

Odbitka z *Archiwum Hydrobiologii i Rybactwa.*
Extrait des *Archives d'Hydrobiologie et d'Ichthyologie.*
T. VII. 1933

ZYGMUNT KOŹMIŃSKI

O SPOSOBIE OBLICZANIA DEFICYTU TLENO-
WEGO W JEZIORACH SUWAŁSKICH

ÜBER DIE BERECHNUNGSMETHODE
DES SAUERSTOFFDEFIZITS IN DEN SUWAŁKI-SEEN



S.496.

S U W A Ł K I
1933

S-4591
5.12.47 JIP



5.496.

ZYGMUNT KOŹMIŃSKI

O SPOSOBIE OBLICZANIA DEFICYTU TLENO- WEGO W JEZIORACH SUWAŁSKICH

Przy badaniach nad przemianą materji w jeziorach, będącą dziś przedmiotem szczególnie wytężonych studjów, bardzo poważną rolę gra znajomość t. zw. deficytu tlenowego. Przedstawia on w zasadzie ilość tlenu, zużytą bezpośrednio lub pośrednio na potrzeby życia organicznego i jest bardzo ważnym wskaźnikiem limnologicznym, świadczącym o intensywności procesów biologicznych, odbywających się w danym zbiorniku.

Doniedawna obliczano jeziorny deficyt tlenowy, odejmując znaną w danej warstwie wody ilość tlenu, wyrażoną w cm^3/l , od ilości tlenu zawartej teoretycznie przy danej temperaturze w 1 litrze wody w stanie nasycenia. Niektórzy, zwłaszcza dawniejsi, badacze wprowadzali jeszcze poprawkę na obserwowany w czasie pobierania próbek stan ciśnienia atmosferycznego. — Opierając się na tej samej zasadzie, obliczano procentową zawartość tlenu w wodzie, wychodząc z założenia, że zaobserwowany niedobór tlenowy w stosunku do stanu nasycenia przy stwierdzonej temperaturze odpowiada rzeczywistemu ubytkowi tego gazu, spowodowanemu przemianą materji w jeziorze.

W ostatnich latach Alsterberg (1929, 1930) zwrócił jednak uwagę, że tak obliczony deficyt, nazwany przez niego deficytem aktualnym, nie przedstawia ilości tlenu, zużytego wyłącznie na potrzeby procesów biologicznych, lecz jest wartością złożoną, łączącą w sobie zupełnie sztuczne wyniki współdziałania czynników biologicznych i fizyko-chemicznych. Zdaniem

tego autora deficyt aktualny, lub obliczona na tej samej zasadzie zawartość procentowa tlenu, jest wartością jedynie zacieśniającą obraz jeziornych przemian tlenowych i obliczanie jego dla głębszych warstw wody winno być całkowicie zaniechane. Twierdzenie to opiera Alsterberg na licznych obserwacjach, świadczących o kompletnym niemal odcięciu warstw wody, położonych poniżej epilimnionu, od kontaktu z atmosferą w okresie stagnacji letniej i związanej z tem niemożności swobodnej wymiany gazowej między wodą i powietrzem. Z drugiej strony autor ten podnosi znaczenie oporności, z jaką woda oddaje rozpuszczony w niej tlen, lub—innymi słowy—łatwości, z jaką utrzymuje ona stan przesylenia tlenowego. Dwie te grupy czynników sprawiają, że ilość tlenu, zdobytego przez jezioro w okresie całkowitej cyrkulacji wiosennej przy temperaturze około 4°C i panującym wówczas na badanym jeziorze ciśnieniu atmosferycznym, winna być dla nas punktem wyjścia do obliczenia zmian ilościowych w zawartości tego gazu, spowodowanych działalnością życiową mieszkańców jeziora. Późniejszy, niekiedy nawet dość pokaźny, wzrost temperatury meta- i hypolimnionu, obserwowany po sformowaniu się uwarstwienia termicznego, a tembardziej późniejsze zmiany w ciśnieniu atmosferycznym na jeziorze nie wywierają zdaniem Alsterberg'a żadnego wpływu na zasoby tlenowe głębszych warstw jeziornych i winny być z rozważań o deficycie tlenowym całkowicie wyeliminowane.

W rezultacie proponuje Alsterberg (1930) obliczenie dla badanego jeziora właściwego mu współczynnika natlenienia, t. zw. stałej pierwotnej („Primärkonstante”), przedstawiającej ilość tlenu, nasycającą 1 litr wody przy temperaturze 4°C i ciśnieniu, odpowiadającym wzniesieniu danego jeziora nad poziomem morza. Uproszczony wzór (Alsterberg l. c. p. 257), według którego możemy tę wielkość obliczyć, podaję poniżej:

$$\log k = 0.96661 - \frac{h}{18400}$$

gdzie h odpowiada wzniesieniu badanego jeziora nad poziomem morza w metrach, a k — stałej pierwotnej w cm³/l.

Różnica między obliczoną według wzoru powyższego stałą pierwotną i stwierdzoną w eumeta- lub hypolimnionie badanego jeziora ilością cm³/l tlenu stanowi t. zw. deficyt absolutny, będący według Alsterberga najlepszym wskaźnikiem

tlenowym. Autor ten nadaje deficytowi absolutnemu wartość ujemną, gdy stała pierwotna jest większa od stwierdzonej ilości tlenu; w przeciwnym przypadku, oznaczającym, że po cyrkulacji nastąpił jeszcze dopływ tlenu do danej warstwy wody, deficyt absolutny otrzymuje wartość dodatnią.

Jak już wspomniałem, wzór powyższy odnosi się wyłącznie do głębszych warstw i do okresu stagnacji letniej. Wzór na stałą pierwotną epilimnionu oraz całego jeziora w okresie cyrkulacji (Alsterberg l. c. p. 302) wygląda nieco inaczej:

$$\log k = \log k_1 - \frac{h}{18400}$$

gdzie k_1 odpowiada ilości tlenu w cm^3/l , nasycającej 1 litr wody przy danej temperaturze i ciśnieniu 760 mm.

Autor, biorąc pod uwagę kontakt wody z atmosferą, uwzględnił w tym przypadku aktualną temperaturę wody, pomija natomiast zmiany ciśnienia atmosferycznego. Obliczony w ten sposób deficyt odpowiada deficytowi aktualnemu.

