

*Jerzy Boryczka*

## WPŁYW WILGOTNOŚCI GRUNTU I ZBIORNIKÓW WODNYCH NA ZAWARTOŚĆ PARY WODNEJ W PRZYZIEMNEJ WARSTWIE POWIETRZA

Niniejsze opracowanie oparto na pomiarach elementów meteorologicznych wykonanych w dwu (skrajnie różnych) okresach letnich; wyjątkowo chłodnym i mokrym lipcu 1962 r. oraz wyjątkowo ciepłym i suchym lipcu 1963 r. Zarówno w pierwszym jak i w drugim roku wzięto pod uwagę po 3 miejscowości: wyspę Szeroki Ostrów (na jeziorze Śniardwy) oraz dwie miejscowości nadbrzeżne: rok 1962 — Dziubiele i Dąbrówka, rok 1963 — Nowe Guty i Olszewo. Wszystkie dane takich elementów meteorologicznych jak temperatura, wilgotność powietrza, prędkość wiatru i jego kierunek dotyczą wysokości 1,5 m nad poziomem powierzchni ziemi. Pomiaru temperatury i wilgotności powietrza wykonano za pomocą psychrometru Assmanna, prędkości wiatru — za pomocą anemometru Robinsona, kierunku wiatru zaś określano metodami wizualnymi. Gęstość pary wodnej wyznaczano za pomocą tablic roboczych (wykonanych przez autora) sporządzonych na podstawie zależności  $\rho = 216,7 \frac{e}{T}$ ; gdzie  $\rho$  — gęstość pary wodnej wyrażona w  $\text{g}/\text{m}^3$ ,  $e$  — prężność pary wodnej w mb,  $T$  — temperatura powietrza w skali  $^{\circ}\text{K}$ ; dokładność tablic 0,1  $\text{g}/\text{m}^3$ . Wpływ wilgotności gruntu na gęstość pary wodnej przeanalizowano w oparciu o okres letni 1962 i 1963 r., wpływ zaś zbiorników wodnych na zawartość pary wodnej w powietrzu w oparciu o okres letni 1963 r. (jako przykład lata, kiedy ten wpływ jest największy).

Ponieważ w niniejszym opracowaniu chodziło konkretnie o ilość pary wodnej w powietrzu, wobec tego przez cały czas używano pojęcia — gęstość pary wodnej, a nie wilgotność bezwzględna powietrza.

### WPŁYW WILGOTNOŚCI GRUNTU NA GĘSTOŚĆ PARY WODNEJ

Ilość pary wodnej jaka znajduje się w danej chwili w powietrzu (w warstwie przygruntowej) uwarunkowana jest przede wszystkim intensywnością parowania wody zawartej w gruncie. Jeśli grunt jest dostatecz-

nie wilgotny, to wielkość parowania zależy głównie od prędkości przepływu powietrza oraz od jego temperatury i niedosytu wilgotności. Przenoszenie pary wodnej na wyższe wysokości odbywa się głównie poprzez mechanizm turbulencyjnej wymiany powietrza. Nawet przy zanikającej średniej prędkości wiatru przenoszenie pary wodnej na drodze ruchu turbulencyjnego powietrza jest wielokrotnie większe niż na drodze dyfuzji molekularnej, wynikającej z pionowego gradientu ciśnienia pary wodnej. W przypadku kiedy podłoże jest jednorodne, a zmiany czasowe gęstości pary wodnej powolne, to pionowy strumień tej pary jest stały —  $K \frac{\partial \rho}{\partial h} = \text{const.}$  ( $K$  — współczynnik turbulencyjnej dyfuzji,  $\rho$  — gęstość pary wodnej wyrażona w  $\text{g/m}^3$ ). Jeśli grunt jest wilgotny i jego stan w ciągu dnia nie ulega znacznym zmianom, to wraz ze wzrostem temperatury gruntu i niedosytu wilgotności powietrza rośnie gęstość pary wodnej, osiągając wartość maksymalną w godzinach okołopołudniowych (fig. 1).

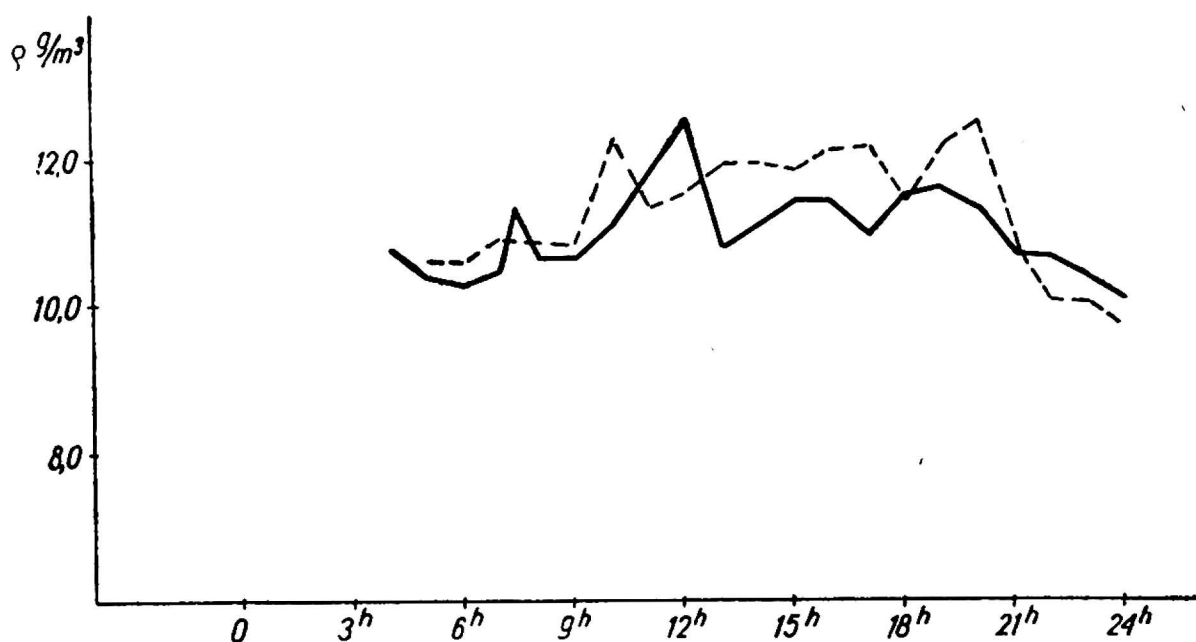


Fig. 1

Przebieg dobowy pary wodnej przy wilgotnym gruncie (31. VII. 1963) ——— Dziubiele,  
 — — — — — wyspa Szeroki Ostrów  
 Diurnal course of water vapour, with wet ground (July 31, 1963) ——— Dziubiele,  
 — — — — — Szeroki Ostrów island

Inaczej kształtuje się przebieg dzienny gęstości pary wodnej, jeśli w podłożu zawarta jest niewielka ilość wody. W tym przypadku maksymalne gęstości pary wodnej występują w godzinach porannych, kiedy to osad skroplonej pary wodnej w ciągu nocy (rosa) jest w godzinach rannych wtórnym źródłem parowania. W ciągu dnia występuje mniej lub bardziej wyraźny spadek gęstości pary wodnej i następnie wzrost w godzinach wieczornych (fig. 2 i 3).

Wpływ niedosytu wody w glebie na przebieg gęstości pary wodnej w powietrzu najwyraźniej zaznaczył się w dniach 22, 23 i 24 lipca 1963 r.

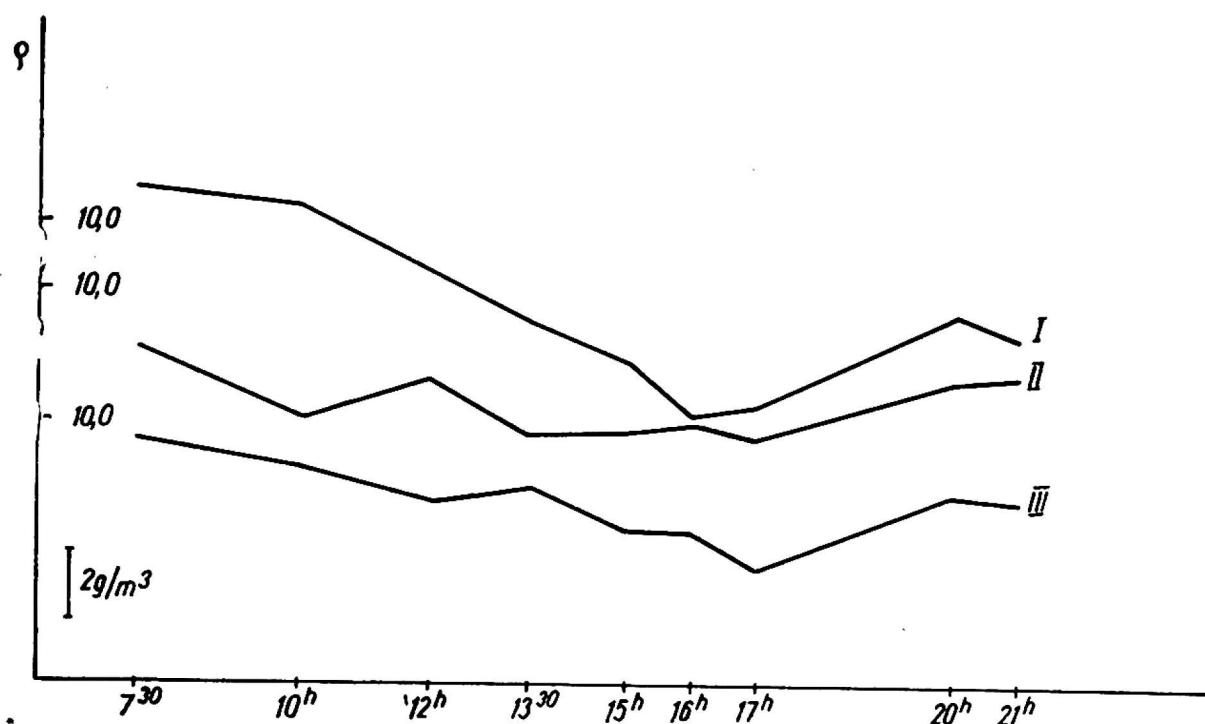


Fig. 2

Przebieg dzienny gęstości pary wodnej przy suchym gruncie (Olszewo, 1963 r.)  
I — 22. VII, II — 23. VII, III — 24. VII

Daily course of density of water vapour, with dry ground (Olszewo, 1963)  
I — on July 22, II — on July 23, III — on July 24

