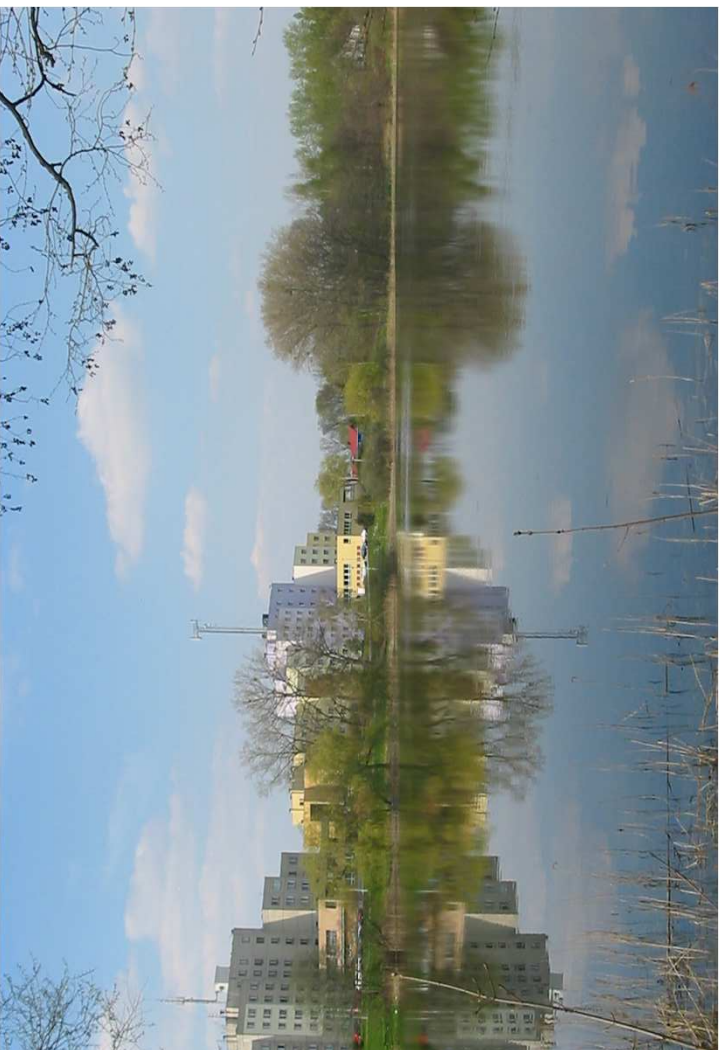


Reakcja głębokiego jeziora o ograniczonej dynamice  
wód na różne metody rekultywacji  
i zmiany zachodzące w zlewni



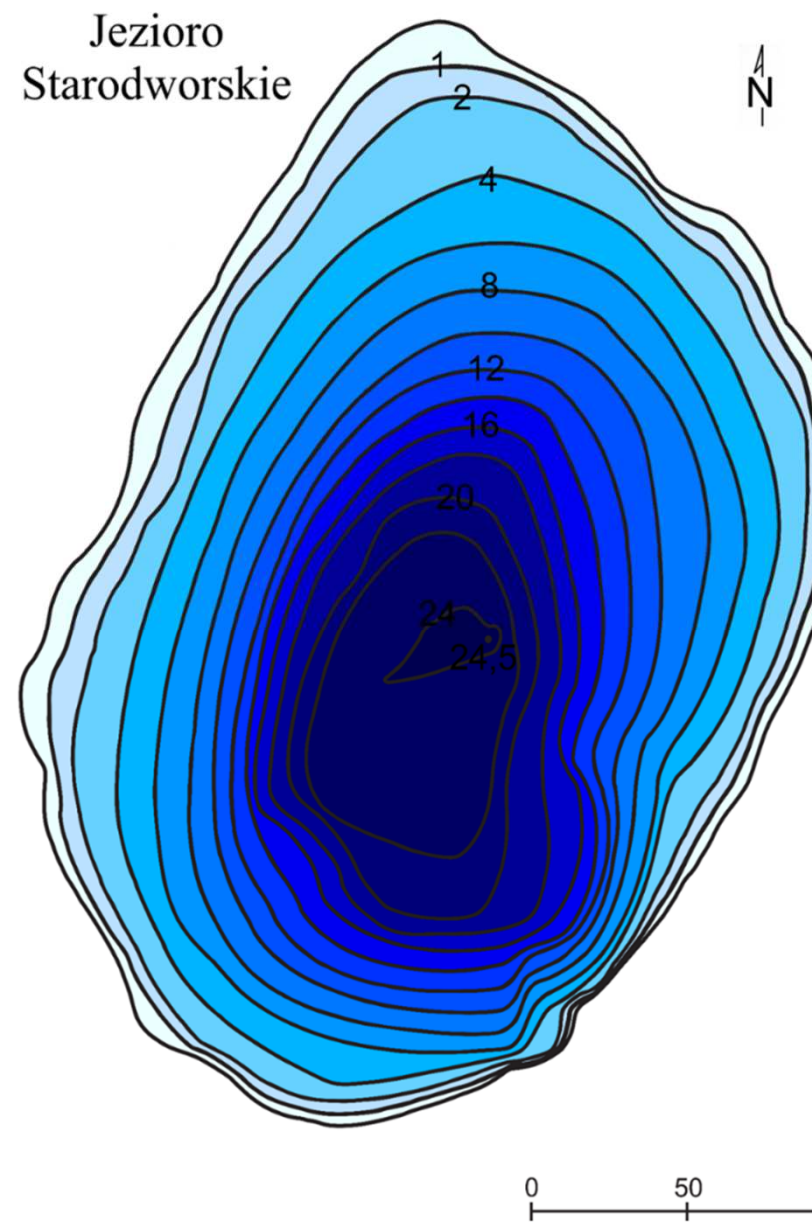
UNIwersytet  
WARMIŃSKO-MAZURSKI  
W OLSZTYNIE

Dr hab. inż. Renata Tandyrak  
Katedra Inżynierii Ochrony Wód  
Uniwersytet Warmińsko – Mazurski  
w Olsztynie



# Jeziro Starodworskie

Parametr	Wartość
Powierzchnia zwierciadła wody (P)	6,0 ha
Głębokość maksymalna ( $H_{maks.}$ )	23,3 m
Głębokość średnia ( $H_{sr}$ )	9,0 m
Głębokość względna ( $H_{wzgl}$ )	0,095
Objętość (V)	540 tys. m <sup>3</sup>



# Rok 1964

Sposób użytkowania*	Powierzchnia [ha]	%
Pola uprawne	18,15	33
Ferma rolnicza	13,75	25
Użytki zielone	23,1	42
RAZEM	55	100

\* Solarski 1967

Szacunkowo: zasilanie ze zlewni bezpośredniej (z pominięciem ścieków) wynosiło:

**432,4 kg N/rok i 16,9 kg P/rok**

ładunki dopuszczalne, wyliczone wg kryteriów VOLLENWEIDERA (1976) na 93,6 kg N i 6,01 kg P, a nawet niebezpieczne (odpowiednio: 193,26 kg N i 12,02 kg P).



