopływających do Zbiornika Turawskiego oraz wód rzeki Małej Panwi (dopływ i odpływ z akwenu) w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Rys. 93. Zmiany wielkości ładunku chlorków dopływających i odpływających ze Zbiornika Turawskiego w poszczególnych miesiącach lat hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Rys. 94. Zmiany stężenia siarczanów wód rzek: Libawy i Rosy dopływających do Zbiornika Turawskiego oraz wód rzeki Małej Panwi (dopływ i odpływ z akwenu) w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Rys. 95. Zmiany wielkości ładunków siarczanów dopływających i odpływających ze Zbiornika Turawskiego w poszczególnych miesiącach lat hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Rys. 96. Zmiany stężenia sodu wód rzek: Libawy i Rosy dopływających do Zbiornika Turawskiego oraz wód rzeki Małej Panwi (dopływ i odpływ z akwenu) w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Rys. 97. Zmiany wielkości ładunków sodu dopływających i odpływających ze Zbiornika Turawskiego w poszczególnych miesiącach lat hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Rys. 98. Zmiany stężenia potasu wód rzek: Libawy i Rosy dopływających do Zbiornika Turawskiego oraz wód rzeki Małej Panwi (dopływ i odpływ z akwenu) w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)

- Rys. 99. Zmiany wielkości ładunków potasu dopływających i odpływających ze Zbiornika Turawskiego w poszczególnych miesiącach lat hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Rys. 100. Stężenia metali wód rzeki Libawy (średnie, minimalne i maksymalne) w profil ujściowy do Zbiornika Turawskiego w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Rys. 101. Stężenia metali wód rzeki Małej Panwi (średnie, minimalne i maksymalne) w profil ujściowy do Zbiornika Turawskiego w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Rys. 102. Procentowa różnica stężeń wybranych metali ciężkich w wodach rzeki Małej Panwi wypływających ze Zbiornika Turawskiego w stosunku do jej dopływu w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Rys. 103. Stężenia metali wód rzeki Małej Panwi (średnie, minimalne i maksymalne) wypływającej ze Zbiornika Turawskiego w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Rys. 104. Zbiornik Turawski - zestawienie wielkości ładunków metali ciężkich dopływających wodami powierzchniowymi (dopływy) oraz odprowadzanych przez wody Małej Panwi (odpływ) w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)

## Tabele

- Tab. 1. Współrzędne geograficzne punktów poboru wody do analiz fizyko-chemicznych
- Tab. 2. Metody badawcze analizy chemicznej wody wykonane w akredytowanym Laboratorium Ośrodka Badań i Kontroli Środowiska w Katowicach
- Tab. 3. Średnie miesięczne, sezonowe i roczne sumy opadów atmosferycznych w wieloletniu 1960 -1980 z posterunków opadowych zlokalizowanych wokół Zbiornika Turawskiego (opracowanie własne na podstawie danych IMiGW w Katowicach)
- Tab. 4. Wybrane właściwości fizyko-chemiczne wybranych akwenów w dolinie rzeki Mała Panew (opracowanie własne)
- Tab. 5. Podział zbiorników wodnych ze względu na wahania zwierciadła wody wyliczone na podstawie wskaźnika -  $W_{wz}$  (opracowanie własne)
- Tab. 6. Charakterystyczne poziomy piętrzenia wody w Zbiorniku Turawskim (opracowanie własne na podstawie danych RZGW)
- Tab. 7. Charakterystyczne rzędne piętrzenia wody w Zbiorniku Turawskim w latach hydrologicznych 1968-2006 (opracowanie własne na podstawie danych RZGW)
- Tab. 8. Średnie miesięczne rzędne piętrzenia wody w Zbiorniku Turawskim w wieloletniu hydrologicznym 1968-2006 (opracowanie własne na podstawie danych RZGW)
- Tab. 9. Liczba dni piętrzenia zwierciadła wody w Zbiorniku Turawskim w wieloletniu hydrologicznym 1968-2006 w przedziałach (opracowanie własne na podstawie danych RZGW)
- Tab. 10. Charakterystyczne wielkości retencji Zbiornika Turawskiego w latach hydrologicznych 1968-2006 (opracowanie własne na podstawie danych RZGW)
- Tab. 11. Średnia, maksymalna i minimalna miesięcznapojemność retencjonowanej wody w Zbiorniku Turawskim w wieloletniu hydrologicznym 1967-2006 (opracowanie własne na podstawie danych RZGW)
- Tab. 12. Obliczenia bilansu wodnego dla Zbiornika Turawskiego (wg Rzętały, 2000)
- Tab. 13. Występowanie pokrywy lodowej na Zbiorniku Turawskim w latach hydrologicznych 1975 - 1996 (opracowanie własne na podstawie danych RZGW)