Wreszcie dla okresu stagnacji zimowej, w czasie której cała masa wód jeziornych stanowi słabo uwarstwioną całość, oddzieloną od atmosfery niemal hermetyczną pokrywą lodową, proponuje Alsterberg (l. c.), opierając się głównie na badaniach nad zawartością wolnego azotu, rozpuszczonego w wodzie jeziornej, przyjąć za podstawę ilość tlenu, nasycającą 1 litr wody przy temperaturze 0°C i ciśnieniu 760 mm. Zgodnie z powyższym postulatem wzór na jesienny współczynnik nasycenia przedstawia się tak:

$$\log k = 1.01242 - \frac{h}{18400}$$

Rozważania Alsterberga zdawały się wskazywać nowe drogi metodyce badań tlenowych, wysoce upraszczające i ułatwiające porównawcze studia nad przemianami tlenowymi różnych jezior. Jego krytyka stosowanych dotychczas metod obliczania deficytu tlenowego musi być uznana za słuszną, a możliwość obliczenia według propozycji tego autora raz na zawsze dla każdego jeziora charakterystycznego dlań współczynnika natlenienia na podstawie prostego wzoru jest wyjątkowo pożądana. Niemniej stwierdzić należy, że racjonalność wzorów Alsterberga oparta jest na całym szeregu warunków, od stopnia spełnienia których zależy ścisłość otrzymanych rezulta-

tów. Najważniejsze źródła błędu zostały już wymienione przez Ryłowa (1931) i Münster Ströma (1931); polegają one z jednej strony na odbiegającym od schematu Alsterberga przebiegu ciśnienia atmosferycznego i temperatury w okresie cyrkulacji, z drugiej zaś na niepełnym natlenieniu¹⁾ wielu jezior w czasie cyrkulacji. Münster Ström (l. c. p. 493) oblicza, że wiele oligotroficznych jezior Norwegii zdobywa w czasie cyrkulacji wiosennej zaledwie 8.0—8.2 cm³/l tlenu (po sprowadzeniu do poziomu morza), zamiast 9.26 cm³/l; różnica przekracza więc 1 cm³/l. Ryłow (l. c. p. 396) stwierdza obecność cyrkulacji przy temp. około 9°C w jez. Kardywatsch na Kaukazie w sierpniu; cyrkulacja taka może doprowadzić do rozpuszczenia się tlenu najwyżej w ilości 8.21 cm³/l (po sprow. do poziomu morza). Badane przez obu tych autorów jeziora są wybitnie oligotroficzne. Jeszcze gorzej przedstawia się sprawa w jeziorach eutroficznych, a zapewne i wielu dystroficznych, gdzie cyrkulacja nie doprowadza, jak wiadomo, bardzo często do homooksygenacji całej masy wodnej, gdyż, wskutek rezorbującego wpływu dna, warstwy głębokie oddają natychmiast większość zdobytego tlenu i przy całkowitej homotermji jezioro pozostaje uwarstwione pod względem tlenowym.

Wymienione zastrzeżenia, dla których możnaby przytoczyć o wiele więcej przykładów, sprawiają, że bezkrytyczne stosowanie wzorów Alsterberga może prowadzić do operowania wartościami zupełnie nieporównywalnymi, jeśli nie wręcz fikcyjnymi. To też należy, jak mi się wydaje, odróżnić rzeczywisty deficyt absolutny, będący różnicą między stwierdzonym doświadczalnie maksymalnym natlenieniem badanych warstw jeziora w czasie cyrkulacji, poprzedzającej nasze badania, a zaobserwowaną po tej cyrkulacji ilością tlenu w tej samej warstwie wody,—od teoretycznego deficytu absolutnego, obliczonego według wskazań Alsterberga, ewentualnie z zastosowaniem pewnych poprawek, opartych na znajomości stosunków meteorologicznych oraz gospodarki termicznej i tlenowej badanego jeziora (lub jezior pobliskich o podobnym charakterze limnologicznym).

¹⁾ Natlenić = nasycić tlenem. Termin ten zastępuje z powodzeniem nieścisłe wyrażenia i jak „przewietrzyć” lub—co gorsza—„utlenić”.

Obliczenie rzeczywistego deficytu absolutnego, zwłaszcza przy bardziej ekstensywnych studjach jeziornych, jest rzeczą trudną, gdyż rzadko kiedy mamy możliwość znać stosunki tlenowe badanych jezior z okresu cyrkulacji, poprzedzającej nasze badania. Sądzę, że praktyczne znaczenie tego wskaźnika tlenowego nie będzie duże, jakkolwiek dokładność¹⁾ jego usprawiedliwiłaby podejmowanie wysiłków w tym kierunku.

Zadaniem notatki niniejszej jest sprawdzenie, czy w lokalnych warunkach Suwalszczyzny nie dałoby się na podstawie dotychczasowej znajomości stosunków meteorologicznych i limnologicznych opracować metody obliczania współczynnika nasycenia Alsterberga dla jezior naszych w sposób nie budzący wymienionych wyżej zastrzeżeń, oraz ewentualne zbadanie, jakim błędem metodycznym obarczony byłby taki teoretyczny współczynnik nasycenia.

Rozważania nasze rozpoczniemy od czynnika, który—jak to zgóry przewidzieć można—ma znaczenie ograniczone, ale co do którego mamy stosunkowo najszczegółowsze dane, a mianowicie od ciśnienia atmosferycznego. Alsterberg przyjmuje, że średnie roczne ciśnienie, sprowadzone do poziomu morza, wynosi wszędzie 760 mm Hg. Wiemy jednak, że jest to tylko w pewnym przybliżeniu ściśle; z długoletnich obserwacji meteorologicznych wynika, że średnie roczne ciśnienie na Suwalszczyźnie jest nieco większe. Górczyński (1917) w swej pracy o ciśnieniu atmosferycznym w Polsce podaje, że średnie roczne ciśnienie za okres lat 1886—1910 w miasteczku Margrabowa (Prusy Wschodnie, w pobliżu granicy Suwalszczyzny) wynosiło 761.5 mm; w tym samym okresie średnie roczne ciśnienie w Druskienikach wynosiło 761.7 mm (p. 53). Ponieważ Suwalszczyzna leży między temi dwoma punktami, możemy przyjąć, że średnie roczne ciśnienie powietrza, sprowadzone do poziomu morza, wynosiło tu w okresie wymienionym 761.6 mm. Zgadza się to wprost idealnie z wynikami pomiarów ciśnienia atmosferycznego, dokonywanych przez Stację Hydrobiologiczną na Wigrach. Jak wynika z tab. 1, w której zesta-

