

JERZY ONOSZKO  
ALBERT MIKOTEIT  
MARIA WIEJACHA

Université Technique de Gdańsk  
Institut d'Hydrotechnique — Gdańsk

## CARACTÉRISTIQUES STATISTIQUES DE LA HOULE DU VENT ÉTABLIES À L'AIDE DE PHOTOS AERIENNES

Table des matières: 1. Introduction, 2. Repartition de probabilité de longueurs d'onde, 3. Liaisons de corrélation entre les paramètres des houles: longueurs d'onde, directions et longueurs de crête, 4. Conclusions; Streszczenie; Summary; Bibliographie.

### 1. INTRODUCTION

La surface de la mer soumise à l'action du vent présente des ondulations d'aspect désordonné sans qu'il soit possible de distinguer univoquement une propagation dans une direction déterminée. Le désordre est plus marqué en pleine mer (dans la zone d'action du vent) qu'à proximité des côtes. En pleine mer, il existe une agitation à trois dimensions composée de crêtes ou de dômes de différentes directions de propagation et de différents paramètres. Cette surface de la mer, déformée par le vent, est appelée houle du vent.

Du point de vue de l'analyse mathématique, la houle du vent est un processus aléatoire, variable dans le temps et l'espace. Dans l'étude de la houle il faut s'appuyer sur la théorie de probabilité, l'analyse statistique ainsi que sur la théorie des processus stochastiques.

Les études sur les houles exécutées jusqu'à ce jour dans la nature sont surtout basées sur les mesures du mouvement de la surface libre de la mer, faites en un ou en plusieurs points fixes simultanément. Grâce à ces mesures on peut définir les spectres de probabilité de l'agitation de la surface de la mer en fonction du temps ainsi que les spectres énergétiques. Cependant ces mesures ne fournissent aucune information sur les directions des houles et ne donnent pas d'informations directes sur les longueurs d'onde. Les informations de ce type ne peuvent être obtenues que par les enregistrements photographiques ou radiométriques.



En Pologne, les houles n'ont été étudiées que par l'intermédiaire des mesures aux points fixes. En 1975 pour la première fois on a exécuté des prises de photo de la surface ondulée de la mer, ayant pour but l'analyse spatiale de la houle du vent. Ces photos ont été faites par avion. Pour le moment les prises de photo ont été réalisées d'une caméra seulement. Tout compte fait, on n'a pas obtenu d'image stéréoscopique de la surface de la mer; par contre on a obtenu les informations sur les directions des houles et leurs longueurs d'onde (sans définition des valeurs verticales des oscillations).