Zdjęcie lotnicze Jeziora Starodworskiego i jego okolic. Fot. Waluga 1964



wybieg dla koni



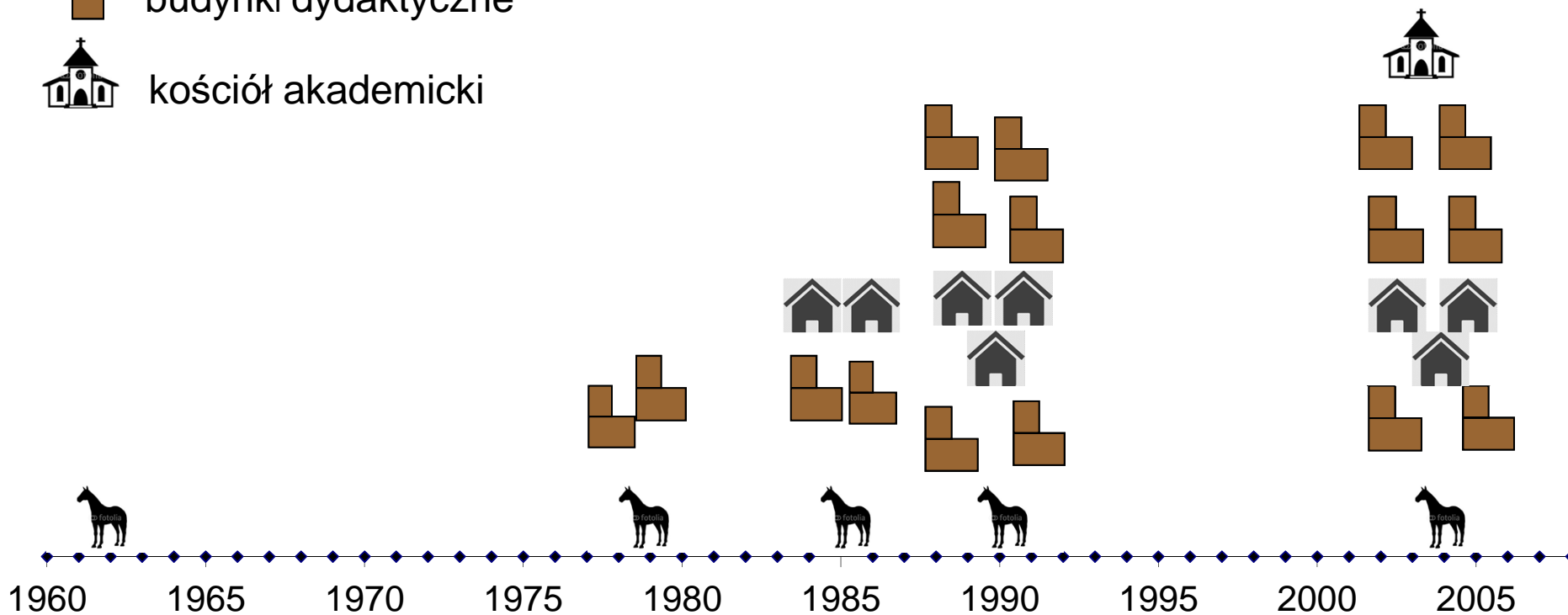
budynki mieszkalne



budynki dydaktyczne



kościół akademicki



zlewnia rolnicza



zlewnia miejska

Widok ogólny na  
parko-  
wskie.  
K. Lossow 1987



Typ użytkowania	Powierzchnia [ha]	%
Użytki	10,036	70
Las zadrzewiony	1,925	13,4
Użytki zielone	0,804	5,6
Tereny zabudowane	1,575	10,9
<b>RAZEM</b>	<b>14,34</b>	<b>100</b>

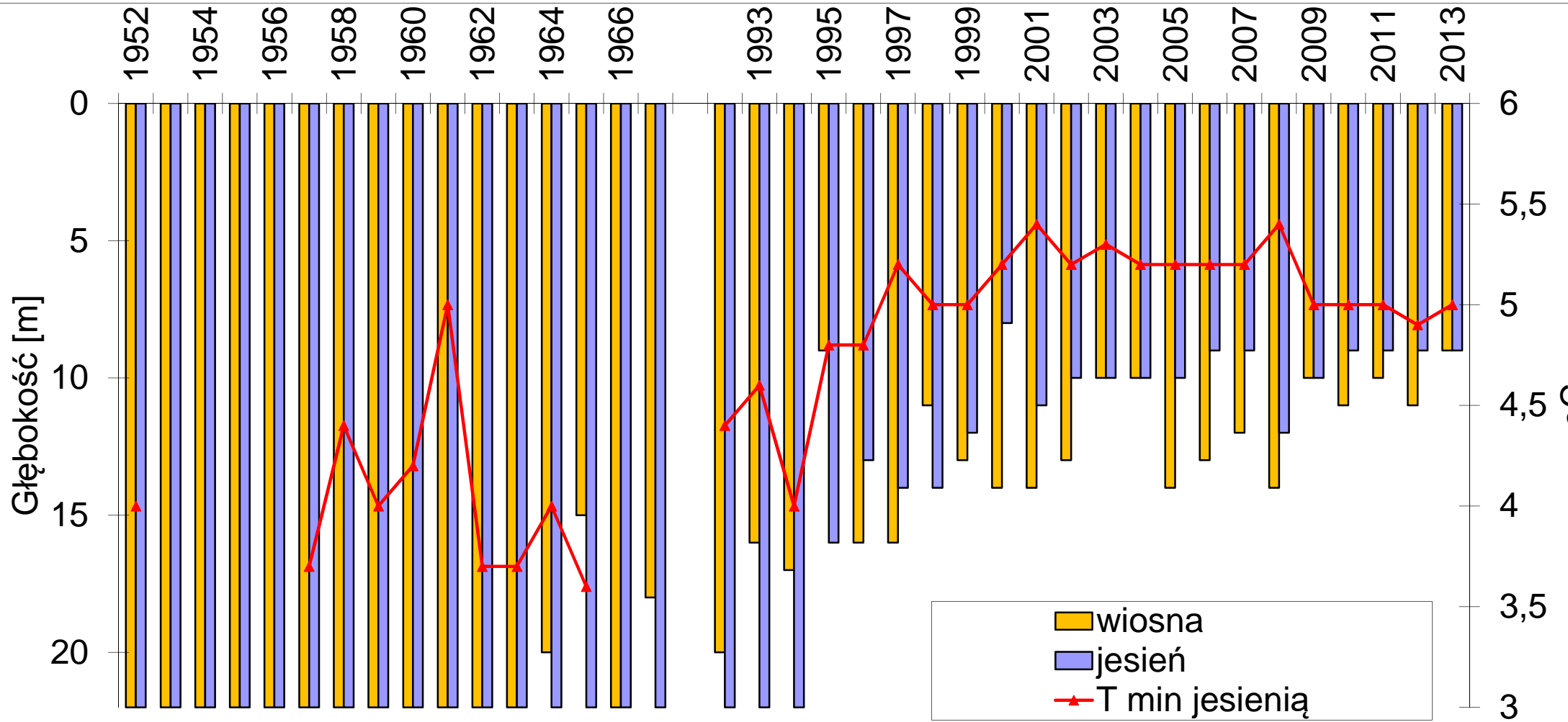
	Azot		Fosfor	
	kg/rok	%	kg/rok	%
Użytki	51,02	63,3	3,24	59,3
Użytki zielone	6,88	8,5	0,29	5,3
Las zadrzewienie	12,85	15,9	0,45	8,2
Zabudowa	9,87	12,3	1,48	27,2
<b>RAZEM</b>	<b>80,62</b>	<b>100</b>	<b>5,56</b>	<b>100</b>

bilans powierzchniowy azotem i fosforem ze zlewni bezpośredniej, przekształconej antropogenicznie