¹⁾ Błąd metodyczny rzeczywistego deficytu absolutnego przekraczałby zaledwie dwukrotnie błąd analizy Winklera.

wione są średnie miesięczne i roczne z okresu 1927—1931¹⁾ (poprawka na t° została uwzględniona); średnie roczne ciśnienie wynosiło w tym okresie na Wigrach 749.38 mm; po sprowadzeniu wielkości tej do poziomu morza (według tabeli Górczyńskiego l. c. p. 40, z uwzględnieniem średniej rocznej temperatury powietrza: + 5.89 °C) otrzymujemy 761.61 mm, co najzupełniej zgadza się z wymienioną wyżej liczbą, opartą na danych z lat 1886—1910. Możemy więc uznać, za zupełnie pewne, że średnie roczne ciśnienie na Suwalszczyźnie, sprowadzone do poziomu morza, wynosi 761.6 mm Hg. Obliczona na podstawie tego rzeczywistego ciśnienia średniego stała pierwotna różni się od obliczonej na podstawie wzoru Alsterberg'a o 0.02 cm³/l. Jest to różnica bardzo niewielka i leży w granicach błędu metody analitycznej Winkler'a, niemniej mogąc łatwo uniknąć tego błędu, zestawiam w tab. 2 obliczone dla różnych wzniesień, na których położone są jeziora Suwalszczyzny, odpowiadające im średnie roczne ciśnienia i wiosenne współczynniki natlenienia, opierając się na ustalonym wyżej ciśnieniu rzeczywistym. W tabelce tej obliczone zostały współczynniki tlenowe nie tylko według tabeli nasycenia F o x a, które zaleca Alsterberg, ale również według analogicznych tabel Winklera. Mimo przyjętego naogół zwyczaju obliczania współczynników nasycenia z dokładnością do 0.01 cm³/l, ograniczyłem się do dokładności do 0.1 cm³/l, z powodów, które wyjaśnione będą niżej.

Alsterberg w rozważaniach swoich milcząco zakłada, że ciśnienie atmosferyczne w okresach cyrkulacji jeziornych, jedynie miarodajne dla stopnia natlenienia głębszych warstw jeziora, jest tak zbliżone do średniego ciśnienia rocznego, że oparcie się na tem ostatniem daje wystarczającą dokładność. Wiemy jednak, że ciśnienie powietrza, naogół dość zmienne, ulega pewnym perjodycznym wahaniom; wieloletnie badania

1) Obserwacje meteorologiczne dokonywane są na St. H. n. W. od r. 1922. Niestety dane o ciśnieniu powietrza z okresu 1922—1926 wypadło zdyskwalifikować, gdyż dostarczony przez P. I. M. barometr był uszkodzony i dopiero od początku r. 1927 zaczął po naprawieniu funkcjonować prawidłowo.—Opublikowane przez J a n i k o w s k i e g o (1925) dane o ciśnieniu na Wigrach są obarczone znacznym błędem, spowodowanym przez wzmiankowane uszkodzenie barometru.

T A B. 1.

Ciśnienie powietrza na poziomie rzeczywistym według obserwacji Stacji Hydrobiologicznej na Wigrach. Stary Folwark, gm. Huta, pow. Suwalski
h = 138 m.

Rok M-c	1927 ¹⁾	1928	1929	1930	1931	Średnie
I	749.9	750.8 ¹⁾	757.0	751.3	745.5	750.9
II	53.5	52.6 ¹⁾	57.8	54.9	51.3	754.0
III	47.8	55.8	52.0	46.2	47.0	749.8
IV	43.8	47.7	47.1	48.0	47.9	746.9
V	49.1	45.8	50.8	48.3	49.8	748.8
VI	48.2	46.2	48.0	51.5	49.0	748.6
VII	47.1	49.1	48.9	43.5	47.8	747.3
VIII	49.3	47.4	51.6	47.7	46.0	748.4
IX	44.1	51.5	51.9	50.6	47.2	749.1
X	48.7	49.4	46.7	46.6	49.5	748.2
XI	50.7	44.2	51.1	44.1	56.4	749.3
XII	53.3	51.0	50.4	54.0	47.8	751.3
Śr. roczna	748.8	749.3	751.1	748.9	748.8	749.38

wykazują, że w Europie środkowej maksimum ciśnienia przypada najczęściej w miesiącach zimowych (styczeń—luty), minimum—w lipcu, maksyma drugorzędne występują ponadto często w maju i we wrześniu (G o r c z y ń s k i l. c. p. 102). Kwiecień—miesiąc, w którym w naszych szerokościach najczęściej odbywa

¹⁾ Dane z r. 1927 oraz z I i II 1928 r. pochodzą z Płociczna. Zostały one doprowadzone do poziomu Starego Folwarku przez dodanie 2 mm (różnica poziomów około 22 m).

TAB. 2.

Ciśnienie powietrza i wiosenne współczynniki natlenienia na Suwalszczyźnie

Wzniesienie n. p. m. m	Średnie ciśnienie roczne mm	Wiosenny współczynnik natlenienia	
		wg. Winkler'a cm ³ /l	wg. Fox'a cm ³ /l
100 — 110	752.2	}	} 9.2
110 — 120	51.3		
120 — 130	50.4		
130 — 140	49.4	} 9.0	} 9.1
140 — 150	48.5		
150 — 160	47.6		
160 — 170	46.7		
170 — 180	45.8		
180 — 190	44.9	} 8.9	} 9.0
190 — 200	44.0		
200 — 210	43.0		
210 — 220	42.1		
220 — 230	41.2	}	}
230 — 240	40.3		
240 — 250	39.4		
250 — 260	38.5		

się cyrkulacja wiosenna—ma naogół ciśnienie niższe od rocznego, listopad — miesiąc cyrkulacji jesiennej — często wyższe. Wiadomo jednak ogólnie, że wahania średnich miesięcznych w poszczególnych latach są bardzo znaczne, odpowiadają często różnicom we wznieśieniu nad poziomem morza o 100 i więcej metrów; widać to choćby z naszej tabeli 1. Tak znaczne wahania ciśnienia atmosferycznego przesuują punkt ciężkości naszych kalkulacji ze stałego czynnika, którym jest wznieśenie badanego jeziora nad poziom morza, na zmienny czynnik przesuwania się wyżów barometrycznych w poszczególnych latach. Zadaniem naszym jest teraz zorjentować się, jak daleko posunięte zmiany w stopniu natlenienia jezior Suwalskich mogą być wywołane przez zmienność ciśnień powietrza w okresach cyrkulacyjnych. Przed przystąpieniem do tego zagadnienia należy jednak poświęcić nieco uwagi samym zjawiskom cyrkulacyj jeziornych, zbadać czas występowania i trwania ich, temperaturę powietrza i wody oraz wpływ niektórych innych czynników meteorologicznych na ich przebieg w jeziorach Suwalskich.