- Tab. 14. Źródła zanieczyszczeń rzeki Małej Panwi i Libawy kontrolowane przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Opolu (wg Lewandowski, 2002)
- Tab. 15. Stężenia fosforu fosforanowego w wodach rzek: Libawy, Małej Panwi oraz Rosy w profilach ujściowych do Zbiornika Turawskiego (opracowanie własne)
- Tab. 16. Stężenie azotu azotanowego w wodach rzek: Libawy, Małej Panwi oraz Rosy w profilach ujściowych do Zbiornika Turawskiego (opracowanie własne)
- Tab. 17. Zewnętrzne obciążenie Zbiornika Turawskiego fosforem fosforanowym i azotem azotanowym w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Tab. 18. Stężenie fosforu fosforanowego i azotu azotanowego w wodach Zbiornika Turawskiego (opracowanie własne)
- Tab. 19. Wybrane właściwości fizyko-chemiczne wód rzek: Małej Panwi, Libawy i Rosy w profilach ujściowych do Zbiornika Turawskiego oraz Małej Panwi poniżej zbiornika w latach hydrologicznych 2004-2006 wraz z obowiązującą klasyfikacją jakości wód powierzchniowych (opracowanie własne)
- Tab. 20. Zbiornik Turawski - zestawienie wielkości ładunków chlorków dostarczanych przez wody powierzchniowe (dopływy) oraz odprowadzanych przez wody odpływu powierzchniowego w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Tab. 21. Zbiornik Turawski - zestawienie wielkości ładunków siarczanów dopływających wodami powierzchniowymi (dopływy) oraz odprowadzanych przez wody Małej Panwi (odpływ) w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Tab. 22. Zbiornik Turawski - zestawienie wielkości ładunków sodu dopływających wodami powierzchniowymi (dopływy) oraz odprowadzanych przez wody Małej Panwi (odpływ) w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Tab. 23. Zbiornik Turawski – zestawienie wielkości ładunków potasu dopływających wodami powierzchniowymi (dopływy) oraz odprowadzanych przez wody odpływu powierzchniowego w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Tab. 24. Zbiornik Turawski - zestawienie wielkości ładunków fosforu fosforanowego dopływających wodami powierzchniowymi (dopływy) oraz odprowadzanych przez wody Małej Panwi (odpływ) w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Tab. 25. Zbiornik Turawski - zestawienie wielkości ładunków azotu azotanowego dopływających wodami powierzchniowymi (dopływy) oraz odprowadzanych przez wody Małej Panwi (odpływ) w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Tab. 26. Zbiornik Turawski - zestawienie wielkości ładunków metali ciężkich dopływających wodami powierzchniowymi (dopływy) oraz odprowadzanych przez wody Małej Panwi (odpływ) w latach hydrologicznych 2004-2006 (opracowanie własne)
- Tab. 27. Największe zbiorniki wodne w Polsce (opracowanie własne wg Rocznika Statystycznego, 2007)
- Tab. 28. Parametry morfometryczne wybranych zbiorników zaporowych: Zbiornik Turawski (opracowanie własne); Zbiornik Poraj (Jaguś, Rzętała, 2000); Zbiornik Kozłowa Góra (Jaguś, Rzętała, 2003); Zbiornik Żywiec (Machowski i in., 2005); Zbiornik Czorsztyn - Niedzica (Jaguś, Rzętała 2004); Zbiornik Dzierżno Duże (Rzętała, 2000)
- Tab. 29. Bilans wodny wybranych zbiorników w roku hydrologicznym 1996: Zbiornik Turawski (opracowanie własne); zbiornik Dzierżno Duże, Pogoria III, Przeczyce, Kozłowa Góra (Rzętała, 2000)
- Tab. 30. Średnie roczne wartości parametrów fizyko-chemiczne wód zbiorników antropogenicznych w profilach: dopływ i odpływ z akwenu w roku hydrologicznym 1995: Zbiornik Turawski (opracowanie własne), zbiorniki Dzierżno Duże, Pławniowice, Pogoria I, Rogoźnik, Kozłowa Góra, Przeczyce (Rzętała, 2000)

Tab. 31. Średnie wieloletnie właściwości fizyko-chemiczne wód zbiorników zaporowych: Zbiornik Turawski – lata hydrologiczne 2004-2006 (opracowanie własne); Zbiornik Dzieńkowice – lata hydrologiczne 1978-1997 (Bok i in., 2004); Zbiornik Kozłowa Góra – lata hydrologiczne 1975-1999 (Jaguś, Rzętała, 2003); Zbiornik Siemianówka – lata 1991-1999 (Górnjak, 2006).

## Fotografie

- Fot. 1. Echosonda Lowrance LCX-17M (fot. M. Ruman)
- Fot. 2. Sonda RD Instruments ADCP - Acoustic Doppler Current Profilers (fot. M. Ruman)
- Fot. 3. Ujściowy odcinek rzeki Rosy wpadającej do Zbiornika Turawskiego (fot. M. Ruman)
- Fot. 4. Odsłonięte dno Zbiornika Turawskiego – grudzień 2006 r. (fot. M. Ruman)
- Fot. 5. Jezioro Srebrne – wrzesień 2006 r. (fot. M. Ruman)
- Fot. 6. Odwodna strona zapory czołowej Zbiornika Turawskiego pokryta brukiem kamiennym (fot. M. Ruman)
- Fot. 7. Wieże budowli upustowej Zbiornika Turawskiego (fot. M. Ruman)
- Fot. 8. Budynek elektrowni wodnej Turawa (fot. M. Ruman)
- Fot. 9. Zbiornik wstępny Jedlice (fot. M. Ruman)
- Fot. 10. Budynek przepompowni Jedlice (fot. M. Ruman)
- Fot. 11. Niskie stany wody utrudniają rekreacyjne wykorzystanie Zbiornika Turawskiego - październik 2006 r. (fot. M. Ruman)
- Fot. 12. Spiętrzenie pokrywy lodowej Zbiornika Turawskiego - luty 2006 r. (fot. M. Ruman)
- Fot. 13. Odsłonięte dno zbiornika z ripplemarkami eolicznymi oraz z korzeniami drzew - grudzień 2003 r. (fot. M. Ruman)
- Fot. 14. Odsłonięte dno zbiornika z pozostałościami dawnej zabudowy – grudzień 2003 r. (fot. M. Ruman)
- Fot. 15. Wysoki stan wody – maj 2004 r. (fot. M. Ruman)
- Fot. 16. Wysoki stan wody – maj 2004 r. (fot. M. Ruman)
- Fot. 17. Intensywne zabarwienie wód Zbiornika Turawskiego w sierpniu 2006 roku spowodowane masowym rozwojem glonów i sinic (fot. M. Ruman)
- Fot. 18. Intensywne zabarwienie wód Małej Panwi poniżej Zbiornika Turawskiego spowodowane masowym rozwojem glonów i sinic w akwenu (fot. M. Ruman).