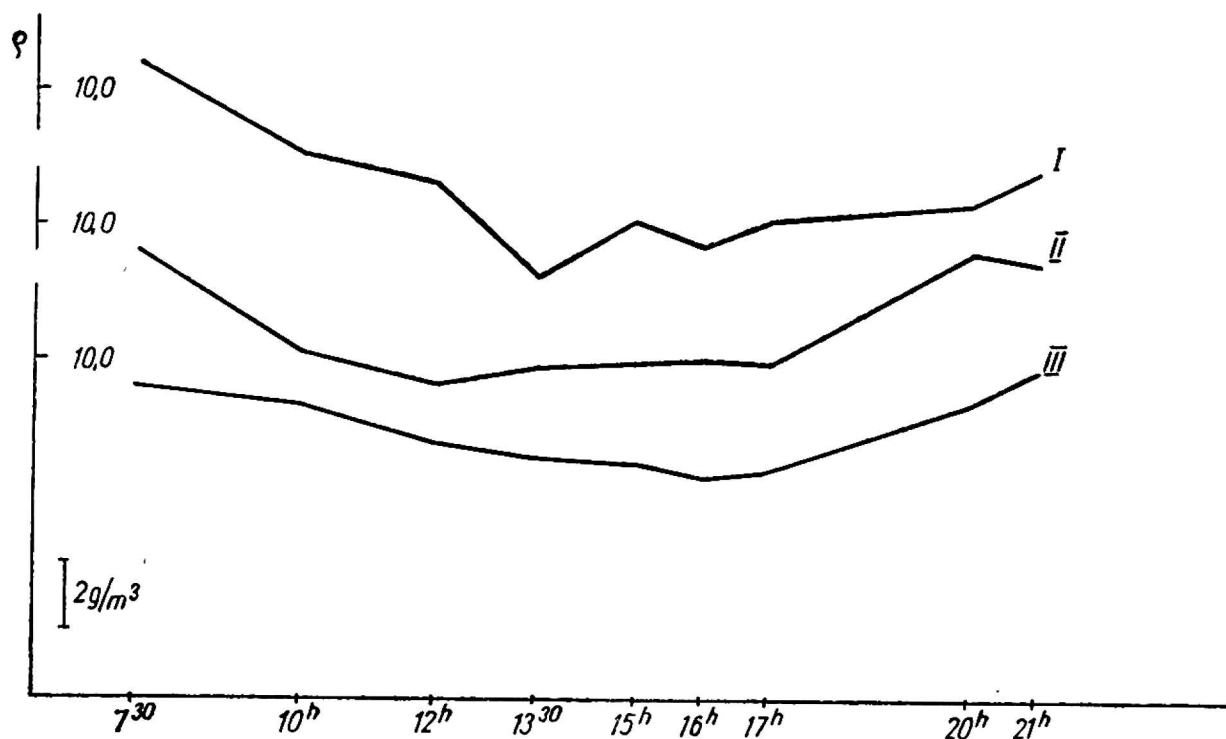


Fig. 3

Przebieg dzienny gęstości pary wodnej przy suchym gruncie (Nowe Guty — 1963) —  
kierunek wiatru od lądu. I — 22. VII, II — 23. VII, III — 24. VII

Daily course of density of water vapour, with dry ground (Nowe Guty — 1963) —  
wind direction away from land. I — on July 22; II — on July 23; III — on July 24

Ponieważ w ciągu tych dni napływ powietrza odbywał się od strony lądu — kierunki SE, SSE i S, wobec tego ilość pary wodnej w powietrzu uwarunkowana była jedynie parowaniem z gruntu. Z fig. 2 widać, że np.

w Olszewie w dn. 22. VII gęstość pary wodnej w ciągu dnia spadła od wartości  $\rho = 10,7 \text{ g/m}^3$  o godz. 7.30 do  $\rho = 4,6 \text{ g/m}^3$  o godz. 13.30.

W godzinach wieczornych o 20.30 gęstość pary wodnej z powrotem wzrosła do wartości  $\rho = 7,8 \text{ g/m}^3$ . Ze względu na to, że w kierunkach SE, S od miejsc obserwacji nie było w pobliżu zbiorników wodnych, podobne wyniki otrzymano również w miejscowości Nowe Guty (w pobliżu jeziora Śniardwy) i na wyspie Szeroki Ostrów na jeziorze Śniardwy.

$$\text{Nowe Guty} \quad \left\{ \begin{array}{l} \max \rho = 11,1 \text{ g/m}^3 \text{ — godz. 7.30} \\ \min \rho = 4,2 \text{ g/m}^3 \text{ — godz. 16.00} \end{array} \right.$$

$$\text{wyspa} \quad \left\{ \begin{array}{l} \max \rho = 11,1 \text{ g/m}^3 \text{ — godz. 7.30} \\ \min \rho = 4,3 \text{ g/m}^3 \text{ — godz. 15.00} \end{array} \right.$$

Należy przypuszczać, że mniejsza gęstość pary wodnej w powietrzu w godzinach wieczornych niż w porannych (fig. 2 i 3) wynikała z różnicy wilgotności podłoża (w tym przypadku z różnicy natężenia rosy). Wyżej omówiony przebieg dzienny gęstości pary wodnej, jak już wspomiano, może zachodzić w przypadkach, kiedy podłoże jest dostatecznie suche, a od strony przeważających wiatrów nie ma w pobliżu zbiorników wodnych. W dniach 22, 23 i 24 lipca występował wyraźny przebieg dobowy temperatury i prędkości wiatru. Stosunkowo duże spadki temperatury oraz małe prędkości wiatru w godzinach nocnych (tabela 1 i 2) sprzyjały skraplaniu się pary wodnej zawartej w powietrzu, która osiadając na powierzchni ziemi była w godzinach porannych źródłem parowania (tabela 1 — dobowe amplitudy temperatury, tabela 2 — prędkość wiatru).

Tabela 1

Data	Olszewo	Nowe Guty	Zdory
22. VII	18,2	18,9	12,0
23. VII	—	20,4	15,9
24. VII	—	20,0	14,6

Tabela 2

Data	Olszewo			Nowe Guty			Zdory		
	730	1330	2030	730	1330	2030	730	1330	2030
22. VII	0,0	1,1	0,0	0,9	1,6	1,1	1,3	1,6	2,5
23. VII	0,7	3,0	0,0	1,0	4,7	1,4	1,9	4,1	1,5
24. VII	1,4	3,8	0,0	1,4	3,7	1,7	3,0	3,1	1,6

Wzrost średniej prędkości wiatru w ciągu dnia był wynikiem intensywnego ruchu turbulencyjnego powietrza, który wystąpił przy stosunkowo wysokich temperaturach. Rozwój ruchów turbulencyjnych w go-

dzinach okołopołudniowych wywołał wzmożone odprowadzanie pary wodnej na większe wysokości nie powodując w tym przypadku wzrostu parowania z gruntu (niewielka zawartość wody w gruncie). W rezultacie nawet przy sprzyjających do parowania warunkach meteorologicznych zawartość pary wodnej w ciągu dnia znacznie spadła. Sytuacja uległa radykalnej zmianie przy wiatrach wiejących od jeziora. Dla scharakteryzowania tej sytuacji na fig. 4 przedstawiono przebieg dzienny gęstości pary

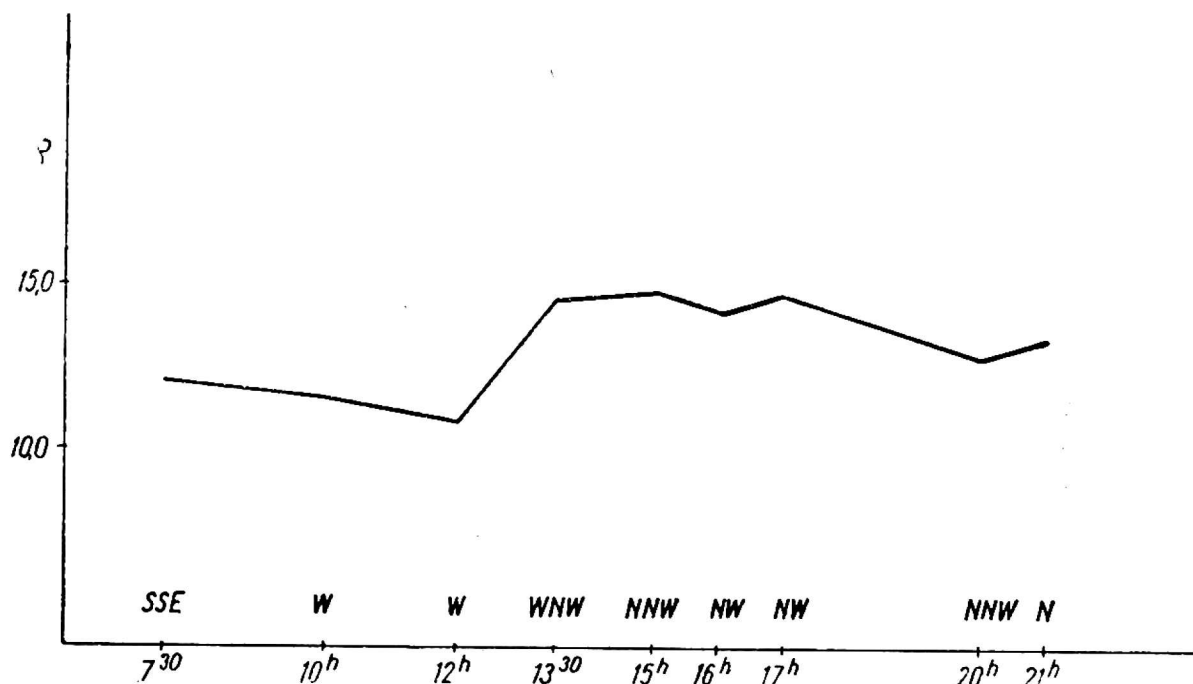


Fig. 4

Przebieg dzienny gęstości pary wodnej przy suchym gruncie (Nowe Guty — 18. VII. 1963 r.) — kierunek wiatru od jeziora

Daily course of density of water vapour, with dry ground (Nowe Guty, 1963) — wind direction away from the lake

wodnej w dniu 18. VII. 1963 r. w Nowych Gutach. Dzień ten niczym więcej się nie różnił od poprzednio omawianych, oprócz kierunku wiatru ( $t_{\max} = 28,4^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{\min} = 12,4^{\circ}\text{C}$ ; prędkość wiatru: godz. 7.30 — 0,6 m/sek., godz. 13.30 — 1,5 m/sek., godz. 20.00 — 1,4 m/sek.). Na podstawie tego przebiegu łatwo stwierdzić wzrost gęstości pary wodnej wraz ze zmianą kierunku wiatru z SSE (od lądu) na W, NW, N (od strony jeziora Śniardwy). Ze względu na małe prędkości wiatru w godzinach 10.00, 12.00 (0,9 m/sek., 1,0 m/sek.) wzrost gęstości pary wodnej wyraźnie uwidocznił się dopiero w godzinach późniejszych — południowych, osiągając wartość  $\rho = 15 \text{ g/m}^3$ <sup>1</sup>. Analizując sytuację przed opadem deszczu i po opadzie (z wyłączeniem sytuacji frontalnych) można również stwierdzić wpływ stanu gruntu na zawartość pary wodnej w powietrzu. Wpływ ten najwyraźniej się uwidacznia w przypadkach nagłych zmian wilgotności

<sup>1</sup> Zagadnienie to omówione zostanie szerzej w dalszej części niniejszej notatki.

gruntu. Takie sytuacje występują zwykle w porze letniej, kiedy po kilku pogodnych dniach (grunt wyschnięty) w godzinach popołudniowych występują burze pochodzenia „termicznego”. W celu bliższego wyjaśnienia wyżej poruszonego zagadnienia w tabelach 3, 4, 5 zestawiono wartości temperatury —  $t$ , gęstości pary wodnej —  $\rho$ , prędkości wiatru —  $v$ , kierunku wiatru i stan gruntu, zmierzone w dniu 30 lipca 1963 r. na wyspie Szeroki Ostrów oraz w miejscowościach Nowe Guty i Olszewo.