Ogólne dane o przebiegu cyrkulacyj w Wigrach zawarte są w pracy Lityńskiego (1926); z badań tego autora wynika,

że okres całkowitej cyrkulacji jesiennej rozpoczyna się w listopadzie i trwa niekiedy do połowy grudnia, zaś całkowita cyrkulacja wiosenna odbywa się najczęściej w kwietniu. Wskutek swoistej budowy termicznej jez. Wigierskiego, odznaczającego się stosunkowo wysoką temperaturą warstw przydennych w miesiącach letnich oraz niską temperaturą tychże w zimie (por. Lityński l. c. tab. 12 p. 40), cyrkulacja w jeziorze tem rozpoczyna się zapewne nieco wcześniej, niż w jeziorach o stałej temperaturze warstw głębokich, zbliżonej do 4°C. Należy przypuszczać, że z chwilą, gdy temperatura wody na powierzchni opadnie do 7.5°C, co następuje zwykle w listopadzie, woda w Wigrach zaczyna cyrkulować, ulegając zarówno prądom konwekcyjnym, jak też i wywołanym, przez wiatry prądom wirowym Birge'a. Podobnie na wiosnę, gdy tylko t° powierzchni osiągnie 3.5°C, rozpoczyna się całkowita cyrkulacja. W jeziorach o bardziej „normalnej” budowie termicznej, których również niebrak na Suwalszczyźnie (por. np. zat. Uklejowa Wigier, Lityński 1926), całkowita cyrkulacja opóźnia się zapewne nieco w porównaniu do Wigier i trwa być może nieco krócej. Należy jednak przypuszczać, że różnice te nie są wielkie i że wobec nieznacznej rozległości interesującego nas, niewątpliwie dość jednolitego pod względem klimatycznym obszaru, można przyjąć, że stosunki cyrkulacyjne Wigier odzwierciedlają w pewnym stopniu analogiczne przejawy życia większości pozostałych jezior Suwalskich.

W tab. 3 zestawione są dane o czasie występowania i trwania całkowitej cyrkulacji wiosennej i jesiennej w Wigrach, na podstawie pomiarów temperatury wody powierzchniowej, dokonywanych przez Stację Hydrobiologiczną od r. 1923. Pomiaru te prowadzone były do r. 1927 włącznie w zat. Uklejowej, następnie w t. zw. zat. Stacyjnej, w północnej części jez. Wigierskiego. Wobec swoistej termiki tego jeziora przyjęto, że całkowita cyrkulacja wiosenna rozpoczyna się, gdy temperatura powierzchni osiągnie około 3°C, kończy się, gdy temperatura wznie się do 5.5—6.0°C; analogicznie na jesieni uznano, że całkowita cyrkulacja rozpoczyna się, gdy temperatura powierzchni opadnie do 7.5°C, kończy się, gdy temperatura ta opadnie trwale poniżej 3°C. Stosunki te nie dają się ująć zupełnie ściśle z powodu dość znacznych nieprawidłowości w prze-

TAB. 3.
Okresy całkowitej cyrkulacji w jez. Wigry.

Cyrkulacja wiosenna			Cyrkulacja jesienna		
1923:	—	—	12 listopad	—20	grudzień 39 dni
24:	20 kwiecień—	3 maj 14 dni	8 listopad	— 5	grudzień 28 „
25:	5 „ —23	kwiecień 19 „	2 „	—28	listopad 27 „
26:	11 „ —17	„ 7 „	25 październik—	17	grudzień 54 „
27:	7 „ — 2	maj 26 „	7 listopad	—29	listopad 23 „
28:	11 „ —27	kwiecień 17 „	11 „	—14	grudzień 34 „
29:	28 „ — 3	maj 6 „	12 „	—22	„ 41 „
30:	8 „ —13	kwiecień 5 „	11 „	—13	„ 33 „
31:	25 „ — 2	maj 8 „	23 październik—	25	listopad 34 „

biegu temperatur na powierzchni, wywołanych zmianami warunków meteorologicznych. Gdy np. w końcu października lub w listopadzie nastąpi po szeregu zimnych dni, a zwłaszcza nocy, spadek temperatury do 7.5°C, rozpoczyna się w Wigrach niewątpliwie cyrkulacja; gdy jednak następnie warunki meteorologiczne poprawią się i przez parę godzin słońce będzie operowało przy pogodzie bezwietrznej, temperatura powierzchni jeziora znów się podniesie i cyrkulacja ulegnie zahamowaniu. Niewątpliwie zdarza się, że będąca w pełnym biegu cyrkulacja ulega okresowym przerwom na kilka godzin dziennych; zjawiska te szczególnie często obserwować można na jesieni. W tab. 3 wspomniane przerwy, jako naogół krótkotrwałe i nie mające zapewne większego znaczenia, nie zostały uwzględnione, okres cyrkulacji całkowitej jest więc pojęty szeroko.

Porównanie przebiegu cyrkulacji wiosennej i jesiennej daje rezultat bardzo ciekawy, okazuje się bowiem, że przebiegają one zupełnie różnie. Cyrkulacja wiosenna rozpoczyna się późno, zazwyczaj w drugiej połowie kwietnia, gdy wiosna jest już dość zaawansowana. Ciepło słońca kwietniowego przez długie tygodnie zostaje użyte na rozpuszczanie śniegów i jeziornych pokryw lodowych, praca słonecznych dni bywa przytem często niweczona przez nocne przymrozki; wiatr nie może dojść do głosu dopóki całe jezioro jest pokryte lodem. Dopiero gdy nagrzewające się o wiele szybciej brzegi jeziora odmarzną, rozpoczyna wiatr swą działalność niszczącą, bijąc falami o nadwątłone i porowate masy lodowe śródziejzera. Wówczas uwolnienie jeziora od lodu jest zwykle kwestją krótkiego czasu, nim to jednak nastąpi, wiosna poczyni znaczne postępy.