## Abstract

### CONDITIONS AND RESULTS OF CHANGES IN PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF THE TURAWA RESERVOIR'S WATERS

The main aim of the study was to carry out the assessment of environmental condition of the Turawa Reservoir on the basis of patterns of changes in physico-chemical properties of its waters. The tested physico-chemical parameters included: (specific conductance, pH, T,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ ,  $\text{BOD}^5$ , Mg, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb). Assessment of conditions of their variability was carried out and they were classified in accordance with the ordinance in force in the time of research. Detailed analysis of variation in components of the reservoir's water balance was carried out. Bathymetric measurements were taken enabling calculation of morphometric indexes of this water body and preparing an up to date bathymetric chart of the reservoir as well as a spatial model of the waterbody's basin. Operational conditions were determined as well as the social and economic role of the reservoir. Attention was drawn to the multifunctionality of the Turawa Reservoir resulting in big fluctuations of its water table. The study also determined specific character of the studied body of water against the background of lakes and other anthropogenic reservoirs in Poland.

The carried out research of conditions and results of changes of physico-chemical properties of the Turawa Reservoir's waters in the hydrological years 2004 - 2006 confirmed the adopted thesis: environmental condition of the reservoir is undergoing gradual deterioration as a result of strong agricultural and industrial anthropogenic impact.

Changes in physico-chemical properties of waters in the reservoir were conditioned by the quality of river water (mainly of the Mała Panew) flowing into the reservoir and the inflow of pollutants from unsewered towns and tourist resorts located at the edge of the reservoir. Moreover, biological and chemical processes in waters stored in the reservoir significantly influenced physico-chemical changes of water.

In accordance with basic monitoring guidelines for lakes, the Turawa Reservoir is moderately susceptible to anthropogenic influences (2<sup>nd</sup> class) as regards morphometric, hydrographic, and catchment features. Waters of the reservoir can be classified into 3<sup>rd</sup> purity class, i.e. as highly polluted waters (KUDELSKA ET AL., 1994).

In accordance with surface water quality classification, the following parameters

of the studied reservoir are unsatisfactory (4<sup>th</sup> class) or bad (5<sup>th</sup> class): oxygen indexes ( $BOD_5$ ,  $COD_{Mn}$ , TOC), microbiological indexes (the number of coliform bacteria, the number of fecal coliform bacteria) and concentrations of heavy metals: lead and cadmium (ORDINANCE ..., 2004).

In the hydrological years 2004-2006, as a result of strong eutrophication of the reservoir, the following physico-chemical water parameters significantly deteriorated: colour, smell, oxygen saturation, transparency, pH,  $BOD_5$ ,  $COD_{Mn}$ .

In the research period, positive tendencies of lowering concentrations of the following chemical parameters of the Turawa Reservoir's water could be noticed: hardness, calcium, magnesium and sulphates.

One of the biggest threats to the environmental condition of the Turawa Reservoir is water eutrophication which leads to numerous hazards to this ecosystem, including: oxygen deficits in deeper parts of the reservoir (what constitutes a hazard for the existence of aerobic organisms), oxygen over-saturation in the epilimnion, reduced water transparency, increased water pH, accumulation of organic matter, overgrowing of the reservoir, deterioration of taste and smell of water and release of phosphorus from bottom deposits in anaerobic conditions. Increasing degradation of water environment affects the use value of water, decreasing aesthetic values of the surroundings, making development of the whole waterbody difficult.

A characteristic feature of the Turawa Reservoir is its multifunctionality. At the moment the lake performs the following functions:

- stores water resources and regulates their level supporting the Opole section of the upper Oder with water supply for the purposes of water transport on the Oder;
- provides flood protection;
- enables functioning of hydroelectric power plants "Turawa" and "Opole";
- performs a tourist and recreational function providing conditions for water sports and makes fisheries management possible;
- is the recipient of pollutants discharged to the rivers (Mała Panew, Libawa, Rosa) and flowing in from unsewered towns and resorts around the reservoir.

The Turawa Reservoir affects the following features:

- microclimate;
- level and quality of groundwater;
- water quality of the Mała Panew river downstream of the reservoir.

The multifunctionality of the Turawa Reservoir and implementation of water management policies became the source of many problems connected with its management. This resulted in big fluctuations of water table, leading to exposure of the bottom, rare in other dam reservoirs. Changes in the extent of the reservoir had a negative impact on water chemistry and therefore on transformation of physico-chemical properties downstream of the reservoir.