Fot. Aktualny zasięg zlewni bezpośredniej Jeziora Starodworskiego naniesiony na zdjęcie lotnicze (<http://mapy.geoportal.gov.pl/imap/>).

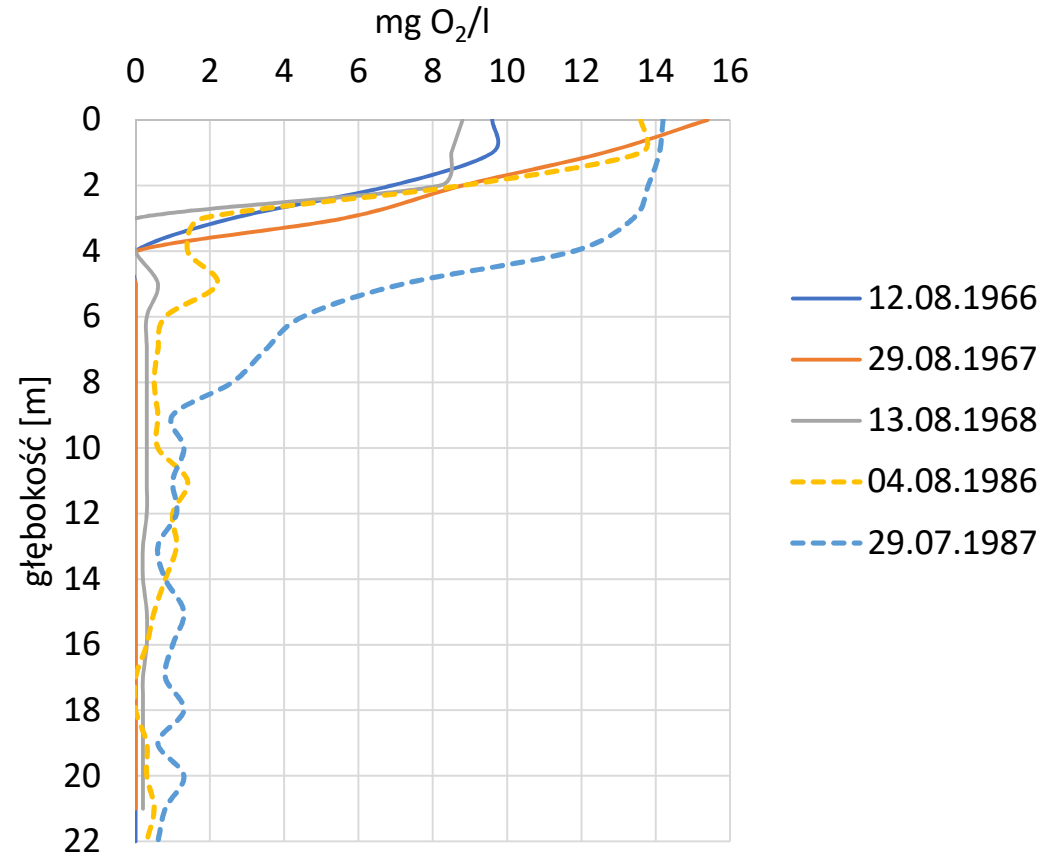
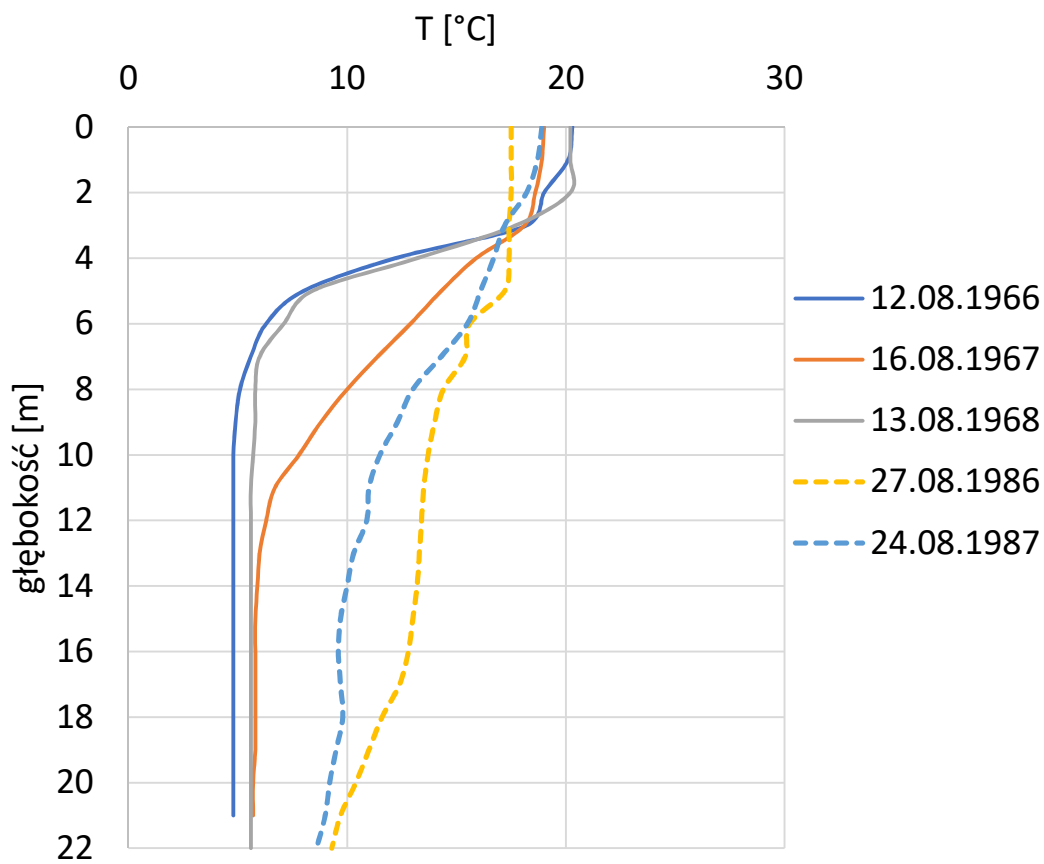
# Zasięg mieszania jeziora w okresach cyrkulacji



<b>Okres przeprowadzanego eksperymentu</b>	<b>Metoda rekultywacji</b>
1967 – 1968 1972 - 1974	Sztuczne napowietrzanie z jednoczesnym niszczeniem uwarstwienia termicznego przy wykorzystaniu sprężarek elektrycznych.
1986 - 1987	Sztuczne napowietrzanie wód hypolimnionu ze zburzeniem układów termicznych z wykorzystaniem energii wiatru (zastosowanie 8-płatowego wirnika średniobieżnego).
1988 - 1989	Sztuczne napowietrzanie wód hypolimnionu bez niszczenia układów termicznych z wykorzystaniem energii wiatru (zastosowanie 24-płatowego wirnika wolnobieżnego).