Bardzo charakterystyczny jest przebieg temperatur powietrza w tym okresie. Średnia temperatura kwietniowa (za okres 10-letni) według danych Stacji Hydrobiologicznej wynosi na Wigrach zaledwie $+4.66^{\circ}\text{C}$, jest więc o 0.7°C niższa, niż średnia wieloletnia w pobliskich, nie leżących nad żadnym jeziorem, Suwałkach i o 1.4°C niższa, niż w Druskienikach (Gorczyński i Kosińska 1916 p. 110). T. zw. pojezierze pruskie, obejmujące również Suwalszczyznę, posiada specjalną 6-stopniową izotermę kwietniową (na poziomie rzeczywistym, l. c. tab. XVIII), jednak okolice leżące bezpośrednio nad wielkimi jeziorami mają widocznie swoisty klimat, ujawniający się szczególnie w okresie tajania śniegów i lodów. Z chwilą bowiem gdy znikną pokrywy lodowe jezior i spłyną śniegi, co następuje zwykle z końcem kwietnia, temperatura powietrza gwałtownie się podnosi: średnia majowa (10-letnia) wynosi na Wigrach $+12.58^{\circ}$, jest więc nawet nieco wyższa, niż w Suwałkach (12.0°) i Druskienikach (12.4°). Ten silny skok temperatury powietrza na przełomie kwietnia i maja, niespotykany w innych częściach Polski (por. Gorczyński i Kosińska l. c.) i nie mający sobie równych, jeśli porównamy jakiegokolwiek dwa inne po sobie następujące miesiące, jest zdaje się swoistą cechą naszego klimatu jeziornego, mającą doniosłe znaczenie dla przebiegu cyrkulacji wiosennej. Trwa ona, jak wynika z tab. 3, zwykle bardzo krótko, w niektórych latach zaledwie kilka dni. Na skrócenie jej wpływa jeszcze małe zachmurzenie, które w maju osiąga swe minimum roczne (por. tab. 4).

TAB. 4.

Zachmurzenie na Wigrach według danych Stacji Hydrobiologicznej. Średnie miesięczne na podstawie 10-letnich obserwacji (1922—1931).

Styczeń	8.11	Lipiec	6.05
Luty	8.02	Sierpień	6.00
Marzec	6.52	Wrzesień	6.12
Kwiecień	6.01	Październik	7.05
Maj	5.60	Listopad	8.33
Czerwiec	6.12	Grudzień	8.16

Średnia roczna: 6.84

Zupełnie odmienne stosunki obserwujemy na jesieni. Jezioro wolne od lodu ulega prawie stałemu falowaniu, pod wpły-

wem wiejących wówczas często silnych wiatrów. Zasoby ciepła, nagromadzonego w ciągu całego lata są tak poważne, że trzeba długiego czasu, aby temperatura całej masy wodnej opadła do 4°C. Ale i wówczas jeszcze jezioro dalekie jest od pokrycia się lodem, gdyż ustawiczne wiatry, wywołujące prądy wirowe, wynoszą na powierzchnię coraz to nowe masy ciepłej wody z głębin. Dopiero gdy temperatura wody na powierzchni opadnie poniżej 3°C, oczekiwać można zamarznięcia jeziora; nie nastąpi to jednak, zanim nie zbiegnie się równocześnie dość silny mróz z bezwietrzną pogodą; przy niezbyt silnym nawet wietrze płosa Wigier nie zamarzną nigdy, co więcej—już utworzony lód bywa niszczony i rwany na kry przez silne fale, nawet przy mrozie kilkostopniowym. Podobnie jak tajanie, tak i zamarzanie rozpoczyna się od brzegów; narastający centrypetalnie lód zmniejsza szybko ulegającą wiatrom wolną powierzchnię wody, nadając pewne przyśpieszenie procesowi zamarzania. Nawiasem dodam, że również w czasie cyrkulacji jesiennej ujawnia się szczególny klimat jeziorny: średnia temperatura powietrza w listopadzie (za okres 10 letni) wynosi na Wigrach +2.31 C, jest więc znacznie wyższa nie tylko od obserwowanej w Suwałkach (+0.4°) i Druskienikach (+0.7°), ale nawet w Warszawie (+1.8°), której średnia roczna jest o 1.7° wyższa od wigierskiej (Gorczyński i Kosińska l. c. p. 110). Tak znaczną różnicę można sobie wytłómaczyć tylko wpływem oddawanych w tym czasie wielkich ilości ciepła, nagromadzonego w wodzie jeziornej. Nie bez znaczenia jest tu z pewnością znana budowa termiczna Wigier, zdolnych do akumulacji ciepła nie tylko w epilimnionie, ale również w pewnym stopniu i w masach hypolimnetycznych.

Powrócimy teraz do kwestji ciśnienia atmosferycznego, panującego u nas w okresach cyrkulacyjnych. Dane z pięciu lat (1927—1931) zestawione są w tab. 5, gdzie dla cyrkulacji wiosennej obok liczb, określających średnie ciśnienia, wówczas panujące, podane są również odpowiadające im współczynniki nasycenia, obliczone na podstawie tabel Foxa i Winklera.

Widzimy, że zakres wahań ciśnień powietrza w okresach cyrkulacyjnych tych kilku lat jest ogromny, gdyż wynosi dla wiosny 16.5 mm, dla jesieni—7.9 mm. Zakres wahań wiosennych współczynników natlenienia z poszczególnych lat wynosi

TAB. 5.

Średnie ciśnienia w czasie całkowitych cyrkulacji na Wigrach w okresie 1927—1931.

	Cyrkulacja wiosenna			Ciśnienie średnie
	Współczynnik natlenienia			
	Ciśnienie średnie	wg. Winklera	wg. Foxa	
1927	742.0 mm	8.92 cm/l	9.04 cm/l	749.5 mm
28	47.8	8.99	9.11	44.7
29	44.7	8.96	9.07	49.8
30	58.5	9.12	9.24	48.2
31	46.8	8.98	9.10	52.6