Tabela 3

element	730	10h	12h	1330	15h	16h	17h	20h	2030
t	18,2	17,8	22,3	25,5	27,7	24,0	23,2	19,7	20,0
$\rho$	14,3	10,2	11,2	12,4	12,1	12,6	12,7	14,5	15,1
v	2,9	4,1	3,3	2,4	4,7	4,9	5,3	7,1	1,4
fn	N	WNW	WNW	WNW	WNW	WNW	WNW	WNW	NNE
stan gruntu	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Tabela 4

element	730	10h	12h	1330	15h	16h	17h	20h	2030
t	18,7	23,4	25,4	29,3	31,0	25,0	28,3	19,4	18,6
$\rho$	14,3	14,4	13,4	10,8	9,5	13,4	9,3	15,2	14,8
v	2,4	3,5	2,3	2,6	2,8	1,2	2,8	3,3	1,7
fn	NNE	NE	NNE	E	E	E	ENE	NNE	ENE
stan gruntu	0	0	0	0	0	0	0	2	2

Tabela 5

element	730	10h	12h	1330	15h	16h	17h	20h	2030
t	18,1	21,4	23,5	28,3	31,0	24,0	25,1	—	18,1
$\rho$	15,0	14,5	14,5	12,0	9,7	12,8	14,5	—	14,3
v	1,7	0	0	2,1	3,4	1,8	0,0	—	0,0
fn	N	C	C	E	E	SE	C	—	C
stan gruntu	1	0	0	0	0	1	1	1	2

W dniu 30 lipca prawie we wszystkich miejscowościach w pobliżu jeziora Śniardwy wystąpiły bardzo wysokie temperatury (o godzinie 15.00 zanotowano: wyspa Szeroki Ostrów — 27,7°C, Nowe Guty — 31,0°C, Olszewo — 31,0°C), a w godzinach popołudniowych lokalne burze, dając w niektórych miejscowościach obfity opad:

Szeroki Ostrów — ●<sup>1</sup> — 20.00—20.30  
 Nowe Guty — ●<sup>0</sup> — 15.22—15.55; ●<sup>1</sup> — 20.00—20.30  
 Olszewo — ●<sup>1</sup> — 15.35—16.20; ●<sup>0</sup> — 17.20—18.00  
 ●<sup>1</sup> — 20.00—20.30

Na wyspie Szeroki Ostrów opad wystąpił dopiero w godzinach wieczornych. Ze względu jednak na dużą prędkość wiatru od strony jeziora, gęstość pary wodnej w ciągu całego dnia była stosunkowo duża i wahała się wokół wartości 12—13 g/m<sup>3</sup>. Potwierdzeniem tego jest brak korelacji między gęstością pary wodnej a temperaturą gruntu i wyraźna zależność od prędkości wiatru. Mimo niższej temperatury i mniejszej prędkości wiatru, wraz ze zmianą stanu gruntu (deszcz w godzinach 20.00—20.30) gęstość pary wodnej wzrosła do 15 g/m<sup>3</sup>. W Nowych Gutach niewielki i krótkotrwały opad (o natężeniu zero) wystąpił już wcześniej, o godz. 15.22 wywołując wzrost gęstości pary wodnej od 9,5 g/m<sup>3</sup> — godz. 15.00 do 13,4 g/m<sup>3</sup> — godz. 16.00. Ponieważ opad ten był nieduży i ani stan gruntu ani kierunek wiatru nie uległy zmianie (w dalszym ciągu stan gruntu 0, a kierunek wiatru od lądu) wobec tego o godz. 17.00 wystąpił ponowny spadek gęstości pary wodnej do  $\rho = 9,3$  g/m<sup>3</sup>. Dopiero burza, która wystąpiła w godzinach wieczornych, spowodowała ponowny wzrost zawartości pary wodnej w powietrzu do 15 g/m<sup>3</sup> (stan gruntu był równy 2). Podobnie kształtował się przebieg dobowy gęstości pary wodnej w Olszewie, z tym, że obfitszy opad w godzinach 15.35—16.20 (o natężeniu 1) oraz dodatkowy opad w godzinach 17.20—18.00 nie wywołał ponownego spadku o godz. 17.00 (co miało miejsce w Nowych Gutach). W dniu 31 lipca w wyżej wymienionych miejscowościach (ze względu na burzę w godzinach późnowieczornych w dn. 30. VII) prawie przez cały dzień stan gruntu wynosił 2 lub 1, a gęstość pary wodnej utrzymywała się w granicach ok. 14—15 g/m<sup>3</sup>. Ponieważ przebieg temperatury, gęstości pary wodnej, kierunku wiatru itp. były w tym dniu w miejscowościach tych zbliżone do siebie, ograniczono się do zestawienia wartości elementów meteorologicznych zmierzonych w miejscowości Olszewo (najdalej odległej od jeziora Śniardwy) — tabela 6.

Tabela 6

Element	7 <sup>30</sup>	10 <sup>h</sup>	12 <sup>h</sup>	13 <sup>30</sup>	15 <sup>h</sup>	16 <sup>h</sup>	17 <sup>h</sup>	20 <sup>h</sup>	20 <sup>30</sup>
t	20,0	23,0	22,1	23,9	26,6	26,9	25,9	22,8	20,6
$\rho$	14,8	14,8	16,1	14,5	15,5	15,1	14,4	11,6	11,5
$\Phi$	1,2	4,3	3,0	3,1	4,0	4,7	0,0	2,3	0,7
fn	ENE	E	E	E	E	E	C	ESE	ESE
stan gruntu	2	2	2	2	2	1	1	1	1

Biorąc pod uwagę, że w dniu 31. VII ani kierunek wiatru, ani temperatura powietrza nie uległy zmianie, można stwierdzić, że stosunkowo duża gęstość pary wodnej była wynikiem dużej wilgotności gruntu.

Zdarzają się również sytuacje, że tuż po opadzie deszczu zawartość

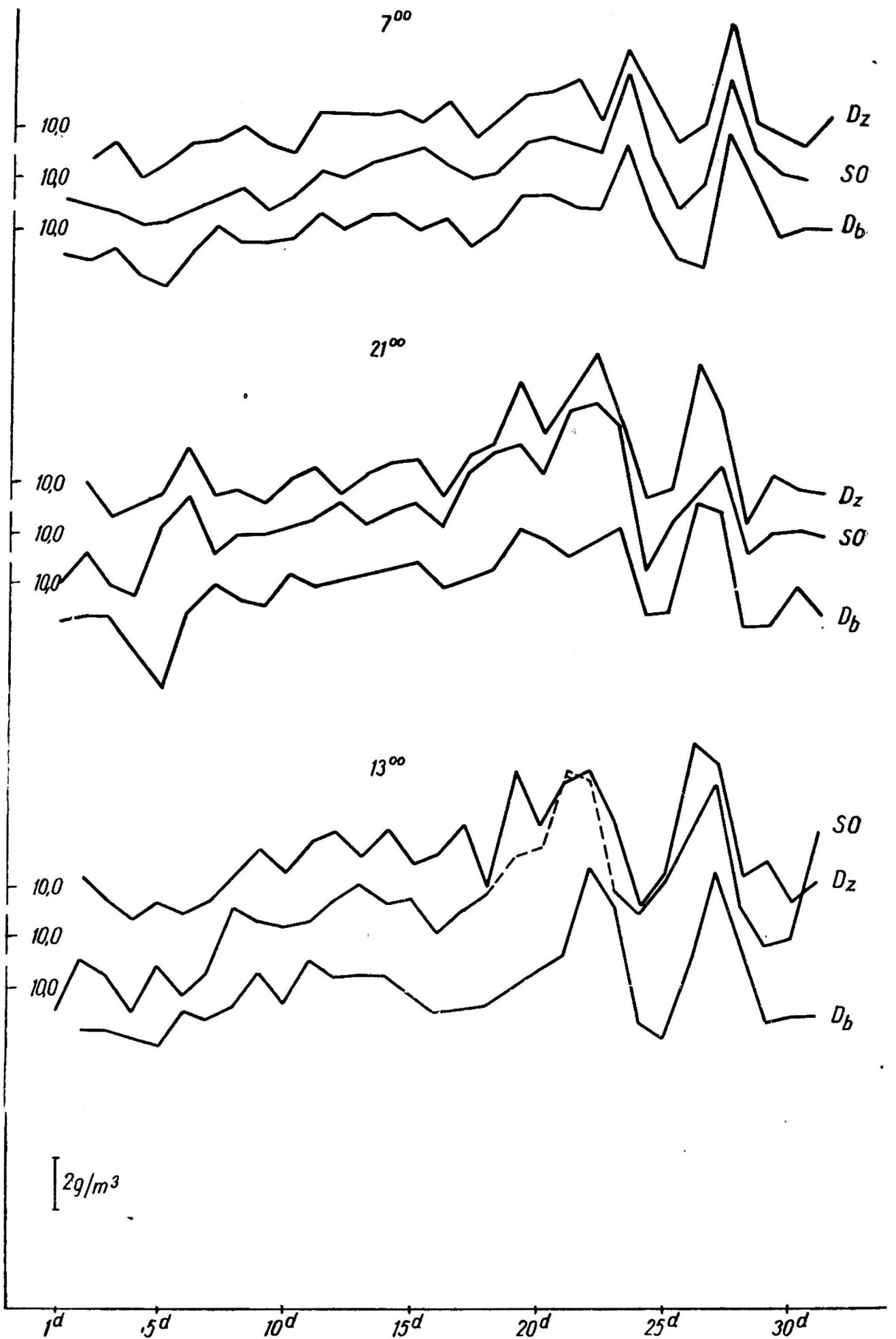


Fig. 5

Przebieg miesięczny gęstości pary wodnej o różnej porze dnia (lipiec 1962 r.). SO — wyspa Szeroki Ostrów, Dz — Dziubiele, Db — Dąbrówka  
 Monthly course of density of water vapour at various times per day (July 1962). SO — Szeroki Ostrów, Dz — Dziubiele, Db — Dąbrówka



pary wodnej w powietrzu zmniejsza się. Wiąże się to najczęściej z przejściem frontu chłodnego w przypadku, kiedy grunt jest dość wilgotny. Przykładem może być dzień 23. VII. 1962 r., kiedy to po deszczu w godzinach przedpołudniowych (10.45) zawartość pary wodnej w powietrzu we wszystkich wziętych pod uwagę miejscowościach zmaląła. Przebieg czasowy temperatury i gęstości pary wodnej w dn. 23. VII. 1962 r. dla wyspy Szeroki Ostrów zestawiono poniżej — tabela 7.