1994 - 1995	Inaktywacja fosforu przy użyciu siarczanu glinu. Łącznie, w dwóch etapach rekultywacji, wprowadzono 15 ton koagulantu o różnej granulacji.
2004 - 2006	Biomaniipulacja (wprowadzenie obcych dla ichtiofauny jeziora gatunków drapieżnych (sandacz, boleń, sum i węgorz)
2009 – 2010	Napowietrzanie hypolimnionu metodą pulweryzacyjną.

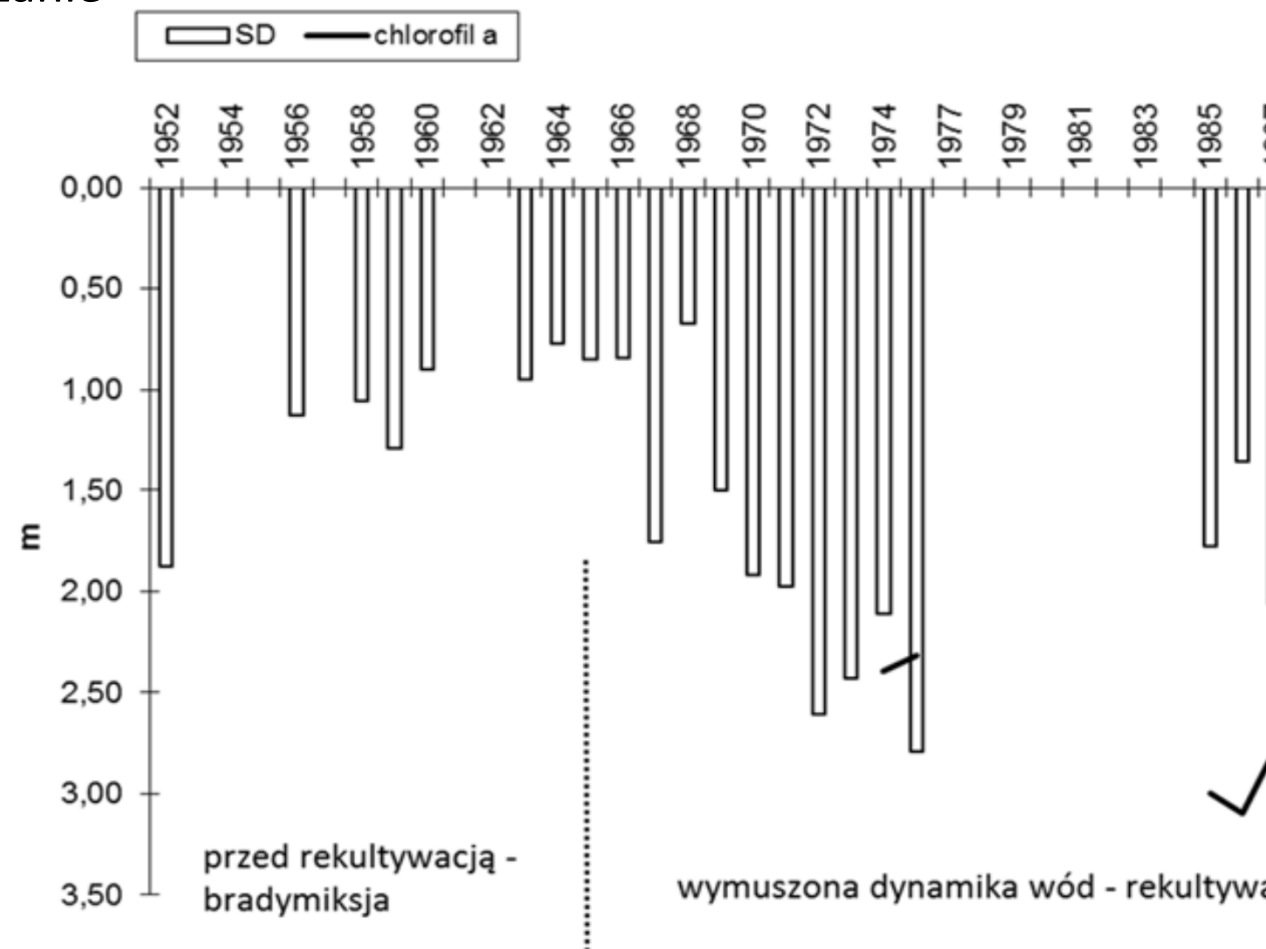
# Destratyfikacja (autor koncepcji Konstanty Lossov)



- Stałe przewarstwienie mas wodnych powodowało bardziej równomierne rozmieszczenie tlenu rozpuszczonego w wodach jeziora – wzrost zawartości w warstwach głębszych i obniżenie jego stężenia w warstwach powierzchniowych
- Wyraźne trudności w utrzymaniu dobrych warunków tlenowych w warstwach naddennych, występujące w sierpniu, wskazuje na konieczność dysponowania sprężarkami o obliczonej rezerwie wydajności
- Destratyfikacja spowodowała też zlikwidowanie uwarstwień chemicznych. W warstwie uprzednio zajmowanej przez hypolimnion stwierdzano spadek zawartości CO<sub>2</sub>, związków organicznych, Mn, Fe, i wzrost zawartości tlenu oraz wartości odczynu
- Napowietrzanie przeprowadzone w okresie trzech kolejnych zapobiegło odtlenieniu wód stagnujących pod lodem. Warunkiem skuteczności działania, zwłaszcza w jeziorach o dużym zapotrzebowaniu tlenowym, jest odpowiednio wczesne rozpoczynanie napowietrzania