odpowiednio $0.2 \text{ cm}^3/\text{l}$, a najbardziej skrajne zmienne odbiegają od liczby obliczonej na podstawie średniego ciśnienia rocznego (9.01 wzgl. $9.13 \text{ cm}^3/\text{l}$, p. tab. 2) o około $0.1 \text{ cm}^3/\text{l}$. Jest rzeczą jasną, że w tych warunkach obliczanie teoretycznego deficytu absolutnego na podstawie średniego ciśnienia rocznego z dokładnością większą, niż do $0.1 \text{ cm}^3/\text{l}$, jak to uczyniło w ślad za Alsterbergiem już paru autorów, jest zupełnie nieuzasadnione. Należy zważyć, że tab. 5 oparta jest na materiale zaledwie 5-letnim, dotyczącym jeziora, którego okresy cyrkulacyjne trwają zapewne naogół nieco dłużej, niż wielu innych jezior Suwalskich. Rozporządzając materiałem porównawczym z większej ilości jezior i z dłuższego okresu czasu, znaleźlibyśmy z pewnością stosunki jeszcze bardziej odbiegające od schematu Alsterberga; należy przyjąć, że błąd spowodowany odbiegającym od średniego rocznego ciśnieniem, panującym w czasie cyrkulacji wiosennej, może u nas sięgać w przypadkach krańcowych $0.2 \text{ cm}^3/\text{l}$. Cyrkulacja jesienna, trwająca znacznie dłużej, posiada średnie ciśnienie o wiele bardziej zbliżone do średniej rocznej; niemniej i tu błąd jesiennego współczynnika nasycenia, obliczonego według wskazań Alsterberga, sięgać może $0.1 \text{ cm}^3/\text{l}$.—Błędów tych możnaby w praktyce uniknąć przez każdorazowe obliczenie średniego ciśnienia, panującego w okresie cyrkulacji, bezpośrednio poprzedzającej nasze badania, na podstawie materiałów, dotyczących czasu jej wystąpienia i trwania na jeziorze badanem, lub pobliskim o podobnym charakterze limnologicznym.

Rozpatrzyliśmy w ten sposób wpływ ciśnienia atmosferycznego, zmniejszający do pewnego stopnia w lokalnych warun-

kach Suwalszczyzny dokładność wzorów Alsterberga, który ciśnienie uznał za jedyny godny uwagi czynnik lokalny, korygujący jego teoretyczne założenia. Źródłem o wiele poważniejszych jednak błędów może być temperatura, przy której następuje natlenienie całej masy wód jeziornych w czasie cyrkulacji. Alsterberg przyjmuje, że odbywa się ono na wiosnę przy temp. 4°C ; rzeczywiście, tak teoretycznie należałoby się spodziewać, gdyż z chwilą, gdy temperatura wody na powierzchni przekroczy 4°C , cyrkulacja winnaby ulec zahamowaniu. Wiemy jednak, że temperatura głębokich warstw w Wigrach jest latem stosunkowo wysoka i że wzrost ten przypada w lwiej części na maj, zanim „zdołała wytworzyć się większa różnica pomiędzy temperaturą powierzchni i dna, co stanowi moment sprzyjający cyrkulacji” (Lityński l. c. p. 39). Ze słów tych wynika, że cyrkulacja wiosenna nie kończy się w Wigrach przy temp. $+4^{\circ}\text{C}$, lecz dopiero przy temp. 5.5° — 6.0°C (okoliczność ta została uwzględniona w tab. 3). Współdziałanie wiatrów, które wieją w kwietniu w dużej ilości (10-letnia średnia kwietniowa siły wiatrów w godzinach południowych wynosi 3.83 m/sek i zbliża się do najwyższej średniej miesięcznej), ze znacznym w tym okresie nasłonecznieniem (por. tab. 4) warunkuje dopływ ciepła do głębin. Rezultatem tego winnoby być natlenienie całej masy wodnej, odpowiadające temperaturze 5.5° — 6.0°C ; okoliczność tę, jako ogromnie ważną, podkreślił już Münster Ström (l. c. p. 494). Współczynnik natlenienia, obliczony dla średniego ciśnienia rocznego Wigier i temp. 5.5°C , wynosiłby już tylko 8.80 cm^3/l , różniłby się zatem od teoretycznego (9.13 cm^3/l wg. tabel Fox'a) o 0.33 cm^3/l ; przy wzięciu pod uwagę temp. 6.0°C , różnica ta wyniosłaby 0.44 cm^3/l , co stanowi już błąd poważny. Przy zsumowaniu się błędów, spowodowanych przez odbiegające od teoretycznych założeń Alsterberga zachowanie się ciśnienia i temperatury w okresie cyrkulacji wiosennej, obliczony na podstawie wzoru tego autora wiosenny współczynnik natlenienia byłby obarczony błędem, sięgającym 0.6 — 0.7 cm^3/l . O ile przytem jest rzeczą do pewnego stopnia możliwą wyeliminowanie błędu, spowodowanego ciśnieniem (p. wyżej), o tyle jest to bardzo trudne odnośnie temperatury, przy której kończy się cyrkulacja. Temperatura ta zależy bowiem od struktury termicznej danego jeziora, od jego

wystawienia na działanie wiatrów oraz od czynników meteorologicznych, które zmieniają się z roku na rok. Jeziora Suwalszczyzny cyrkulują przy nieco różnych temperaturach, wiemy, że nawet poszczególne części jeziora Wigierskiego zachowują się pod tym względem różnie (Lityński l. c. p. 37).

W warunkach naszych wydaje mi się również niesłuszny postulat Alsterberga, według którego winniśmy obliczać jesienny współczynnik natlenienia, biorąc pod uwagę ilość tlenu, nasycającą 1 litr wody przy temp. 0°C. Jak wynika z naszych rozważań o cyrkulacji jesienniej, spadek temperatury wody poniżej 3°C poprzedza często stosunkowo nieznacznie pokrycie się jeziora lodem. Należy wątpić, czy przeważnie niedługi okres, dzielący taki spadek temperatury od zamarznięcia wystarcza, aby jezioro zdążyło odpowiednio natlenić się, zwłaszcza, że woda nie cyrkuluje już wówczas tak łatwo, napotykać w głębinach wodę cieplejszą i cięższą. O wiele słuszniejsze byłoby—przynajmniej w odniesieniu do głębszych warstw jeziora, które wogóle nigdy nie miewają temperatury 0°C—przyjęcie, że pełna cyrkulacja jesienna kończy się przy 3°C i obliczenie na tej podstawie jesiennego współczynnika natlenienia dla warstw głębszych jeziora. Różni się on dla Wigier o 0.78 cm³/l od obliczonego według wskazań Alsterberga, a błąd jego (po uwzględnieniu odchyień, które mogłyby być wywołane przez zmienność ciśnienia powietrza) nie przekraczałby w naszych warunkach 0.3—0.4 cm³/l. W tab. 6 zestawiam obliczone dla różnych poziomów, na których są położone jeziora Suwalszczyzny, jesiennie współczynniki natlenienia, biorąc za punkt wyjścia ilość tlenu, nasycającą 1 litr wody przy ciśnieniu 760 mm i temp. 3°C według tabel Winklera i Fox'a.