Tabela 7

Element	7 <sup>30</sup>	8 <sup>h</sup>	9 <sup>h</sup>	10 <sup>h</sup>	11 <sup>h</sup>	12 <sup>h</sup>	13 <sup>h</sup>
t	18,7	18,4	18,2	18,7	17,3	16,2	17,2
ρ	13,7	12,5	12,6	12,6	11,7	11,6	10,8

Mimo dużej zawartości wody w podłożu i kierunku wiatru od jeziora gęstość pary wodnej po opadzie zmaląła od wartości  $\rho = 12,6 \text{ g/m}^3$  (godz. 10.00) do  $\rho = 10,8 \text{ g/m}^3$  (godz. 13.00). Należy przypuszczać, że przyczyną tego było mniejsze parowanie związane ze spadkiem temperatury gruntu.

Zależność między ilością pary wodnej w niskiej warstwie powietrza a stanem gruntu (w zestawieniach podano wartości t, zmierzone na wysokości 1,5 m), zaznaczała się w wielu innych dniach lipca 1962 i 1963 r. Często jednak (zwłaszcza przy zmianie kierunku wiatru) trudno było stwierdzić, czy wzrost lub spadek gęstości pary wodnej nastąpił pod wpływem zmiany stanu gruntu, warunków meteorologicznych, czy też był wynikiem wpływu zbiorników wodnych. W powyżej przeprowadzonych rozważaniach wyeliminowano częściowo wpływ zbiorników wodnych poprzez wybór dni o określonych kierunkach wiatru, to znaczy takich, żeby od strony napływającego powietrza nie było w pobliżu zbiorników wodnych. Dla pełnego określenia zawartości pary wodnej w powietrzu w porze letniej (nad wilgotnym gruntem) podano dla niektórych miejscowości miesięczny przebieg gęstości pary wodnej w lipcu 1962 r. (fig. 5).

Powyzsze wykresy przedstawiają miesięczny przebieg gęstości pary wodnej w godzinach 7.00, 13.00, 21.00 na wyspie Szeroki Ostrów (na jeziorze Śniardwy), w miejscowości przybrzeżnej — Dziubiele oraz w miejscowości bardziej odległej od jeziora — Dąbrówce.

Ogólnie można stwierdzić duże podobieństwo między miesięcznym przebiegiem gęstości pary wodnej na wyspie Szeroki Ostrów i w miejscowościach Dziubiele i Dąbrówka zarówno w godzinach rannych jak południowych i wieczornych. Podobieństwo to najwyraźniej występuje między punktami (najbliżej położonymi) wyspą Szeroki Ostrów i Dziubielami.

Na podstawie fig. 5 można stwierdzić, że w lipcu 1962 r. w rozpatrywanych punktach występował stopniowy wzrost ilości pary wodnej w atmosferze, który uwidocznił się we wszystkich 3 terminach (7.00, 13.00, 21.00). Dopiero pod koniec miesiąca wystąpił gwałtowny spadek gęstości pary wodnej, następnie wzrost i później spadek ponowny. Stosunkowo częste opady oraz dość niskie temperatury powietrza były przyczyną, że w ciągu całego miesiąca (lipca 1962 r.) grunt był na ogół wilgotny.

Ze względu na dużą wilgotność podłoża — parowanie z gruntu niewiele różniło się od wielkości parowania z wolnej powierzchni wody. W tej sytuacji kierunek przepływu powietrza (od jeziora czy też od lądu) nie powinien w dużym stopniu wpływać na zawartość pary wodnej w przygruntowej warstwie powietrza. Należało wobec tego oczekiwać, że w przypadku tym ilość pary, jaka znajdowała się w powietrzu, była uwarunkowana temperaturą i prędkością wiatru (elementy determinujące intensywność parowania). Powyższe przypuszczenia potwierdzone zostały podczas szczegółowej analizy współzależności między gęstością pary wodnej a temperaturą, prędkością wiatru i jego kierunkiem.

Na podstawie miesięcznej serii pomiarów wyżej wymienionych elementów meteorologicznych (całodobowych) wykonanych w punktach: wyspa Szeroki Ostrów, Dziubiele, Dąbrówka, stwierdzono najbardziej wyraźną zależność gęstości pary wodnej od temperatury powietrza (temperatury gruntu nie mierzono we wszystkich punktach).

Korzystając z podobieństwa między miesięcznymi przebiegami gęstości pary wodnej we wszystkich miejscowościach ograniczono się jedynie do przedstawienia tej zależności na przykładzie Dąbrówki (najbardziej odległej od jeziora Śniardwy) (fig. 6).

Z powyższych wykresów widać, że zależność pomiędzy wielkościami  $\rho$  i  $t$  występuje we wszystkich 3 terminach, z tym, że na ogół większym przyrostom temperatury odpowiadają większe przyrosty gęstości pary wodnej i odwrotnie. Przypadki, w których zależność ta nie wystąpiła najprawdopodobniej były wynikiem wpływu innych elementów meteorologicznych, takich jak prędkość wiatru i jego kierunek, różnice w wilgotności gruntu (dzień z opadem lub bez opadu, jego wielkość itp.) oraz wynikiem wpływu innych trudnych do uwzględnienia czynników.

## WPLYW ZBIORNIKÓW WODNYCH NA GĘSTOŚĆ PARY WODNEJ

### 1. Zależność gęstości pary wodnej od kierunku wiatru

Uwzględniając powyżej otrzymane wyniki, stwierdzające zacieranie się przy gruncie wilgotnym (lipiec 1962) wpływu zbiorników wodnych (jezior) na zawartość pary wodnej w powietrzu, w dalszej analizie tego zagadnienia ograniczono się do danych obserwacyjnych z lipca 1963 r.

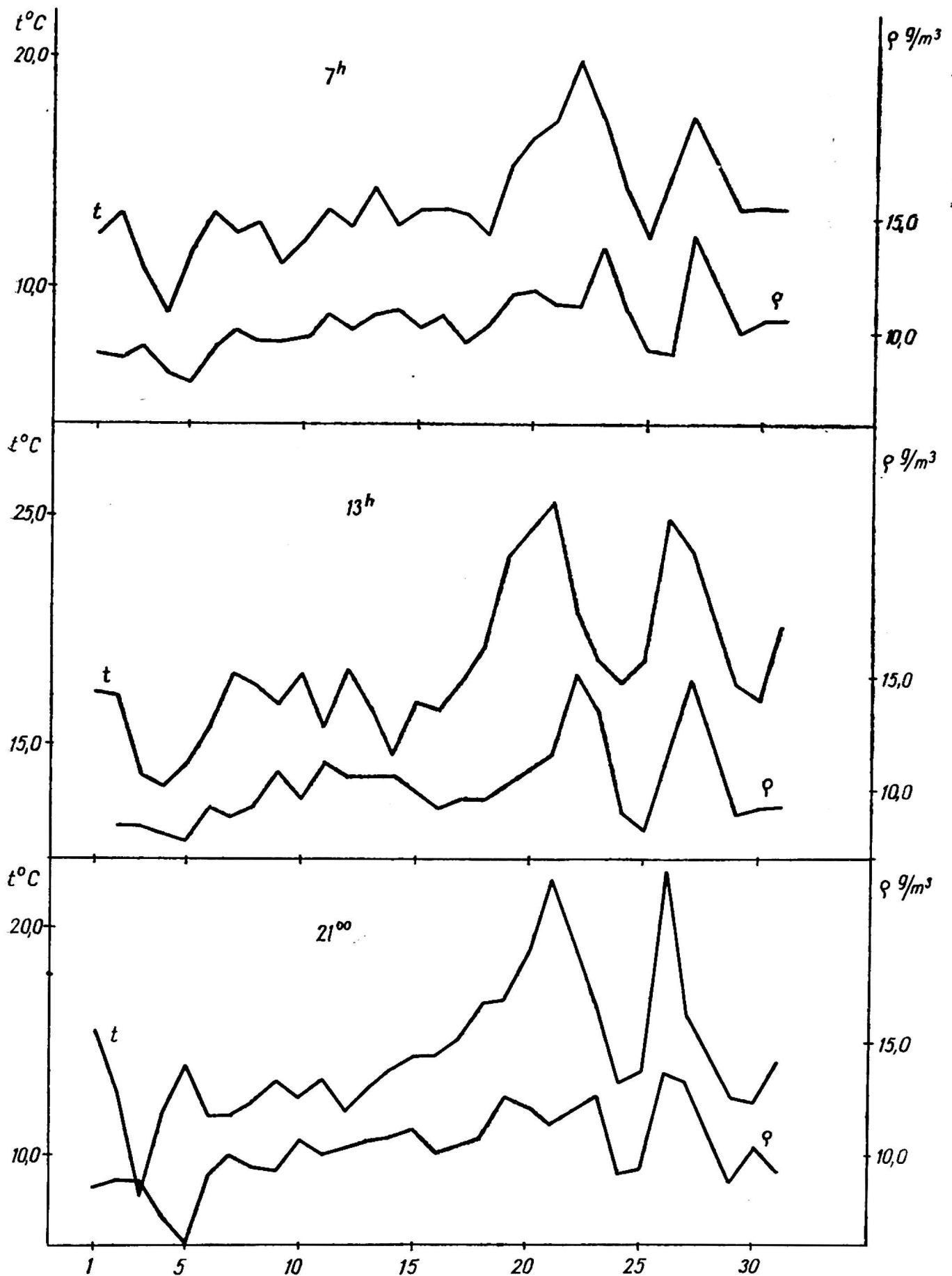


Fig. 6

Przebieg miesięczny temperatury powietrza i gęstości pary wodnej o różnej porze dnia  
(lipiec 1962 r. — Dąbrówka)

Monthly course of air temperature and density of water vapour at various times  
per day (July 1962, at Dąbrówka)

Niewielka ilość dni z opadem (ok. 6 dni z małym opadem) w tym miesiącu oraz wysokie temperatury sięgające ponad 30°C spowodowały, że grunt był wyjątkowo suchy. Bliższą charakterystykę stanu gruntu w lipcu 1963 r. przedstawiono za pomocą tabeli 8.