In accordance with the division of reservoirs as regards fluctuations of water table elaborated by the author, calculated on the basis of the  $W_{wz}$  index (index of water table fluctuations in the reservoir), the Turawa Reservoir should be categorised as a water body with very high fluctuations of water table.

$$W_{wz} = \frac{H_{maks.}}{A_{sr.}}$$

$H_{maks.}$  – maximum depth of the reservoir,

$A_{sr.}$  – average annual range of water table fluctuations in a multi-year period

Changes in water retention in the Turawa Reservoir were mainly the result of the implementation of water management policy, the extent of supply, evaporation from varied surface and runoff of water from the water body, with a significant role of catchment area and the reservoir's morphometry.

The construction of the Turawa Reservoir has significantly influenced the quality of water in the Mała Panew downstream of the lake but the influence of damming is equivocal. Some changes must be regarded as positive (drop in specific conductance, hardness, salinity, concentration of nitrate nitrogen and phosphate phosphorus and drop in the concentration of iron, zinc and cadmium), and some as negative (deterioration of colour, smell and taste of water, thermal and oxygen conditions, increased organic pollution, pH and concentration of heavy metals, like cobalt, manganese, lead, nickel and copper). A decisive impact on the course of processes of physico-chemical transformation of waters was played by: the quality of waters flowing into the waterbody, eutrophication of the reservoir, water management, and environmental conditions and character of the lake.

The carried out bathymetric measurements with the calculation of morphometric indexes of the reservoir made it possible to prepare an up to date bathymetric chart of the reservoir (Fig. 22) and a spatial model of the reservoir's basin (Fig. 23) presenting the morphology if its bottom after over 60 years of functioning. They have also made it possible to classify the reservoir as one of the biggest dam reservoirs in Poland, as regards total capacity and surface.

Deteriorating environmental condition of the Turawa Reservoir requires taking following comprehensive measures in order to prevent total degradation of this ecosystem:

- ordering wastewater management around the reservoir (building sewerage networks) and limiting inflow of nutrients from the catchment to the reservoir (building wastewater treatment plants);
- re-establishment of the preliminary reservoir (in order to limit silting of the reservoir and reduce physico-chemical pollution);
- increasing average annual water elevation level;
- decreasing fluctuations of water table in the reservoir;
- limiting the content of phosphorus and heavy metals (cadmium) in water and bottom deposits (e.g. by introducing calcium carbonate);
- removal of bottom deposits.

Taking strong measures aimed at impeding processes of the reservoir's eutrophication and intensive supply of pollutants is particularly important not only to preserve the tourist and recreational function but also the water storage function of the Turawa Reservoir (in connection with its capacity becoming limited).

# List of figures, tables and photographs

## Figures

- Fig. 1. Location of water sampling sites for physico-chemical analyses (own elaboration)
- Fig. 2. Bathymetric profile chart used for depth measurements of the Turawa Reservoir (own elaboration)
- Fig. 3. Location of the Opole Plain mesoregion (318.57) against the background of the physico-geographical division of the Silesian Lowland macroregion (after Kondracki, 2001)
- Fig. 4. The Turawa Reservoir and its surroundings (own elaboration)
- Fig. 5. Geomorphological map of the Turawa Reservoir's surroundings (after the Atlas of Lower and Opole Silesia, 1997)
- Fig. 6. Digital terrain model of the Turawa Reservoir's surroundings (own elaboration)
- Fig. 7. Location of the Turawa Reservoir against the background of geological structure (after Detailed Geological Map of Poland, 1958)
- Fig. 8. Observation network of the Institute of Meteorology and Water Management (IMiGW) around the Turawa Reservoir (own elaboration)
- Fig. 9. Average monthly air temperatures (T) and average monthly precipitation totals (P) in Opole in the years 1996-2005 (own elaboration on the basis of data of the Institute of Meteorology and Water Management (IMiGW) in Katowice)
- Fig. 10. Annual precipitation total on the precipitation station in Turawa in the hydrological years 1996-2005 (own elaboration on the basis of data of the Institute of Meteorology and Water Management (IMiGW) in Katowice)
- Fig. 11. Minimum, average and maximum monthly precipitation totals on the precipitation station in Turawa from the hydrological years 1996-2005 (own elaboration on the basis of data of the Institute of Meteorology and Water Management (IMiGW) in Katowice)
- Fig. 12. Mean annual precipitation totals in the years 1960-1990, determined by the isohyet method (own elaboration on the basis of data of the Institute of Meteorology and Water Management (IMiGW) in Katowice)
- Fig. 13. The Mała Panew catchment. Own elaboration on the basis of the Map of Hydrographic Division of Poland (National Council for Water Management - KZGW)