Jako ostatni czynnik, ograniczający możliwość powszechnego stosowania wzorów Alsterberga i zmniejszający dokładność obliczonego na ich podstawie deficytu absolutnego, omówię pokrótce większą lub mniejszą zdolność jezior do natleniania się w okresach cyrkulacyjnych. Alsterberg wychodzi z założenia, że jeziora w okresie całkowitej cyrkulacji nasycają się tlenem w ilości, którą określa jedynie ciśnienie i temperatura. Wiemy jednak, że istnieją zbiorniki, w których pochłanianie tego gazu postępuje tak szybko, że nie starcza go na nasycenie warstw najgłębszych. Jaskrawym przykładem ta-

TAB. 6.

Jesienne współczynniki natlenienia w jeziorach Suwalszczyzny, obliczone dla temp. $+3^{\circ}\text{C}$ i średnich ciśnień rocznych, panujących na poszczególnych wzniesieniach n. p. m.

Wzniesienie n. p. m. m	Jesienny współczynnik natlenienia	
	wg. Winklera cm^3/l	wg. Fox'a cm^3/l
100 — 140	9,3	9,4
140 — 150	9,2	9,4
150 — 230	9,2	9,3
230 — 240	9,1	9,3
240 — 260	9,1	9,2

kiego zbiornika wodnego jest na naszym terenie zat. Uklejowa Wigier (Lityński l. c. p. 61), a zbiorników podobnych jest na Suwalszczyźnie niewątpliwie dużo. W takich jeziorach współczynnik natlenienia winienby być obliczany dla każdej warstwy oddzielnie, przytem decydującym czynnikiem—obok temperatury i ciśnienia—musiałby być wskaźnik rezorpcji tlenu, który byłby inny dla każdego jeziora i którego natury ani sposobu obliczania nie znamy dotychczas wogóle.—Nie ulega kwestji, że w jeziorach zeutrofizowanych jedynie rzeczywisty deficyt absolutny miałby wartość wskaźnika limnologicznego.

Ale i w jeziorach o wysokim całorocznym budżecie tlenowym, do których należą plosa Wigier, spotykamy stosunki niezupełnie zgodne z przesłankami teoretycznymi. 12 listopada 1931 znalazłem na plosie Północnej Wigier stosunki termiczne i tlenowe, przedstawione w tab. 7. Homotermja i homooksygenja były niemal zupełne, jednak ilość tlenu była stosunkowo niska: wynosiła zaledwie około 91% nasycenia. Tegoż dnia wykonana analiza w o wiele płytszej zatoce Północnej Wigier (Tab. 7)

TAB. 7.

Wigry, 12. XI. 1931.

Plosa Północne			Zatoka Północna		
Głęb.	T	O ₂	Głęb.	T	O ₂
m	$+^{\circ}\text{C}$	cm^3/l	m	$+^{\circ}\text{C}$	cm^3/l
0	6.1	7.84	0	5.3	8.47
20	6.0	—	6	5.2	8.47
40	5.9	7.82	10	5.2	8.45
45	6.0	7.86	—	—	—

wykazała przy niższej temperaturze wyższą absolutną zawartość tlenu; niemniej i tu było zaledwie około 97% nasycenia. Zupełnie podobne stosunki opisane są w pracy Lityńskiego (l. c.): z rys. 11 (p. 52) wynika, że w czasie jesiennej cyrkulacji na głęboczku Okuniowym Wigier w r. 1923 woda zawierała zaledwie 8.2—8.3 cm³/l tlenu¹⁾, zamiast 9.3—9.4 cm³/l, których należało oczekiwać, wychodząc z założeń teoretycznych (p. tab. 6). —O ile jesienią spotykamy w Wigrach ilości tlenu mniejsze od spodziewanych, o tyle znów cyrkulacja wiosenna zdaje się prowadzić do nieoczekiwanej wysokiej natlenienia wody: z cytowanych wyżej badań Lityńskiego (1926) wynika, że ilość tlenu w d. 14 maja 1924, t. j. w kilka dni po zakończeniu cyrkulacji wiosennej wynosiła w warstwie przydennej na głęb. Okuniowym 9.3 cm³/l, a w warstwach płytszych była jeszcze większa. Obserwujemy więc pewną nadwyżkę w porównaniu z obliczonymi teoretycznie współczynnikami natlenienia dla Wigier (9.0—9.2 cm³/l wg. Fox'a, por. Tab. 2 i 5).

Ten nieoczekiwany rezultat jest tembardziej dziwny, że jak wiemy cyrkulacja jesienna trwa na Wigrach o wiele dłużej, niż wiosenna, zdawałoby się zatem, że winna ona prowadzić do pełniejszego przewietrzenia jeziora. Zjawiska te wymagają szczegółowszego zbadania, gdyż będące do dyspozycji materiały nie zezwalają na wskazanie ich przyczyn.

Rezultat porównania rzeczywiście obserwowanych ilości tlenu w czasie cyrkulacji z obliczanymi na podstawie założeń Alsterberga współczynnikami natlenienia, nawet przy wzięciu pod uwagę pewnych poprawek, dyktowanych znajomością barometrycznych i termicznych stosunków lokalnych, obciąża te współczynniki błędem bardzo poważnym, wynoszącym dla jezior o wysokim budżecie tlenowym około 1.0 cm³/l tlenu. Ponieważ ich deficyt tlenowy jest naogół niewielki, błąd ten w większości przypadków odbierze mu wszelką wartość realną.

Kończąc powyższe rozważania, ujmiemy ich rezultaty praktyczne w następujące punkty:

- 1) Błąd współczynników natlenienia Alsterberga, spo-

¹⁾ Podobne wartości (8.2—8.4 cm³/l) znalazł Lityński (1931, p. 13 i 14) na Toni Bór 3 grudnia 1924 r. przy temperaturze całego słupa wody około 4.5°C.

wodowany odbiegającym od średniego rocznego przebiegiem ciśnienia atmosferycznego w okresie cyrkulacji wiosennej sięgać może $0.2 \text{ cm}^3/\text{l}$, w okresie cyrkulacji jesiennej— $0.1 \text{ cm}^3/\text{l}$.

2) Błąd wiosennego współczynnika natlenienia, wywołany przez wyższą temperaturę w okresie końcowym cyrkulacji sięgać może $0.4—0.5 \text{ cm}^3/\text{l}$.