Tabela 8

miejscowość	stan gruntu		
	0	1	2
Zdory	263	16	0
Nowe Guty	266	12	1
Olszewo	235	35	9

Z powyższej tabeli wyraźnie widać, że spośród około 280 pomiarów przeprowadzonych w lipcu 1963 r. w każdej miejscowości (o różnej porze dnia) zaledwie kilkanaście lub kilkadziesiąt wykonanych było przy stanie gruntu 1, a kilka lub nic przy stanie gruntu 2. Analizując w podobny jak poprzednio sposób współzależność między gęstością pary wodnej, temperaturą powietrza, prędkością wiatru i jego kierunkiem w lipcu 1963 r. stwierdzono wyraźną zależność zawartości pary wodnej w powietrzu od kierunku wiatru. Miesięczny przebieg gęstości pary wodnej w godzinach 7.30, 13.30, 20.30 dla wyspy Szeroki Ostrów, miejscowości przybrzeżnej Nowe Guty i najdalej odległej od jeziora Śniardwy miejscowości Olszewo przedstawiono na fig. 7, 8 i 9.

Na podstawie powyższych wykresów można stwierdzić, że największe zróżnicowanie między poszczególnymi dniami występuje w godzinach południowych i wieczornych, najmniejsze zaś w godzinach rannych. Poza tym, w każdym z terminów widoczne jest podobieństwo między przebiegami miesięcznymi gęstości pary wodnej w podanych powyżej miejscowościach. Zarówno najwyższe jak i najniższe gęstości pary wodnej występowały w godzinach południowych i o godz. 13.30 wynosiły: wyspa Szeroki Ostrów —  $\max \rho = 14,4 \text{ g/m}^3$ ,  $\min \rho = 6,0 \text{ g/m}^3$ ; Nowe Guty —  $\max \rho = 14,3 \text{ g/m}^3$ ,  $\min \rho = 5,4 \text{ g/m}^3$ ; Olszewo —  $\max \rho = 14,3 \text{ g/m}^3$ ,  $\min \rho = 4,6 \text{ g/m}^3$ . Analizując szczegółowo te dni, w których wystąpiły wartości ekstremalne (wzięto pod uwagę również ekstrema lokalne) okazuje się, że wartości maksymalne występowały przy kierunku wiatru od jeziora, bądź też niezależnie od jego kierunku, przy wilgotnym gruncie, minimalne zaś przy wietrze od lądu. Minimum główne wystąpiło we wszystkich miejscowościach przy kierunkach wiatru SSE, SE, E. Na uwagę zasługuje wyraźna zgodność między przebiegiem gęstości pary wodnej w tych miejscowościach, wynikająca z samego położenia punktów obserwacyjnych: wyspa Szeroki Ostrów, Nowe Guty, Olszewo — od strony SE, E nie ma w pobliżu

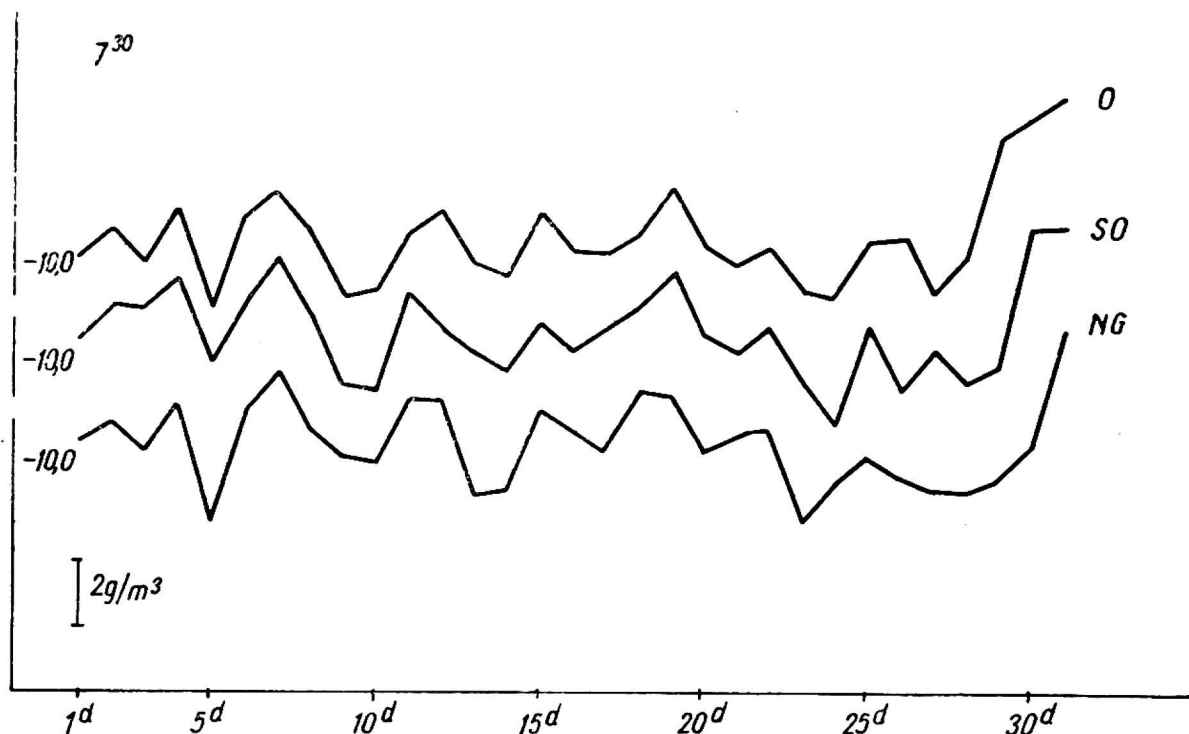


Fig. 7

Przebieg miesięczny gęstości pary wodnej w godzinach porannych (lipiec 1963 r.) — SO — wyspa Szeroki Ostrów, NG — Nowe Guty, O — Olszewo  
 Monthly course of density of water vapour during morning hours (July 1963) — SO — Szeroki Ostrów island, NG — Nowe Guty, O — Olszewo

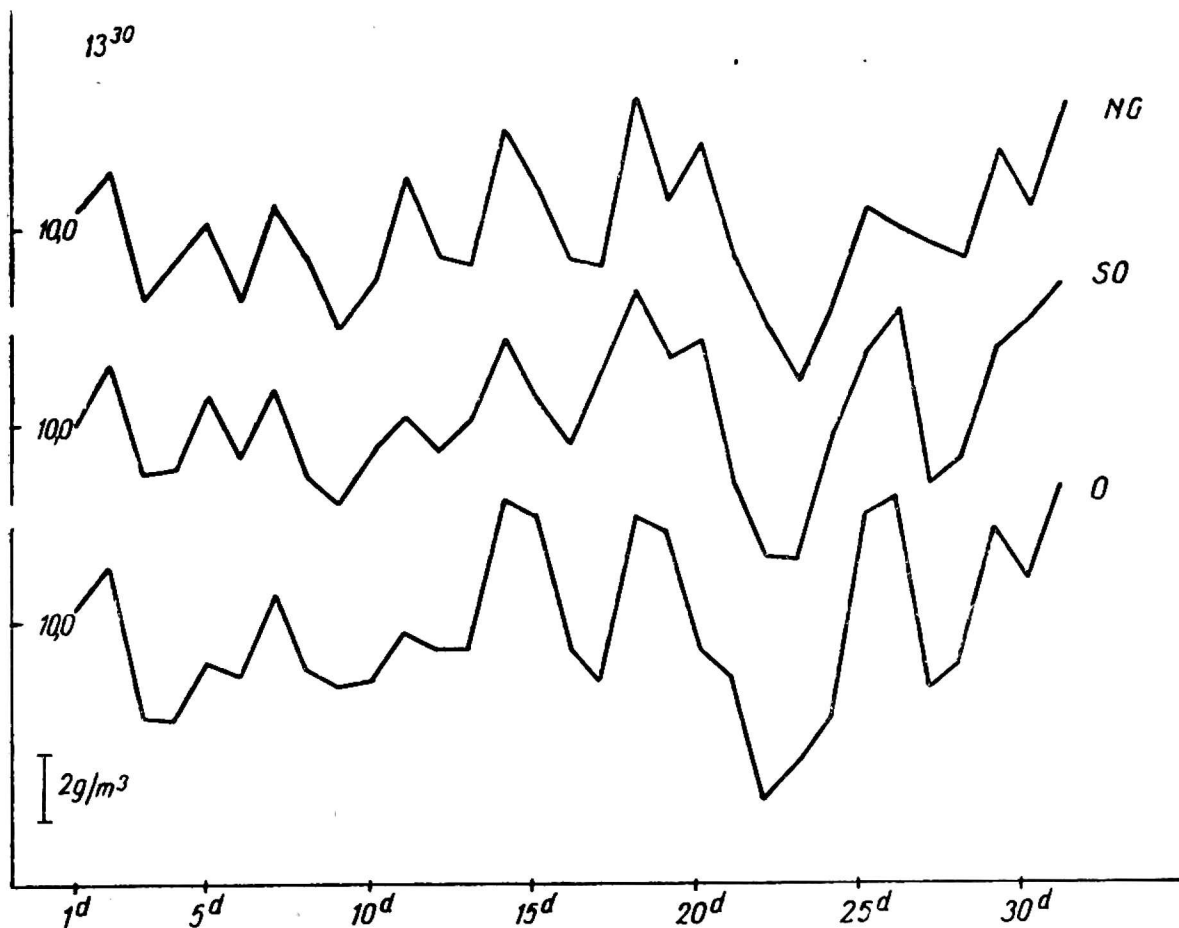


Fig. 8

Przebieg miesięczny gęstości pary wodnej w godzinach południowych (lipiec 1963 r.).  
 Uwaga. Oznaczenia jak na fig. 7  
 Monthly course of density of water vapour during midday hours (July 1963). Note: markings as for Fig. 7