- Fig. 14. The Mała Panew catchment against the background of the digital terrain model (own elaboration)
- Fig. 15. Mean monthly flows of the Mała Panew in Staniszcze Wielkie and Turawa gauging stations in the years 1996-2005 (own elaboration on the basis of data of the Institute of Meteorology and Water Management (IMiGW) in Katowice)
- Fig. 16. Bathymetric chart of the Srebrne Lake (own elaboration)
- Fig. 17. Hydrological map of the Turawa Reservoir's surroundings (after Hydrological map, 1998)
- Fig. 18. Planned reach of the Turawa Reservoir (own elaboration on the basis of Staubacken an der Malapane bei Turawa..., 1933)
- Fig. 19. Location of the Średnie and Małe Lake (own elaboration)
- Fig. 20. Average annual fish harvest from the Turawa Reservoir in the years 1949-1999 (own elaboration after Bartosiewicz, 2002)
- Fig. 21. Location of the main hydrotechnical structures and equipment on the Turawa Reservoir (own elaboration)
- Fig. 22. Bathymetric chart of the Turawa Reservoir (own elaboration)
- Fig. 23. Spatial model of the Turawa Reservoir's basin (own elaboration)
- Fig. 24. Reach of the Turawa Reservoir at certain water elevation levels, against the background of the Mała Panew valley before the construction of the reservoir. (own elaboration, based on the map Staubacken an der Malapane bei Turawa..., 1933)
- Fig. 25. Distribution of velocities in a selected profile of the Turawa Reservoir – ADCP (own elaboration)
- Fig. 26. Reach of the Turawa Reservoir at certain water elevation levels (own elaboration)
- Fig. 27. Bathymetric chart of the deepest part of the Turawa Reservoir located directly at the combined spillway structure – overflow towers (own elaboration)
- Fig. 28. Pattern of daily water levels of the Turawa Reservoir in the hydrological years 1968-2006 (own elaboration on the basis of data of the Regional Office for Water Management (RZGW))
- Fig. 29. Pattern of characteristic water levels of the Turawa Reservoir in the hydrological years 1968-2006 (own elaboration on the basis of data of the Regional Office for Water Management (RZGW))
- Fig. 30. Average monthly water surface elevations in the Turawa Reservoir in the hydrological years 1968-2006 (own elaboration on the basis of data of the Regional Office for Water Management (RZGW))
- Fig. 31. Pattern of daily water retention of the Turawa Reservoir in the hydrological years 1968-2006 (own elaboration on the basis of data of the Regional Office for Water Management (RZGW))
- Fig. 32. Changes in the retention of the Turawa Reservoir in the hydrological years 1968-2006 (own elaboration on the basis of data of the Regional Office for Water Management (RZGW))
- Fig. 33. Average, maximum and minimum monthly retention of the Turawa Reservoir in the hydrological years 1968-2006 (own elaboration on the basis of data of the Regional Office for Water Management (RZGW))
- Fig. 34. Changes in the area of the Turawa Reservoir (own elaboration)
- Fig. 35. Average monthly bottom exposure of the Turawa Reservoir in the hydrological years 1996-2005 (own elaboration)

- Fig. 36. Feeding of the Turawa Reservoir with precipitation in the hydrological years 1996-2005 (own elaboration on the basis of data of the Institute of Meteorology and Water Management (IMiGW) in Katowice and the Regional Office for Water Management (RZGW) in Opole)
- Fig. 37. Annual precipitation in Turawa in comparison to average annual reservoir area (own elaboration on the basis of data of the Institute of Meteorology and Water Management (IMiGW) in Katowice and Regional Office for Water Management (RZGW) in Opole)
- Fig. 38. Water evaporation ( $E_e$ ) from the Turawa Reservoir in the hydrological years 1996-2006 (own elaboration on the basis of data of the Institute of Meteorology and Water Management (IMiGW) in Katowice and the Regional Office for Water Management (RZGW) in Opole);
- Fig. 39. Average monthly water evaporation ( $E$ ) from the Turawa Reservoir in comparison to average monthly reservoir area in the hydrological years 1996-2006 (own elaboration on the basis of data of the Institute of Meteorology and Water Management (IMiGW) in Katowice and the Regional Office for Water Management (RZGW) in Opole)
- Fig. 40. Average monthly water evaporation ( $E$ ) from the Turawa Reservoir in comparison to average monthly precipitation in Turawa in the hydrological years 1996-2006 (own elaboration on the basis of data of the Institute of Meteorology and Water Management (IMiGW) in Katowice and the Regional Office for Water Management (RZGW) in Opole)
- Fig. 41. Surface inflow ( $Q_p$ ) to the Turawa Reservoir in the hydrological years 1996-2005 (own elaboration on the basis of data of the Institute of Meteorology and Water Management (IMiGW) in Katowice and the Regional Office for Water Management (RZGW) in Opole)
- Fig. 42. Share of surface inflow to the Turawa Reservoir in the hydrological years 1996-2005 (elaboration on the basis of data of the Institute of Meteorology and Water Management (IMiGW) and own field research)
- Fig. 43. Average monthly surface inflow to the Turawa Reservoir in the hydrological years 1996-2005 (own elaboration on the basis of data of the Institute of Meteorology and Water Management (IMiGW) in Katowice and the Regional Office for Water Management (RZGW) in Opole)
- Fig. 44. Surface runoff from the Turawa Reservoir in the hydrological years 1996-2005 (own elaboration on the basis of data of the Institute of Meteorology and Water Management (IMiGW) in Katowice and the Regional Office for Water Management (RZGW) in Opole)
- Fig. 45. Average monthly surface runoff from the Turawa Reservoir in the hydrological years 1996-2005 (own elaboration on the basis of data of the Institute of Meteorology and Water Management (IMiGW) in Katowice and the Regional Office for Water Management (RZGW) in Opole)
- Fig. 46. Average monthly water exchange balance of the Turawa Reservoir with the catchment under the surface in the hydrological years 1996-2005 (own elaboration on the basis of data of the Institute of Meteorology and Water Management (IMiGW) in Katowice and the Regional Office for Water Management (RZGW) in Opole)
- Fig. 47. Water exchange time of the Turawa Reservoir in the hydrological years 1996-2005 (own elaboration on the basis of data of the Institute of Meteorology and Water Management (IMiGW) in Katowice and the Regional Office for Water Management (RZGW) in Opole)