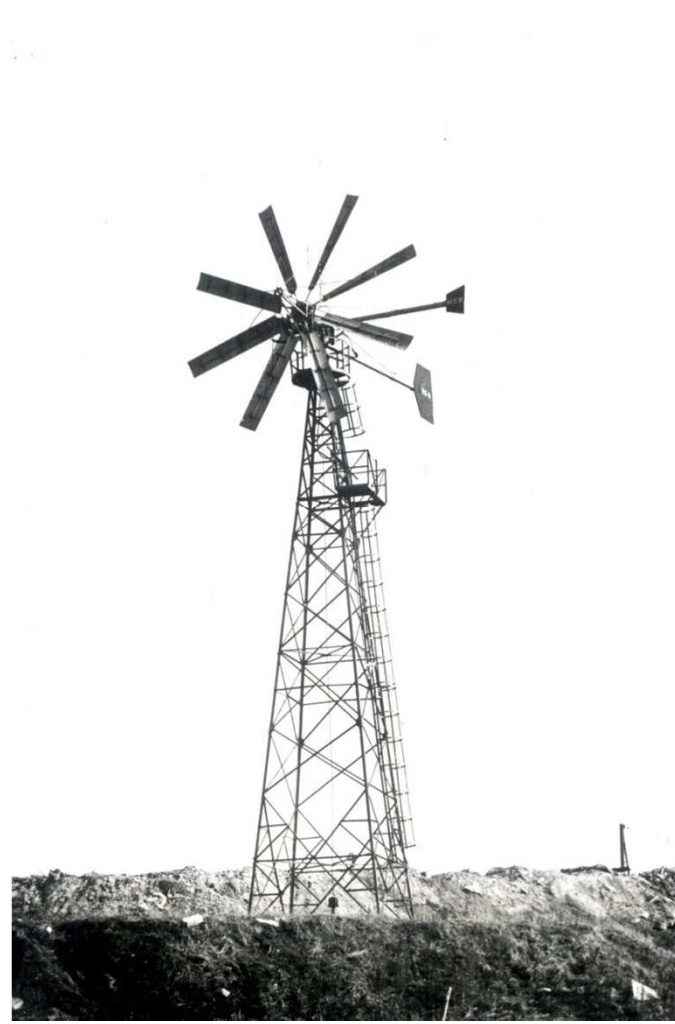
ana warunków środowiskowych, pomimo  
iększonych dostaw azotu i fosforu z dna do  
stw powierzchniowych, powodowała ograniczanie  
witów glonów i wzrost przezroczystości wody

niejszenie ilości azotu i przede wszystkim  
sforu wpłynęło na wzrost stosunku N/P i  
przez to ograniczenie zakwitów sinicowych



Sztuczna destratyfikacja wód głębokich, przeżyźnionych jezior może być stosowana zarówno do likwidacji zakwitów i polepszenia jakości wody, jak i do zwiększenia wydajności rybackiej (wzrost bazy pokarmowej, głównie zwierząt dennych i planktonowych)

Wzrost ilości niektórych składników w hypolimnionie po 3 latach od zakończenia eksperymentu wskazuje na konieczność okresowego napowietrzania jeziora narażonego na stały dopływ nadmiernych ilości związków biogennych i organicznych.



# Osady denne – Helena Gawrońska

Sztuczne napowietrzanie z destryfikacją prowadzi do zmniejszenia nawożenia wewnętrznego z osadów hypolimnicznych.

Podczas napowietrzania o możliwościach zmniejszenia ilości fosforu w jeziorze decydują właściwości sorpcyjne osadów dennych, zwłaszcza ich zasobność w żelazo. Mniejszą rolę odgrywa sedymentacja materii organicznej.

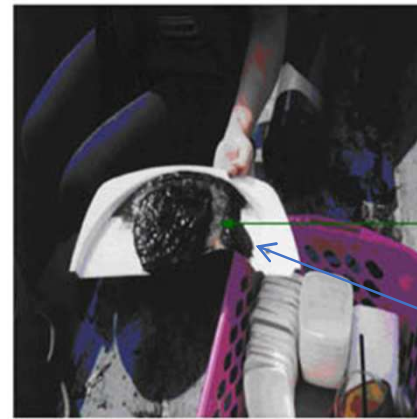
Do trwałego unieruchomienia fosforu w osadach dennych niezbędne jest stałe utrzymywanie dobrych warunków tlenowych w hypolimnionie na poziomie 2 – 3 mg O<sub>2</sub>/l

Zmniejszenie ilości azotu w jeziorze następuje wskutek zwiększenia sedymentacji materii organicznej, w mniejszym stopniu jest wynikiem strat spowodowanych denitryfikacją azotanów do azotu gazowego

W przypadku wykorzystania energii wiatru skuteczniejsza jest metoda be niszczenia uwarstwienia termicznego. Przy całkowitym mieszaniu warstw wodnych, w okresach bezwietrznych przerwy w napowietrzaniu, w warunkach podwyższonej temperatury wód naddennych zwiększonego rozkładu materii organicznej, mogą spowodować intensyfikację wzbogacania wewnętrznego

Paradoksalnie, urbanizacja terenu wpłynęła korzystnie na ograniczenie spływu powierzchniowego. W porównaniu z początkowym okresem obserwacji zasilanie azotem zmniejszyło się ponad 5 - krotnie, a fosforem 3,5-krotnie. Zasilanie to w rzeczywistości jest jednak większe. Aktualnie należy uwzględnić zwierzęta stale bytujące na terenie Katedry Hodowli Koni UWM. Liczba koni jest zmienna, najczęściej 32-34 szt., z czego połowa korzysta z wybiegu bezpośrednio nad jeziorem. Na podstawie obserwacji założono, że możliwe zasilanie jeziora z tego źródła (KAJAK 1979) oszacowane na 20% wynosi 237,4 kg N i 46,1 kg P. Ponadto od strony północnej w odległości ok. 50 m od jeziora znajduje się betonowy zbiornik obornika okresowo składowanego przez Wydział Medycyny Weterynaryjnej UWM.