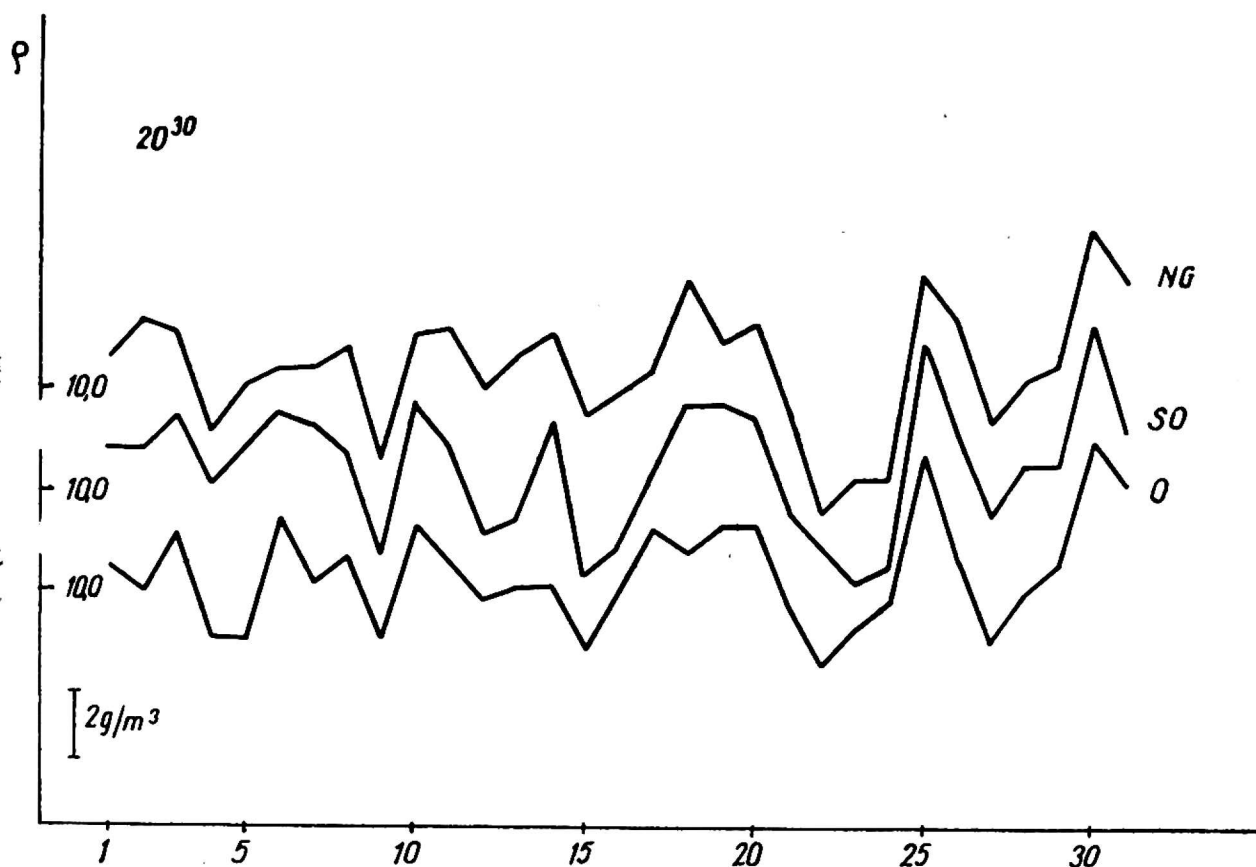


Fig. 9

Przebieg miesięczny gęstości pary wodnej w godzinach wieczornych (lipiec 1963 r.).

Uwaga. Oznaczenia jak na fig. 7

Monthly course of density of water vapour during evening (July 1963). Note: markings as for Fig. 7

zbiorników wodnych, od północy zaś i od zachodu każdej z nich znajduje się jezioro (Nowe Guty — jezioro Śniardwy, Olszewo — jezioro Szymonki) i bagna<sup>1</sup>. Usytuowanie miejscowości względem zbiorników wodnych oraz mała odległość między nimi (opady występowały w tym samym czasie) były przyczyną, że maksima lokalne w przebiegu miesięcznym gęstości pary wodnej przypadają na te same dni.

W dalszej części niniejszego opracowania zbadano w jakim stopniu wpływają zbiorniki wodne na zawartość pary wodnej w powietrzu w porze letniej. W tym celu wyeliminowano wszystkie pomiary wykonane przy gruncie wilgotnym, a uwzględniono jedynie przypadki ze stanem gruntu 0. Na podstawie ok. 250 pomiarów wykonanych w każdej z miejscowości znaleziono zależność gęstości pary wodnej, temperatury i prędkości wiatru od jego kierunku (fig. 10, 11 i 12).

Ze względu na pewne osobliwości tych krzywych, każdą z miejscowości przeanalizujemy oddzielnie. Wpływ jeziora Śniardwy na zawartość pary wodnej w powietrzu najwyraźniej zaznacza się w miejscowości przybrzeżnej Nowe Guty. Przy kierunkach wiatru SE — S (od lądu) mimo prze-

<sup>1</sup> Od południowo-wschodniej strony wyspy Szeroki Ostrów odległość od lądu jest najmniejsza.

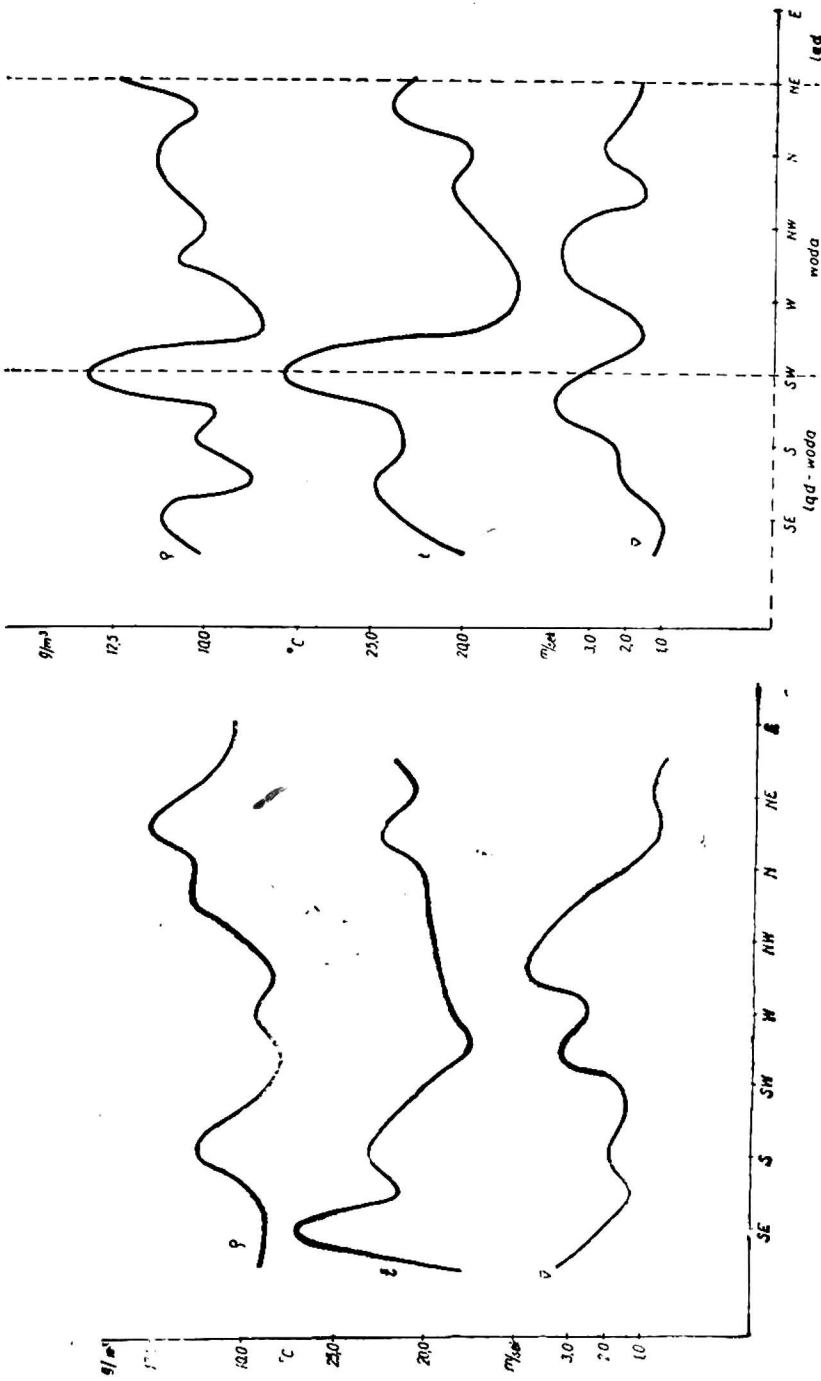


Fig. 10

Zależność gęstości pary wodnej, temperatury powietrza i prędkości wiatru od jego kierunku na brzegu jeziora (Nowe Guty, 1963)

Dependence of density of water vapour, air temperature and wind velocity on wind direction at lake shore (Nowe Guty 1963)

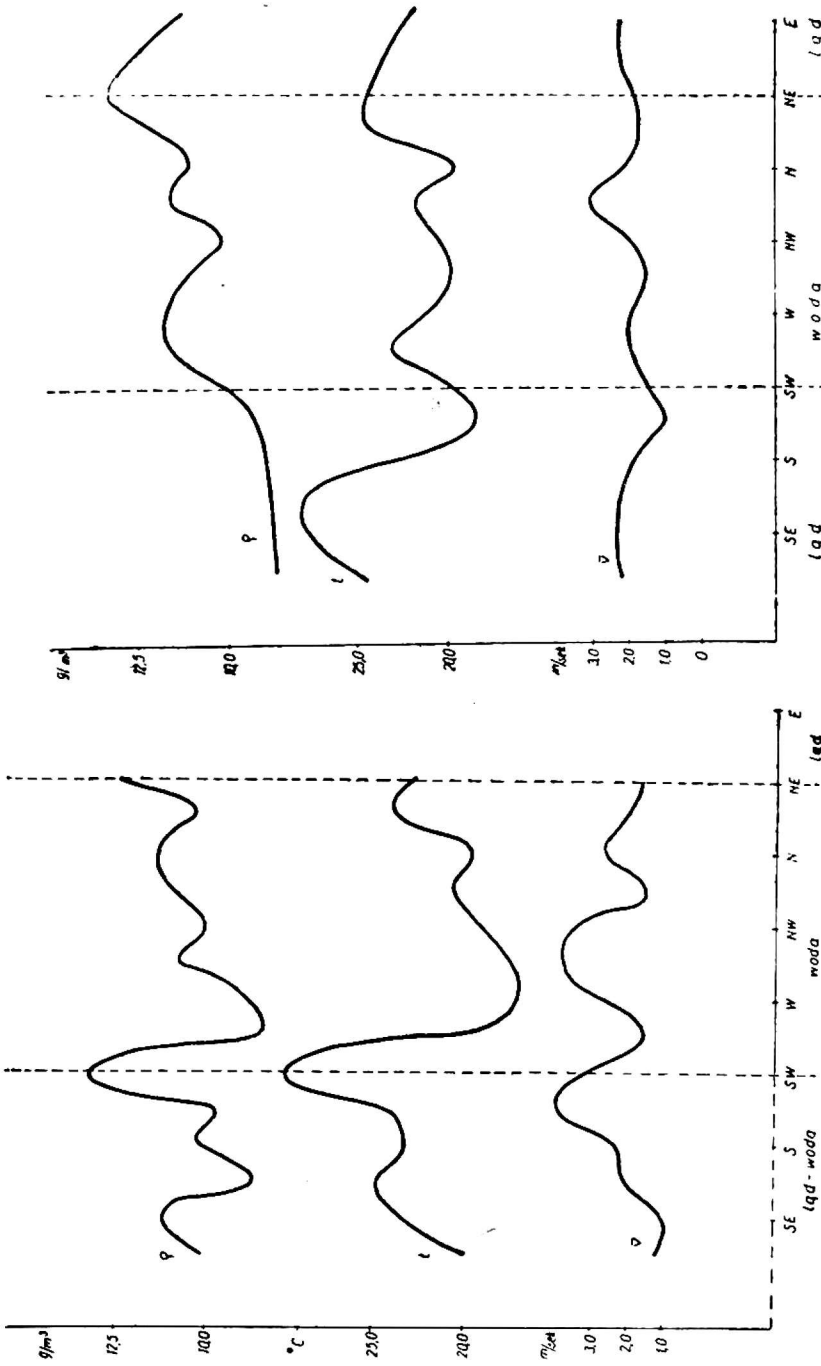


Fig. 11

Zależność gęstości pary wodnej, temperatury powietrza i prędkości wiatru od jego kierunku na wyspie Szeroki Ostrów (rok 1963)