- Fig. 48. Changes in water temperature in the Turawa Reservoir in the hydrological year 2004 - vertical profile: 50°44'10.28"N, 18°05'30.22"E (own elaboration)
- Fig. 49. Changes in water temperature in the Turawa Reservoir in the hydrological year 2005 - vertical profile: 50°44'10.28"N, 18°05'30.22"E (own elaboration)
- Fig. 50. Changes in water temperature in the Turawa Reservoir in the hydrological year 2006 - vertical profile: 50°44'10.28"N, 18°05'30.22"E (own elaboration)
- Fig. 51. Oxygen saturation (in %) of the Turawa Reservoir in the hydrological year 2004 - vertical profile: 50°44'10.28"N, 18°05'30.22"E (own elaboration)
- Fig. 52. Oxygen saturation (in %) of the Turawa Reservoir in the hydrological year 2005 - vertical profile: 50°44'10.28"N, 18°05'30.22"E (own elaboration)
- Fig. 53. Oxygen saturation (in %) of the Turawa Reservoir in the hydrological year 2006 - vertical profile: 50°44'10.28"N, 18°05'30.22"E (own elaboration)
- Fig. 54. Changes in average monthly specific conductance of the Turawa Reservoir and water level in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 55. Changes in average monthly specific conductance of the Turawa Reservoir in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 56. Changes in average monthly total water hardness of the Turawa Reservoir in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 57. Changes in average monthly calcium concentration in waters of the Turawa Reservoir in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 58. Changes in average monthly magnesium concentration in waters of the Turawa Reservoir in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 59. Changes in average monthly chloride concentrations in waters of the Turawa Reservoir in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 60. Changes in average monthly sulphate concentrations in waters of the Turawa Reservoir in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 61. Changes in average monthly sodium concentration in waters of the Turawa Reservoir in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 62. Changes in average monthly potassium concentration in waters of the Turawa Reservoir in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 63. Changes in average monthly BOD<sub>5</sub> concentration in waters of the Turawa Reservoir in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 64. Changes in average monthly COD<sub>Mn</sub> concentration in waters of the Turawa Reservoir in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 65. Location of water sampling sites for microbiological analyses on the Turawa Reservoir (own elaboration)
- Fig. 66. Average, minimum and maximum number of coliform bacteria in 100 ml of water from the Turawa Reservoir in individual measurement sites in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration on the basis of own data and data from the State Regional Sanitary Inspector (PWIS) in Opole)
- Fig. 67. Average, minimum and maximum number of coliform bacteria in 100 ml of water from the Turawa Reservoir in individual measurement sites in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration on the basis of own data and data from the State Regional Sanitary Inspector (PWIS) in Opole)
- Fig. 68. Concentration of phosphates in surface waters of the Turawa Reservoir on 29 May 2004, determined by the isoline method, (own elaboration)
- Fig. 69. Concentration of phosphate phosphorus in surface and benthic waters of the Turawa Reservoir in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)

- Fig. 70. Concentration of nitrate nitrogen in waters of the rivers: Libawa, Mała Panew and Rosa in gauging stations at confluence to the Turawa Reservoir in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 71. Concentration of phosphate phosphorus in waters of the rivers: Libawa, Mała Panew and Rosa in gauging stations at confluence to the Turawa Reservoir in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 72. Average monthly external load of the Turawa Reservoir phosphate phosphorus in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 73. Average monthly external load of the Turawa Reservoir nitrate nitrogen in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 74. Changes in water transparency (minimum, maximum and average) of the Turawa Reservoir in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 75. Average monthly concentration of nitrate nitrogen in waters of the Turawa Reservoir in the hydrological years 2004-2005 (own elaboration)
- Fig. 76. Average monthly concentration of phosphate phosphorus in waters of the Turawa Reservoir in the hydrological years 2004-2005 (own elaboration)
- Fig. 77. Changes in concentration of phosphate phosphorus in waters of the Turawa Reservoir and water level in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 78. Oxygen saturation of the Turawa Reservoir (A - mg O<sub>2</sub>-dm<sup>-3</sup>, B - %) from June to September 2004 - vertical profile: 50°44'07.71"N, 18°05'50.48"E (own elaboration)
- Fig. 79. Oxygen saturation of the Turawa Reservoir (A - mg O<sub>2</sub>-dm<sup>-3</sup>, B - %) from June to September 2005 - vertical profile: 50°44'07.71"N, 18°05'50.48"E (own elaboration)
- Fig. 80. Oxygen saturation of the Turawa Reservoir (A - mg O<sub>2</sub>-dm<sup>-3</sup>, B - %) from June to September 2006 - vertical profile: 50°44'07.71"N, 18°05'50.48"E (own elaboration)
- Fig. 81. Changes in water pH of the Turawa Reservoir in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 82. Average, minimum and maximum concentration of selected heavy metals in waters of the Turawa Reservoir in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 83. Water temperatures (minimum, maximum, average) in the hydrological years 2004-2006 in the following gauging stations: the Mała Panew river-inflow to the reservoir, the Turawa Reservoir, the Mała Panew river-outflow from the reservoir (own elaboration)
- Fig. 84. Ice layer thickness on the Turawa Reservoir (in cm) on 20 February 2006, determined by the isoline method (own elaboration)
- Fig. 85. Percentage difference of selected physico-chemical parameters of waters of the Mała Panew flowing out of the Turawa Reservoir between its inflow in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 86. Percentage difference of selected physico-chemical parameters of waters of the Mała Panew between the Libawa in the gauging station at confluence to the Turawa Reservoir in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 87. Percentage difference of selected physico-chemical parameters of waters of the Mała Panew between the Rosa in the gauging station at confluence to the Turawa Reservoir in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 88. Changes in specific conductance of the Libawa and Rosa waters flowing into the Turawa Reservoir and waters of the Mała Panew (inflow and outflow from the water body) in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)