# Inaktywacja fosforu (aplikacja koagulantu w latach 1994 – 1995)- Renata Tandyrak

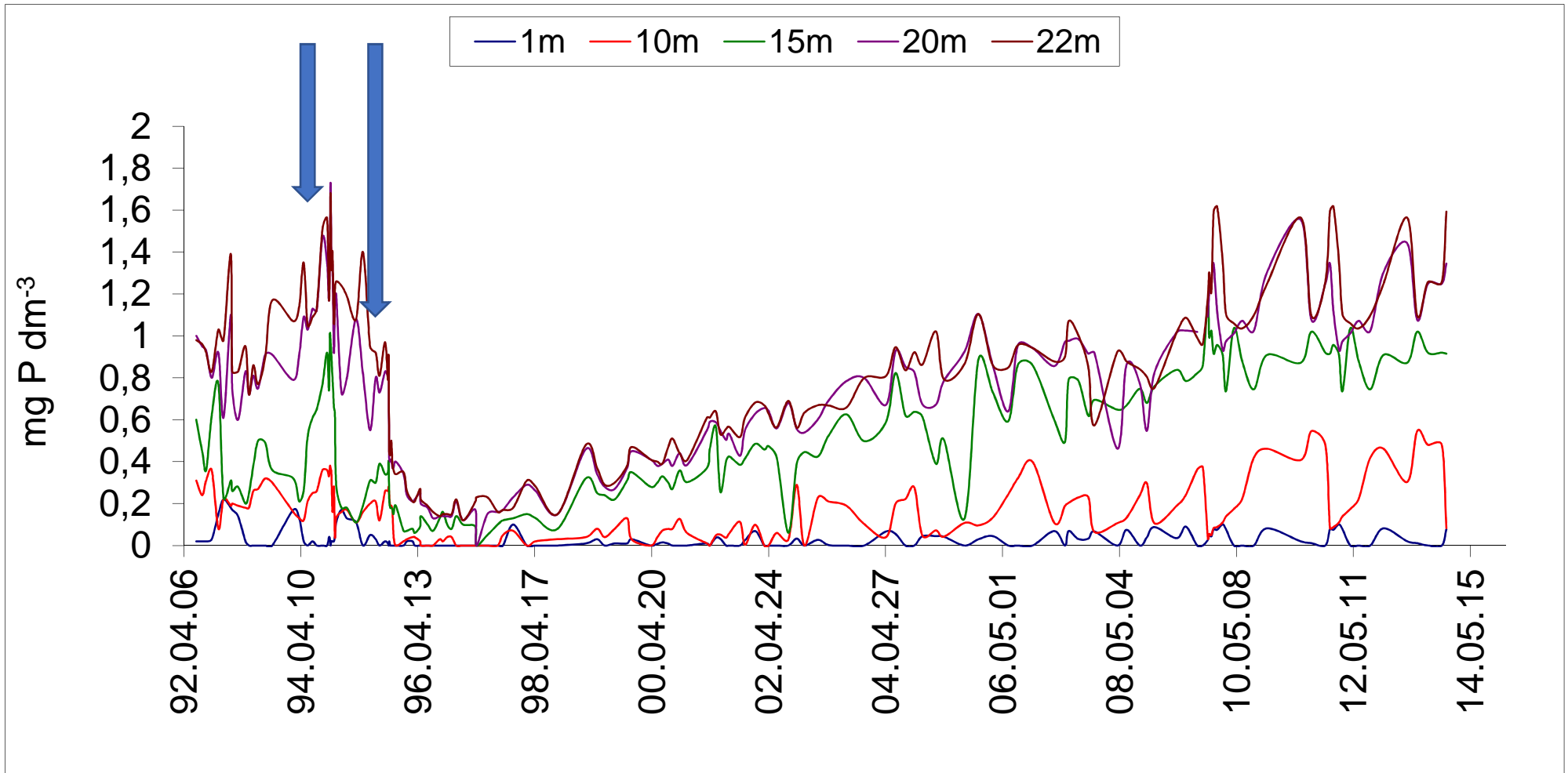


layer of aluminium hydroxide

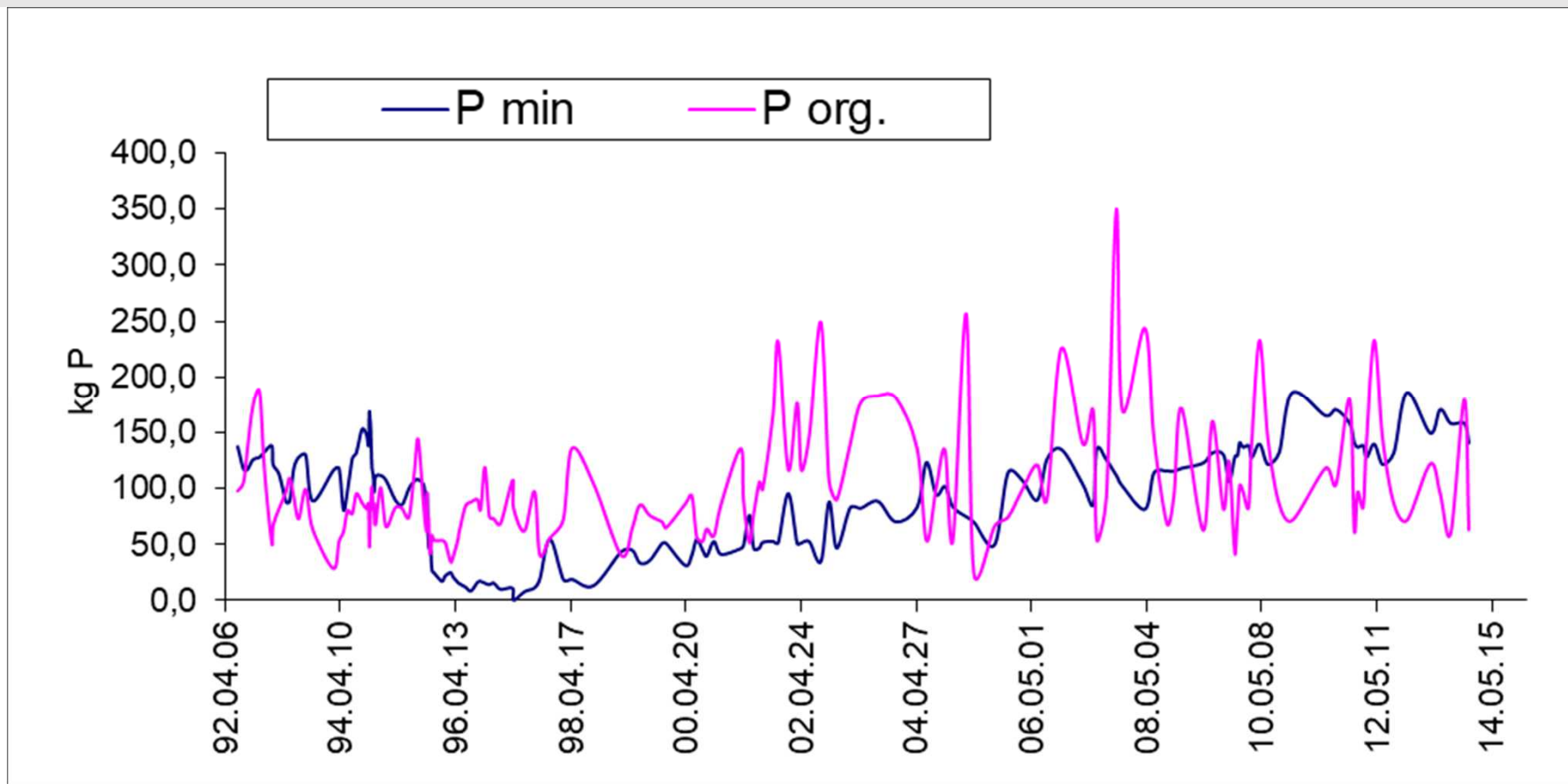
Warstwa  
wodorotlenku glinu