Dependence of density of water vapour, air temperature and wind velocity on wind direction on Szeroki Ostrów (1963)

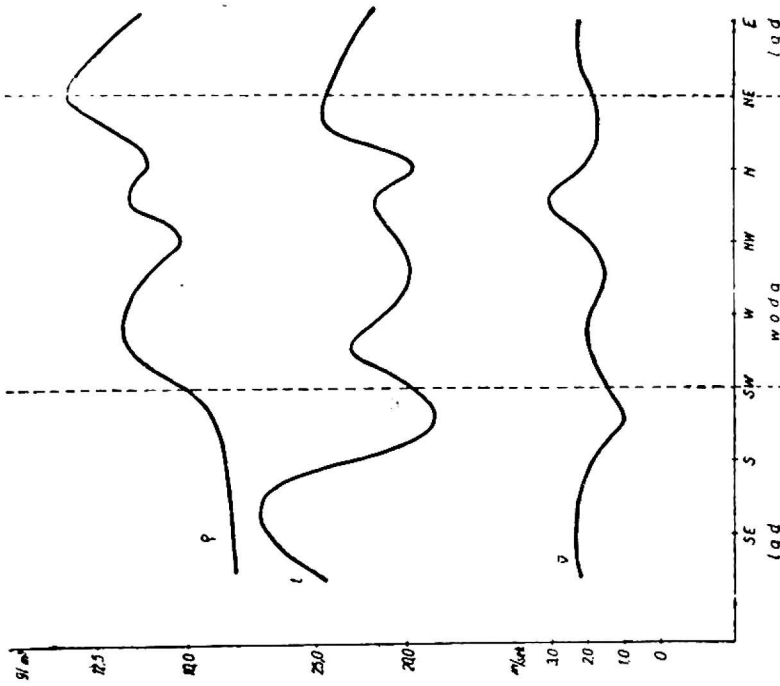


Fig. 12

Zależność gęstości pary wodnej, temperatury powietrza i prędkości wiatru od jego kierunku w punkcie najdalszym od jez. Sniardwy (Olszewo, 1963)

Dependence of density of water vapour, air temperature and wind velocity on wind direction at locality farthest distant from Sniardwy Lake (Olszewo, 1963)

ciężkiej (dla lipca) prędkości wiatru oraz bardzo wysokich temperatur — około  $28^{\circ}\text{C}$ , gęstość pary wodnej wyniosła zaledwie  $8\text{ g/m}^3$ . Przy kierunkach wiatru na pograniczu lądu i wody mimo spadku prędkości o  $2\text{ m/sek}$ . i spadku temperatury o ok.  $10^{\circ}\text{C}$  gęstość pary wodnej wzrosła. Przy kierunkach od jeziora widoczna jest wyraźna zależność gęstości pary wodnej od prędkości wiatru i temperatury powietrza: wzrostem prędkości wiatru i temperatury odpowiada wzrost gęstości pary wodnej i odwrotnie. Następnie dla kierunków od lądu NE — E obserwuje się ponowny spadek gęstości pary wodnej. Największe gęstości pary wodnej występowały przy kierunkach wiatru NE wzdłuż brzegu jeziora i średnio wyniosły  $13,3\text{ g/m}^3$ . Na fig. 11 — wyspa Szeroki Ostrów, zaobserwować można również, że największa gęstość pary wodnej występuje przy kierunkach wiatru wzdłuż brzegów jeziora — SW i NE. Maksimum główne przypada na kierunek SW i pokrywa się z maksimum głównym temperatury i prędkości wiatru. Przy kierunkach wiatru od jeziora z dużym spadkiem temperatury — o  $13^{\circ}\text{C}$  i prędkości wiatru o  $2,5\text{ m/sek}$ . — gęstość pary wodnej jest mała (kierunek WSW — W) i wynosi zaledwie  $8,5\text{ g/m}^3$ . Wzrost prędkości wiatru z  $1,5\text{ m/sek}$ . do  $4\text{ m/sek}$ . przy kierunku W — NW uwidacznia się w przebiegu gęstości pary wodnej w postaci niewielkiego maksimum lokalnego. Przy wiatrach WNW, N, NNE kierunek zmian temperatury powietrza i prędkości wiatru jest przeciwny, w wyniku czego obserwuje się niewielkie wahania gęstości pary wodnej. Jak już wspomniano, zawartość pary wodnej w powietrzu była największa przy wiatrach wiejących od jeziora z kierunków bliskich granicy woda — ląd. Przyczyną tego może być większe parowanie wody przy brzegu jeziora, wynikające z większego nagrzania stosunkowo płytkiej warstwy wody oraz wzmożonej pionowej turbulencyjnej wymiany powietrza (przy brzegu jeziora występuje większy udział wymieszania mechanicznego).

W miejscowości najdalej położonej od jeziora Śniardwy, w Olszewie, występują w zasadzie dwa maksima lokalne gęstości pary wodnej  $\varrho^1_{\text{max}} = 11,3\text{ g/m}^3$  oraz  $\varrho^2_{\text{max}} = 12,6\text{ g/m}^3$ . Pierwsze występuje przy kierunkach wiatru S — SSW, drugie zaś przy N — NE. Biorąc pod uwagę, że na północ od Olszewa znajduje się jezioro Szymonki (odległe ok.  $4\text{ km}$ ) oraz bagna od południa zaś jezioro Śniardwy (o odległości ok.  $8\text{ km}$ ) można przypuszczać, że maksima te są wynikiem głęboko sięgającego wpływu jezior. Pewnym potwierdzeniem tego może być szereg prawidłowości, które tu występują. Z fig. 12 widać, że zarówno przy kierunkach S jak i N występowały bardzo małe prędkości wiatru (średnio ok.  $1,5$  i ok.  $0,5$ ) oraz stosunkowo wysokie temperatury powietrza (średnio ok.  $23^{\circ}\text{C}$  i ok.  $22^{\circ}\text{C}$ ). Przy wysokiej temperaturze powietrza (wody również) mimo małej prędkości wiatru, gęstość pary wodnej nad zbiornikami wodnymi jest duża. Z drugiej zaś strony, przy małych prędkościach wiatru (ze względu na



niewielką pionową i boczną wymianę turbulencyjną powietrza) para wodna przenoszona jest zgodnie z kierunkiem przepływu powietrza na dalekie odległości. W ten sposób przy małych prędkościach wiatru i wysokich temperaturach powietrza, nawet na stosunkowo dużych odległościach od zbiorników wodnych (zgodnie z kierunkiem wiatru) można się spodziewać większej gęstości pary wodnej w powietrzu. Mniejsza wartość maksimum lokalnego przy kierunku S niż przy N może wynikać z różnicy w odległościach miejscowości Olszewo od jeziora Śniardwy i od jeziora Szymonki.

## 2. Bryza jeziorna

W dni pogodne przy znacznej różnicy temperatur wody i lądu i przy małych prędkościach wiatru (niewielki turbulencyjny ruch powietrza) może wystąpić stosunkowo duży poziomy gradient temperatury. Kierunek tego gradientu zależy od pory doby — w godzinach dziennych skierowany jest w stronę lądu, w nocnych zaś w stronę wody (jeziora). Ponieważ największe zróżnicowanie temperatur między lądem i wodą występuje w godzinach popołudniowych oraz wczesnorannych, wobec tego w godzinach tych powinno się obserwować najintensywniejszy przepływ powietrza, wynikający z gradientu gęstości. Najbardziej sprzyjające warunki do wystąpienia bryzy jeziornej w naszych warunkach klimatycznych występują w porach przejściowych — na wiosnę i jesienią. Z obserwacji elementów meteorologicznych przeprowadzonych w okolicy jeziora Śniardwy wynika, że bryza jeziora występuje również w niektóre dni w ciągu lata. Ze względu na brak dokładnego zapisu kierunków wiatru (kierunek wiatru mierzony był metodami wizualnymi) ograniczono się jedynie do podania przykładu wystąpienia bryzy jeziornej w porze letniej. Spośród kilku dni (lipca i sierpnia 1963 r.), które „podejrzewano” o wystąpienie bryzy jeziornej (przeważające kierunki wiatru w południe — od jeziora, w nocy — od lądu) wybrano jeden przypadek (21. VII. 1962 r.), kiedy wystąpienie bryzy jeziornej odbiło się wyraźnie na przebiegu dobowym innych elementów meteorologicznych. Przebieg kierunków wiatru w tym dniu zestawiono w tabeli 9.

Z tabeli widoczne jest, że w godzinach okołopołudniowych, zarówno na wyspie jak i przy brzegu jeziora Śniardwy (Dziubiele), kierunek wiatru uległ zmianie. Na przykład na wyspie Szeroki Ostrów w godzinach wczesnorannych występowały kierunki od lądu (SSE, S), w południe od jeziora (NNE, N) i w godzinach wieczornych od lądu. Identyczne zmiany kierunku wiatru zanotowano we wszystkich punktach obserwacyjnych znajdujących się na wyspie. Należy podkreślić również, że w kierunkach NE, NNE, N jezioro jest najszersze.

Zupełnie odmienny przebieg dobowy kierunku wiatru notowano w miejscowości przybrzeżnej jeziora Śniardwy — Dziubiele. Zmiany kie-

Tabela 9

godz.	wyspa Szeroki Ostrów			brzeg Dziubiele		Dąbrówka
	Baza	Punkt II	Punkt V	Baza	Punkt II	Baza
1	S	C	C	C	C	C
2	S	C	C	C	SE	C
3	S	C	C	E	SW	S
4	SSE	SSE	SW	E	SW	S
5	SSE	SSE	SSW	SE	SW	C
6	SSE	C	C	SSE	SW	S
7	SSE	C	SSW	SE	SW	C
8	SSE	C	SSW	SE	SW	S
9	S	C	NE	SE	SW	S
10	NE	C	C	S	SSW	—
11	NNE	NE	C	S	SSW	—
12	N	NE	N	S	SSW	C
13	NNE	NE	NE	S	S	C
14	NNE	NE	NNE	SE	SE	S
15	NNE	NE	NE	S	S	S
16	SSE	NE	SSE	S	SSE	S
17	S	S	SSE	S	S	SW
18	SSE	SW	NE	S	S	SSE
19	SSE	S	SSE	S	S	SSE
20	SSE	SW	SSE	SE	SE	C
21	S	SW	SSE	SSE	SSE	SSE
22	S	SW	C	SSE	S	SSE
23	SE	SSE	SE	SSE	S	SSE
24	SE	S	SE	SSE	S	SSE

runku wiatru najwyraźniej się uwidoczniły w miejscu obserwacyjnym — bazie, położonej kilkaset metrów od brzegu jeziora. W godzinach porannych i wieczornych zanotowano takie same kierunki wiatru jak i na wyspie Szeroki Ostrów, w południe zaś kierunki przeciwne niż na wyspie — S, SSE, to znaczy, również od jeziora. W tym samym dniu w miejscowości najdalej odległej od jeziora — Dąbrówce nie wystąpiły wyraźne zmiany kierunku wiatru. Potwierdzeniem wystąpienia bryzy jeziornej w dniu 21 lipca 1962 r. jest przebieg dobowy takich elementów meteorologicznych, jak gęstość pary wodnej, temperatura i wilgotność względna powietrza. Przebieg dobowy wyżej wymienionych elementów dla miejscowości przybrzeżnej — Dziubiele (baza) oraz dalej położonej również na północ miejscowości — Dąbrówka przedstawiono na fig. 13.