- Fig. 89. Changes in conductance of the Mała Panew's waters (outflow from the reservoir) with water levels in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 90. Changes in water pH of the Libawa and Rosa rivers flowing into the Turawa Reservoir and waters of the Mała Panew (inflow and outflow from the water body) in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 91. Changes in total water alkalinity of the Libawa and Rosa rivers flowing into the Turawa Reservoir and waters of the Mała Panew (inflow and outflow from the water body) in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 92. Changes in concentration of chlorides of the Libawa and Rosa rivers flowing into the Turawa Reservoir and waters of the Mała Panew (inflow and outflow from the water body) in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 93. Changes in chloride loads flowing in and out of the Turawa Reservoir in individual months of hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 94. Changes in concentration of sulphates in the waters of the Libawa and Rosa rivers flowing into the Turawa Reservoir and waters of the Mała Panew (inflow and outflow from the water body) in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 95. Changes in sulphate loads flowing in and out of the Turawa Reservoir in individual months of hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 96. Changes in sodium concentration in waters of the Libawa and Rosa rivers flowing into the Turawa Reservoir and waters of the Mała Panew (inflow and outflow from the water body) in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 97. Changes in sodium loads flowing in and out of the Turawa Reservoir in individual months of the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 98. Changes in potassium concentration in waters of the Libawa and Rosa rivers flowing into the Turawa Reservoir and waters of the Mała Panew (inflow and outflow from the water body) in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 99. Changes in potassium loads flowing in and out of the Turawa Reservoir in individual months of hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 100. Metal concentrations in the Libawa waters (average, minimum and maximum) in gauging station at confluence to the Turawa Reservoir in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 101. Metal concentrations in the Mała Panew waters (average, minimum and maximum) in gauging station at confluence to the Turawa Reservoir in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 102. Percentage difference of selected heavy metal concentrations in waters of the Mała Panew flowing out of the Turawa Reservoir between its inflow in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 103. Metal concentrations in the Mała Panew waters (average, minimum and maximum) flowing out of the Turawa Reservoir in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Fig. 104. The Turawa Reservoir – heavy metal loads flowing in with surface waters (inflows) and flowing out with the Mała Panew's water (outflow) in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)

## Tables

- Tab. 1. Geographic coordinates of water sampling sites for physico-chemical analyses
- Tab. 2. Methods of chemical analysis of water made in the accredited testing laboratory of the Ośrodek Badań i Kontroli Środowiska in Katowice
- Tab. 3. Average monthly, seasonal and annual precipitation totals in the years 1960-1980 from precipitation stations located around the Turawa Reservoir (own elaboration on the basis of data of the Institute of Meteorology and Water Management (IMI GW) in Katowice)
- Tab. 4. Selected physico-chemical properties of some water bodies in the Mała Panew river valley (own elaboration)
- Tab. 5. Division of reservoirs according to the fluctuations of water Tab., calculated on the basis of the  $W_{wz}$  index (own elaboration)
- Tab. 6. Characteristic water surface levels in the Turawa Reservoir (own elaboration on the basis of data of the Regional Office for Water Management (RZGW))
- Tab. 7. Characteristic water surface elevations in the Turawa Reservoir in the hydrological years 1968-2006 (own elaboration on the basis of data of the Regional Office for Water Management (RZGW))
- Tab. 8. Average monthly water surface elevations in the Turawa Reservoir in the hydrological years 1968-2006 (own elaboration on the basis of data of the Regional Office for Water Management (RZGW))
- Tab. 9. Number of days of elevated water Tab. in the Turawa Reservoir in the hydrological years 1968-2006 in intervals (own elaboration on the basis of data of the Regional Office for Water Management (RZGW))
- Tab. 10. Characteristic retention volumes of the Turawa Reservoir in the hydrological years 1968-2006 (own elaboration on the basis of data of the Regional Office for Water Management (RZGW))
- Tab. 11. Average, maximum and minimum monthly volume of water stored in the Turawa Reservoir in the hydrological years 1967-2006 (own elaboration on the basis of data of the Regional Office for Water Management (RZGW))
- Tab. 12. Calculations of water balance for the Turawa Reservoir (after Rzętała, 2000)
- Tab. 13. Occurrence of ice layer on the Turawa Reservoir in the hydrological years 1975-1996 (own elaboration on the basis of data of the Regional Office for Water Management (RZGW))
- Tab. 14. Pollution sources of the Mała Panew and Libawa rivers monitored by the Regional Inspectorate for Environmental Protection (WIOŚ) in Opole (after Lewandowski, 2002)
- Tab. 15. Concentrations of phosphate phosphorus in waters of the Libawa, Mała Panew and Rosa rivers in gauging stations at confluence to the Turawa Reservoir (own elaboration)
- Tab. 16. Concentration of nitrate nitrogen in waters of the Libawa, Mała Panew and Rosa rivers in gauging stations at confluence to the Turawa Reservoir (own elaboration);
- Tab. 17. External load with phosphate phosphorus and nitrate nitrogen of the Turawa Reservoir in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Tab. 18. Concentration of phosphate phosphorus and nitrate nitrogen in waters of the Turawa Reservoir (own elaboration)