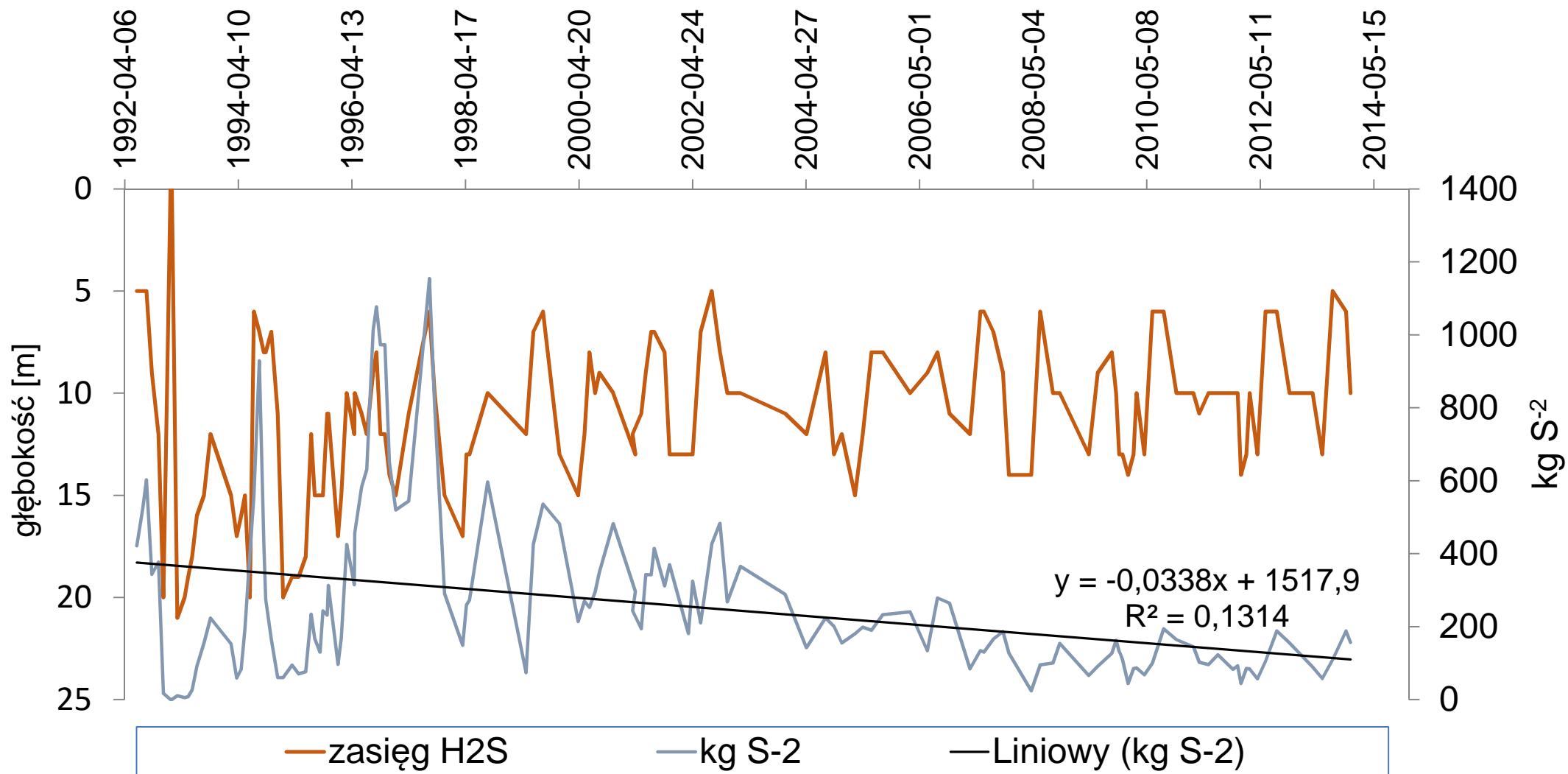
layer of aluminium hydroxide



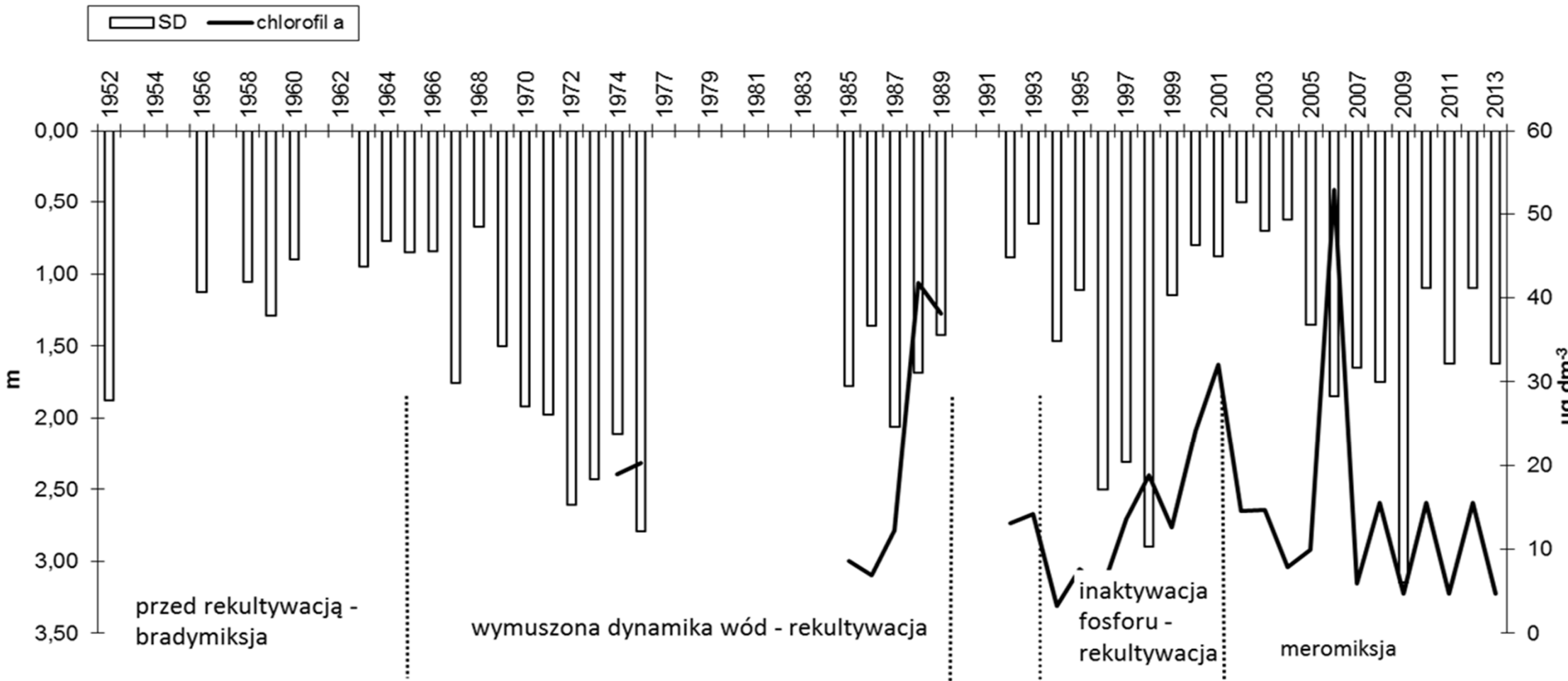
Rys. Zmiany stężenia fosforu mineralnego w warstwach wody na głębokościach 1, 10, 15, 20 i 22 m