Z wykresów powyższych widać, że przy brzegu jeziora w godzinach 11.00—19.00, tzn. w tych samych, kiedy wiatr wiał od jeziora, zarówno temperatura powietrza, jak i jego wilgotność względna nie ulegały zmianie ( $t \approx \text{const}$ ,  $f \approx \text{const}$ ). W dalszej — z odległości od jeziora (również na północ) w tym samym czasie obserwowano wyraźny wzrost temperatury i spadek wilgotności względnej. Wartość maksymalna temperatury i mini-

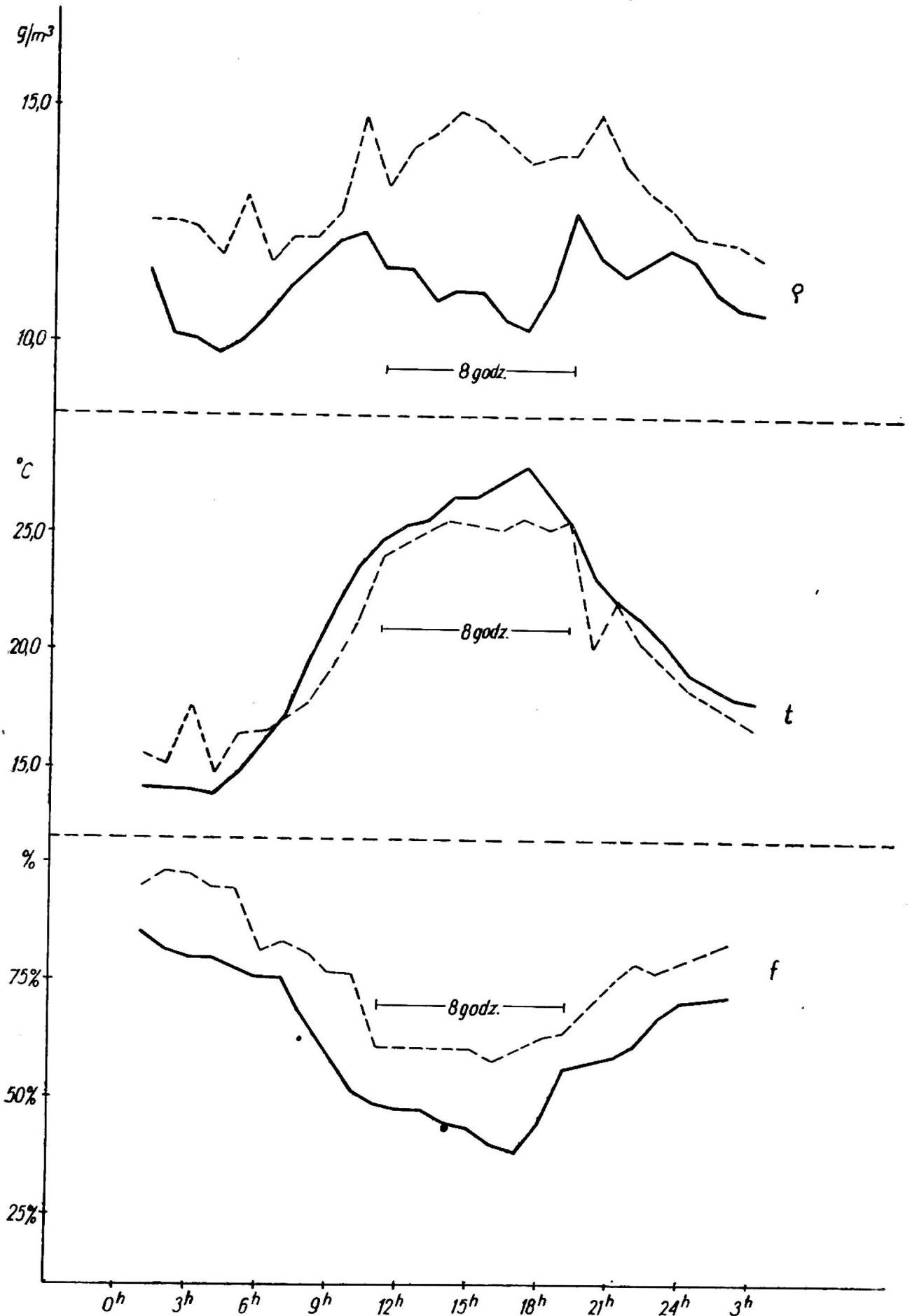


Fig. 13

Przebieg dobowy elementów meteorologicznych w czasie wystąpienia bryzy jeziornej 21. VII. 1962). — Dąbrówka, - - - - Dziubiele

Diurnal course of meteorological elements during occurrence of lake breeze (July 21, 1962). — Dąbrówka, - - - - Dziubiele

malna wilgotności względnej wystąpiła w tym samym czasie o godz. 17.00 ( $t_{\max} = 28^{\circ}\text{C}$ ,  $f_{\min} = 40\%$ ). Maksymalna temperatura powietrza w Dąbrówce w porównaniu z Dziubielami była o  $2^{\circ}\text{C}$  wyższa, wilgotność zaś względna o 20% niższa. Wystąpienie bryzy jeziornej w godzinach okołopołudniowych odbiło się wyraźnie w przebiegu gęstości pary wodnej. W Dąbrówce ze względu na niewielkie parowanie z gruntu (grunt wyschnięty), zawartość pary wodnej w powietrzu w ciągu dnia znacznie się zmniejszyła osiągając najmniejszą wartość o godzinie 17.00 równą  $10,5 \text{ g/m}^3$ . W pobliżu zaś jeziora (Dziubiele), w związku z napływem powietrza znad jeziora Śniardwy, w godzinach okołopołudniowych, gęstość pary wodnej była o wiele większa i wynosiła o godz. 14.00 —  $15 \text{ g/m}^3$  godz. 17.00 —  $14 \text{ g/m}^3$ . Na zakończenie można jeszcze dodać, że w dniach 20 i 21 lipca 1962 r. we wszystkich powyżej uwzględnionych miejscowościach wystąpiły najwyższe temperatury powietrza (wyspa Szeroki Ostrów, na wys. 5 cm o godz. 13.00 —  $t = 29,5^{\circ}\text{C}$ ).

Ze względu na skromny materiał obserwacyjny, ograniczono się w niniejszej notatce jedynie do ogólnego omówienia (na przypadkach szczególnych) wpływu wilgotności gruntu i zbiorników wodnych na zawartość pary wodnej w powietrzu oraz zwrócono uwagę na występowanie bryzy jeziornej w porze letniej. Ustawienie czułych anemografów oraz termohygrografów wokół stosunkowo dużego jeziora Śniardwy umożliwiłoby stwierdzenie częstości oraz warunków meteorologicznych występowania bryzy jeziornej. Z powodu jednak braku takich przyrządów trzeba było się ograniczyć do metod wizualnych pomiaru kierunków wiatru nie pozwalających na przeprowadzenie tego rodzaju analizy.

#### S U M M A R Y

In consideration of the fact, that the effect of humidity of ground and of water basins on the content of water vapour in the air is highest in summer, the present paper was prepared on the basis of observations made in two radically different summer seasons, in July 1962 and 1963. With selected days as example, the author analyzed the daily course of density of water vapour in the air in instances, when the ground was dry and when it was wet.

With dry ground, the density of water vapour during the day — even under meteorological conditions favourable to vapour formation (temperatures of  $30^{\circ}\text{C}$  or so) due to little moisture in the ground — may drop from  $11 \text{ g/cu. m}$  (morning hours) to about  $4 \text{ g/cu. m}$  (afternoon hours), assuming that the density of water vapour in the morning hours exceeds the density in the evening hours. Decisive is here the intensity of condensation of water vapour in the early hours of the day (the dew intensity). With wet ground the density of water vapour is increased, in conformity with the increase in temperature and in wind velocity during the day. In order to determine the effect of water basins on the density of water vapour within the lake surroundings, there were chosen, as stations of observation, the Szeroki Ostrów

island (in Śniardwy Lake) and shore localities like Nowe Guty (close to the lake) and Olszewo (at several kilometers' distance from the lake).

Because with wet ground the effect under discussion becomes obscured (there is no difference in the rate of evaporation from ground surface and from water surface), the author took into consideration merely measurements made above dry ground (ground humidity = 0). From about 750 measurements made in the above manner the author found the dependence of the density of water vapour, air temperature and wind velocity on wind direction. The influence of Śniardwy Lake on the content of water vapour in the air appears most distinctly at the Nowe Guty shore station. With wind directions away from land, and in spite of the mean July wind velocity and very high air temperatures — some  $28^{\circ}\text{C}$  —, the mean density of water vapour was 8 g/cu. m.

With wind directions parallel with the lake shore, in spite of the wind velocity dropping 2 m per second and a temperature drop of  $10^{\circ}$ , the density of water vapour proved to be higher. Highest was the density of water vapour with wind directions parallel with the lake shore, amounting to about 13,5 g/cu. m on the average. Distinctly noticeable was also the marked influence of Śniardwy Lake on the content of water vapour at Olszewo, the station farthest distant to the north from this lake.

On Szeroki Ostrów island and at the Dziubiele shore station (on the northern shore of Śniardwy Lake) the author noticed the occurrence of a lake breeze, observed both in the diurnal course of wind directions and in the run of temperature, relative humidity and density of water vapour. Thus, for instance: on July 21, 1962, in the period from 11 a. m. to 7 p. m. there was observed, far away from the lake, at Dąbrówka, a distinct rise in temperature and a drop in relative humidity and density of water vapour (with dry ground), showing:  $t_{\max} = 28^{\circ}\text{C}$ ,  $f_{\min} = 40\%$ ,  $Q_{\min} = 10,5$  g/cu. m, while at the lake shore, at Dziubiele, both temperature and relative humidity did not change:  $t \approx \text{const.}$ ,  $f \approx \text{const.}$ , and only the density of water vapour rose to about 14—15 g/cu. m.