- Tab. 19. Selected physico-chemical properties of waters of the Libawa, Mała Panew and Rosa rivers in confluence profiles to the Turawa Reservoir and the Mała Panew downstream of the reservoir in the hydrological years 2004-2006 with the current classification of surface water quality (own elaboration)
- Tab. 20. The Turawa Reservoir – chloride loads flowing in with surface waters (inflows) and flowing out with surface runoff waters in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Tab. 21. The Turawa Reservoir – sulphate loads flowing in with surface waters (inflows) and flowing out with the Mała Panew’s water (outflow) in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Tab. 22. The Turawa Reservoir – sodium loads flowing in with surface waters (inflows) and flowing out with the Mała Panew’s water (outflow) in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Tab. 23. The Turawa Reservoir – potassium loads flowing in with surface waters (inflows) and flowing out with surface runoff waters in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Tab. 24. The Turawa Reservoir - phosphate phosphorus loads flowing in with surface waters (inflows) and flowing out with the Mała Panew’s water (outflow) in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Tab. 25. The Turawa Reservoir - nitrate nitrogen loads flowing in with surface waters (inflows) and flowing out with the Mała Panew’s water (outflow) in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Tab. 26. The Turawa Reservoir – heavy metal loads flowing in with surface waters (inflows) and flowing out with the Mała Panew’s water (outflow) in the hydrological years 2004-2006 (own elaboration)
- Tab. 27. Biggest Polish reservoirs (own elaboration after Statistical Yearbook, 2007)
- Tab. 28. Morphometric parameters of selected dam reservoirs: Turawa Reservoir (own elaboration); Poraj Reservoir (Jaguś, Rzętała, 2000); Kozłowa Góra Reservoir (Jaguś, Rzętała, 2003); Żywiec Reservoir (Machowski et.al., 2005); Czorsztyn-Niedzica Reservoir (Jaguś, Rzętała 2004); Dzierżno Duże Reservoir (Rzętała, 2000)
- Tab. 29. Water balance of selected reservoirs in the hydrological year 1996: Turawa Reservoir (own elaboration); Dzierżno Duże, Pogoria III, Przeczyce, Kozłowa reservoirs (Rzętała, 2000)
- Tab. 30. Average annual physico-chemical parameters of anthropogenic reservoirs in gauging stations: inflow and outflow from the water body in the hydrological year 1995: Turawa Reservoir (own elaboration), Dzierżno Duże, Pławniowice, Pogoria I, Rogoźnik, Kozłowa Góra, Przeczyce reservoirs (Rzętała, 2000)
- Tab. 31. Mean multi-year physico-chemical parameters of dam reservoir waters: Turawa Reservoir – hydrological years 2004-2006 (own elaboration); Dzieckowice Reservoir – hydrological years 1978-1997 (Bok et al., 2004); Kozłowa Góra Reservoir – hydrological years 1975-1999 (Jaguś, Rzętała, 2003); Siemianówka Reservoir – the years 1991-1999 (Górniak, 2006).

## Photographs

- Photo 1. Lowrance LCX-17M sonar (photo by M. Ruman);
- Photo 2. RD Instruments ADCP - Acoustic Doppler Current Profiler (photo by M. Ruman);
- Photo 3. Confluence section of the Rosa river flowing into the Turawa Reservoir (photo by M. Ruman);
- Photo 4. Exposed bottom of the Turawa Reservoir – December 2006 (photo by M. Ruman);
- Photo 5. Srebrne Lake – September 2006 (photo by M. Ruman);
- Photo 6. Stone-paved upstream face of frontal dam of the Turawa Reservoir (photo by M. Ruman);
- Photo 7. Towers of spillway structure of the Turawa Reservoir (photo by M. Ruman);
- Photo 8. Turawa hydroelectric power plant building (photo by M. Ruman);
- Photo 9. Preliminary reservoir Jedlice (photo by M. Ruman);
- Photo 10. Jedlice pumping-station building (photo by M. Ruman);
- Photo 11. Low water levels make recreational use of the Turawa Reservoir difficult – October 2006 (photo by M. Ruman);
- Photo 12. Ice dam on the Turawa Reservoir – February 2006 (photo by M. Ruman);
- Photo 13. Exposed bottom of the reservoir with eolian ripple marks and tree roots – December 2003 (photo by M. Ruman);
- Photo 14. Exposed bottom of the reservoir with the remains of old buildings – December 2003 (photo by M. Ruman);
- Photo 15. High water level – May 2004 (photo by M. Ruman);
- Photo 16. High water level – May 2004 (photo by M. Ruman);
- Photo 17. Intensive colour of the Turawa Reservoir water in August 2006 due to massive proliferation of algae and cyanobacteria (photo by M. Ruman);
- Photo 18. Intensive colour of the Mała Panew river's water downstream of the Turawa Reservoir due to massive proliferation of algae and cyanobacteria in the waterbody (photo by M. Ruman).