Rys. Zmiany zawartości fosforu mineralnego i organicznego w wodach Jeziora Starodworskiego



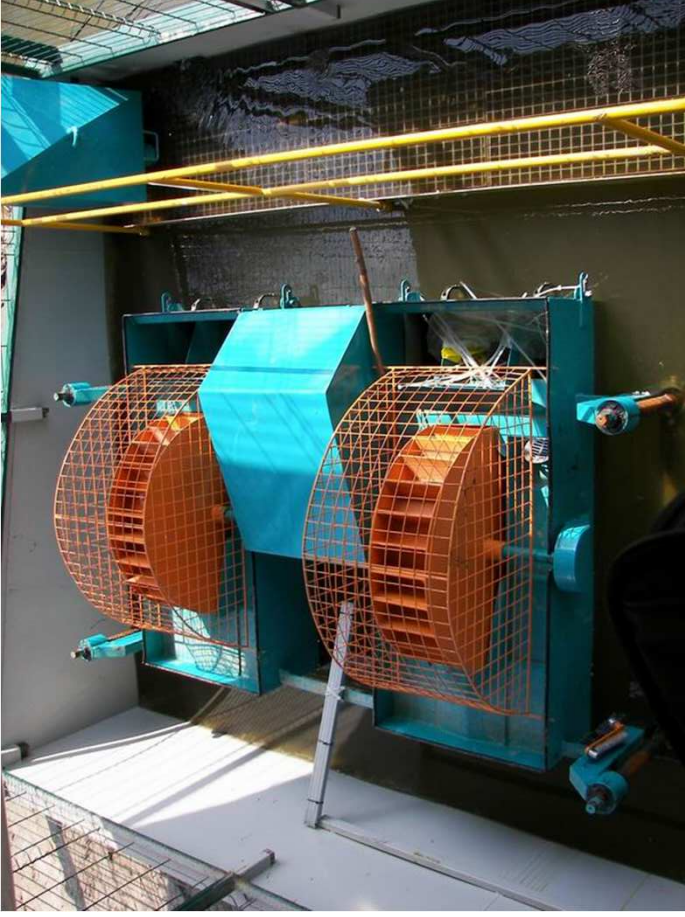
Rys. Zasięg występowania i zawartość siarkowodoru w wodach Jeziora Starodworskiego



Rys. Zmiany widzialności krążka Secchiego (SD) oraz chlorofilu a (Chl a) na przestrzeni całego okresu obserwacji.

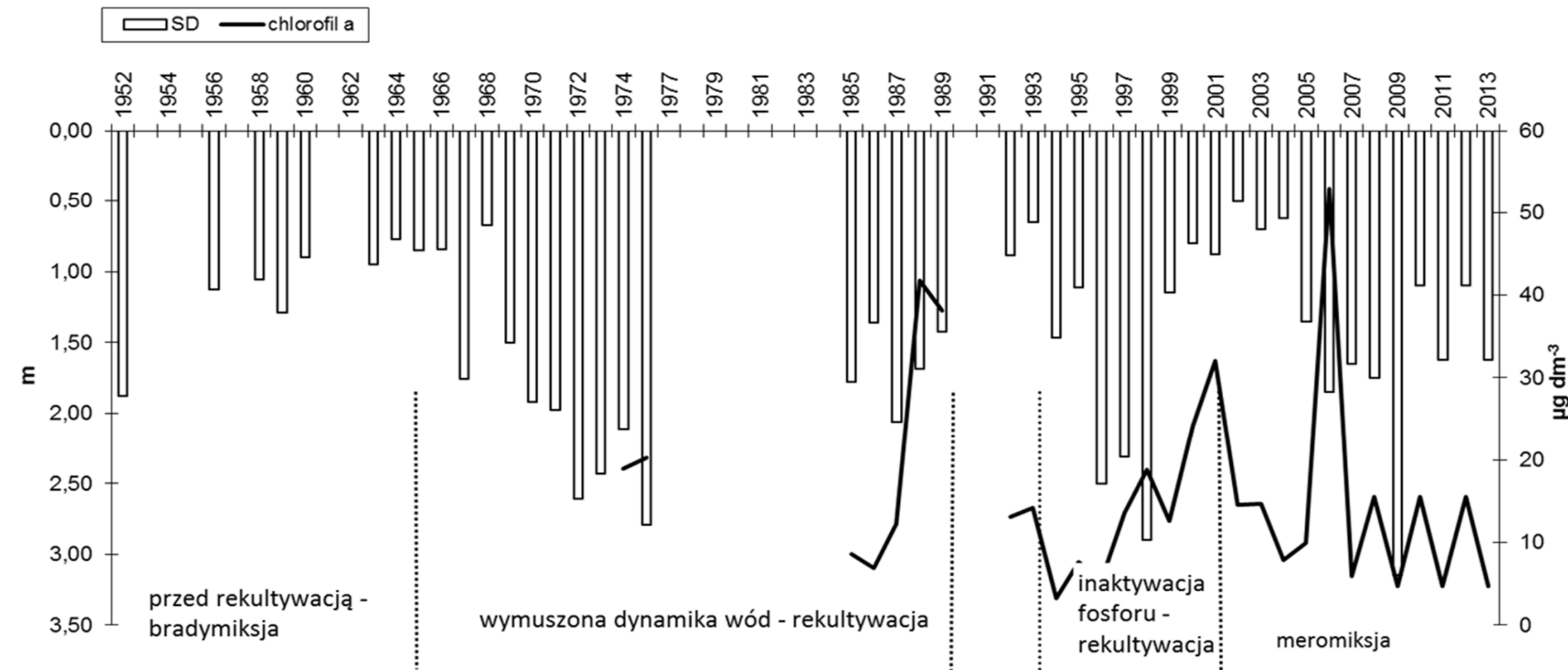
# Pulweryzacja 2009-2010 (KIOW)





Woda z głębokości 20 m pobierana była węzłem spiralnie zbrojonym z polichlorku winylu o średnicy 12 cm i dostarczana do urządzenia, w którym podlegała rozdeszczowaniu, odgazowaniu i kontaktowała się z powietrzem atmosferycznym, co powinno spowodować jej natlenienie. Woda powracała do monimolimnionu systemem rozgałęzionych rur.

Wydajność pracy urządzenia była niewystarczającą dla wywołania istotnych zmian chemizmu wód zbiornika. Odprowadzało ono jednak pewną wyraźnie wyczuwalną ilość siarkowodoru powstającego w głębokich partiach wód (stężenia w wodzie sięgające 1,83 mg S<sup>-</sup>/l; ilości od 55,1 w styczniu do 178,8 kg S<sup>-</sup> w sierpniu).



Rys. Zmiany widzialności krążka Secchiego (SD) oraz chlorofilu a (Chl a) na przestrzeni całego okresu obserwacji.