3) Błąd jesiennego współczynnika natlenienia, obliczonego dla 3°C , wywołany przez niezgodny z teoretycznymi założeniami przebieg ciśnienia i inną temperaturę w czasie cyrkulacji sięgać może $0.3—0.4 \text{ cm}^3/\text{l}$.

4) Porównanie obliczonych na podstawie dotychczasowej znajomości stosunków meteorologicznych i limnologicznych Suwalszczyzny współczynników natlenienia Alsterberga (p. tab. 2 i 7) ze stwierdzonymi przez Lityńskiego (1926, 1931) i autora ilościami tlenu w okresach całkowitej cyrkulacji w Wigrach wykazuje ich różnicę, sięgającą $1.0 \text{ cm}^3/\text{l}$. Różnica ta byłaby znacznie większa, gdyby wziąć pod uwagę jezioro o niskim budżecie tlenowym.

5) Ponieważ deficyt absolutny jezior obfitujących w tlen jest niewielki, zaś błąd teoretycznego współczynnika natlenienia stosunkowo duży; ponieważ dalej nie znamy metody obliczania współczynników nasycenia w jeziorach ubogich w tlen — stosowanie wzorów Alsterberga jest w lokalnych warunkach Suwalszczyzny przy do dotychczasowym stanie naszych wiadomości niecelowe.

6) Ponieważ jednak deficyt absolutny Alsterberga wydaje się cennym wskaźnikiem limnologicznym, opartym na słusznej zasadzie, należy dążyć do obliczania rzeczywistego deficytu absolutnego, będącego różnicą między stwierdzonym maksymalnym stanem natlenienia badanego jeziora w czasie cyrkulacji i obserwowaną w czasie następnej stagnacji ilością tlenu w tej samej warstwie wody.

Stacja Hydrobiologiczna na Wigrach.

SPIS LITERATURY CYTOWANEJ.

Alsterberg G. 1929. Über das aktuelle und absolute O_2 -Defizit der Seen im Sommer. *Botan. Notiser* 1929. Lund.—Alsterberg G. 1930. Die O_2 -Primärkonstante in den verschiedenen Seenbereichen während des Jahres. *Botan. Notiser* 1930. Lund.—Birge E. A. and Juday C. 1912. A limnological Study of the Finger Lakes. *Bull. of the Bureau of fisheries*, Vol. 32. Washington.—Gorczyński W. 1917. O ciśnieniu powietrza w Polsce i w Europie. *Pam. Fizyogr. T. 24. Meteorologja. Warszawa.*—Gorczyński W. i Kosińska S. 1916. O temperaturze powietrza w Polsce. *Pam. Fizyogr. T. 23. Meteorologja. Warszawa.*—Janikowski T. 1925. Wyniki spostrzeżeń meteorologicznych notowanych nad Wigrami w czasie od 1922 do 1924 roku. *Spraw. Stacji Hydrob. na Wigrach. T. I. Suwałki. Lityński A. 1926. Studja limnologiczne na Wigrach. Arch. Hydrobiol. i Ryb. T. I. Suwałki.*—Lityński A. 1931. Sieja wigierska. *Arch. Hydrobiol. i Ryb. T. 6. Suwałki.*—Münster Ström K. 1931. Feforvatn. *Arch. f. Hydrobiol. Bd. 22. Stuttgart.*—Rylov. W. M. 1931. Einige Resultate der limnologischen Untersuchungen am Kardywatsch-See. *Arch. f. Hydrobiol. Bd. 22. Stuttgart.*

 Zusammenfassung

ZYGMUNT KOŹMIŃSKI

**Über die Berechnungsmethode des Sauerstoffdefizits
in den Suwałki-Seen.**

Der Verf. stellte sich als Aufgabe eine Nachprüfung, ob in den lokalen Verhältnissen der Suwałki-Seen sich die Berechnungsprinzipien von Alsterberg (1930) bezüglich des absoluten O_2 -Defizits anwenden lassen.

Es wurden zuerst die meteorologischen Verhältnisse des Suwałki-Seengebietes, vor allem der Luftdruck, die Lufttemperatur und die Bewölkung, sowie die Zeitdauer und der Verlauf der Frühling- und der Herbstvollzirkulation in dem Wigrysee (auf Grund von 10-jährigen Beobachtungen der Hydrobiologischen Wigystation) einer Betrachtung unterzogen. Als Erge-

bnis dieser Erörterungen hat der Verf. eine Reihe von Korrekturen, die sich bei der näheren Kenntnis der lokalen meteorologischen und limnologischen Verhältnisse als erforderlich erwiesen, in die Berechnungsweise Alsterberg's eingeführt. Ferner sind—unter Berücksichtigung der genannten Korrekturen—die Frühling- und Herbstsättigungskoeffiziente für die Meereshöhen, auf welchen die Suwałki-Seen gelegen sind, berechnet sowie Fehlergrenzen bestimmt worden, zwischen welchen sich diese Koeffizienten, infolge einer Veränderlichkeit der meteorologischen Faktoren in einzelnen Jahren und der individuellen Schwankungen im Verlaufe der Zirkulationerscheinungen in einzelnen Seen, bewegen können.

Ein Vergleich der auf diese Weise berechneten theoretischen Sättigungskoeffizienten der Seen mit dem tatsächlich während der Vollzirkulationen in dem Wigrysee festgestellten O_2 -Sättigungsmaximum bewies jedoch, dass das letztere in Wirklichkeit wesentlich von jenen Zahlen abweichen kann, welche man auf Grund von theoretischen Prämissen erwarten dürfte. Es zeigte sich nämlich, dass der O_2 -Gehalt des Wassers während der Herbstvollzirkulation um etwa $1.0 \text{ cm}^3/\text{l}$ niedriger, als das theoretische herbstliche Sättigungskoeffizient liegt; während der Frühlingvollzirkulation beträgt dagegen die gefundene Zahl ein wenig mehr, als das entsprechende Sättigungskoeffizient. In den mehr eutrophen Seen dieser Gegend wird die Differenz noch viel bedeutender.

Zum Schluss kommt der Verf. zur Überzeugung, dass in den lokalen Verhältnissen der Suwałki-Seen lediglich das reelle absolute Defizit—welches eine Differenz zwischen dem während der Vollzirkulation gefundenen maximalen O_2 -Gehalt und der während der darauf folgenden Stagnation in derselben Wasserschicht festgestellten Sauerstoffmenge darstellt—als ein massgebender „Zehrungsindex“ aufzufassen ist.