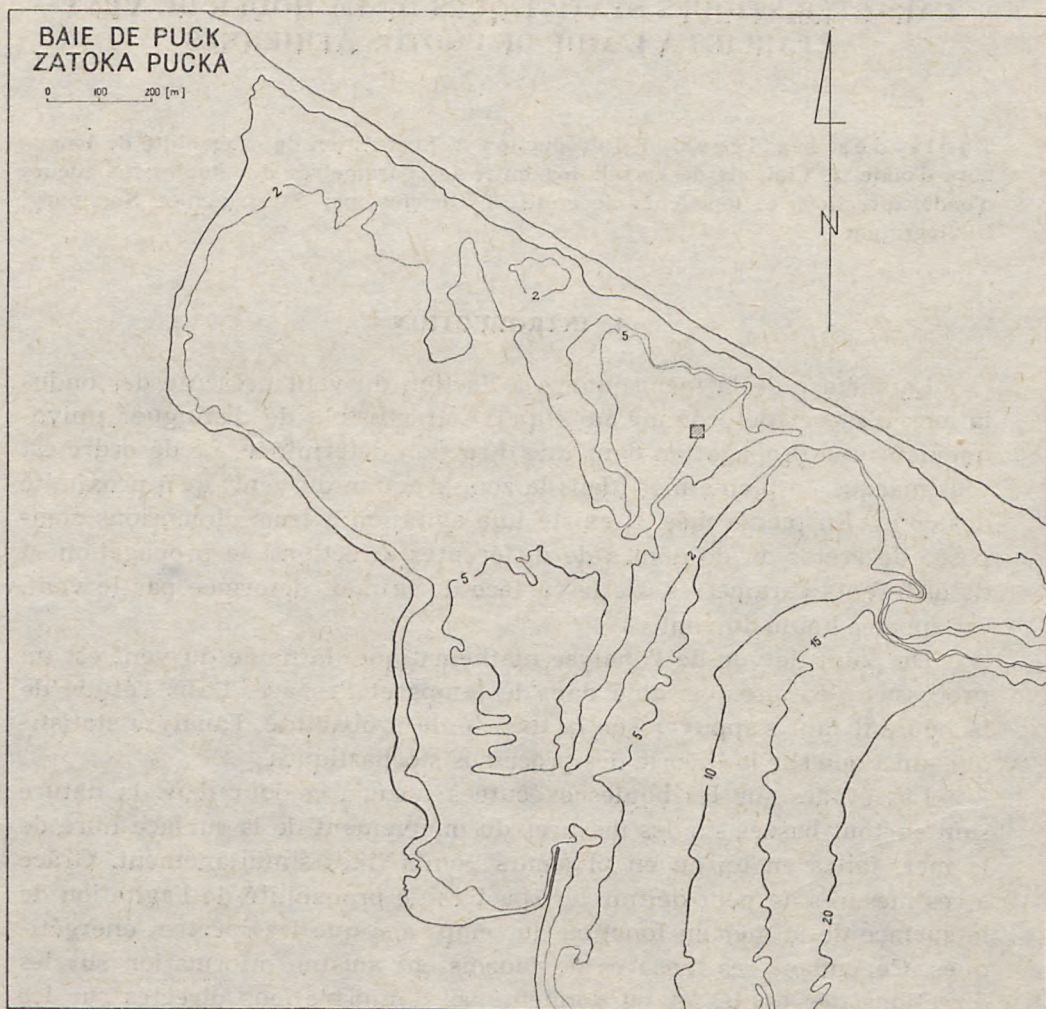


Fig. 1. Région des études

Ryc. 1. Rejon badań





Fig. 2. Photo 28 du champ des houles

Ryc. 2. Zdjęcie 28 pola falowego





Fig. 3. Photo 29 du champ des houles

Ryc. 3. Zdjęcie 29 pola falowego



Nos recherches ont été faites dans la Baie de Puck, qui constitue la partie Ouest de la Baie de Gdańsk. La Baie de Puck n'est pas profonde. Les profondeurs n'y dépassent pas 6,0 m. Sur le plan (fig. 1) on a indiqué la région, dont les prises de photo des houles ont été analysées. La profondeur  $y$  est de 4,50 m. Les houles enregistrées sur les photos ont été générées par un vent SSE avec une vitesse moyenne de 6,0 m/s. Le vent n'avait changé ni de direction ni de vitesse moyenne au cours des six heures précédant le moment des prises de photo. Auparavant le vent était très faible. Il soufflait du Sud.

Dans l'analyse de la houle, on a utilisé deux prises de photo faites à 2 seconds d'intervalle. Leur couverture était de 60%. La photo 28 (fig. 2) a été faite première, la photo 29 (fig. 3) deux secondes plus tard. Sur les deux photos on peut bien observer la déformation de la surface libre de la mer, représentant l'ensemble des crêtes de longueurs et de directions différentes.

## 2. REPARTITION DE PROBABILITÉ DE LONGUEURS D'ONDE

Dans l'analyse de l'interprétation des photos on a utilisé deux méthodes différentes:

- dans la première on a contouré chaque crête (le long de creux) en l'approximant à une ellipse. Son axe le plus long est une longueur de crête, son axe le plus court — une longueur d'onde. L'angle  $\varphi$  représente l'azimuth de l'axe plus long (fig. 4 et 5);
- dans la deuxième on a tracé sur les photos un groupe de profils verticaux, parallèles, dont la direction a été définie visiblement conformément à la direction générale du champ des houles (fig. 6 et 7). On a indiqué sur ces profils les points les plus élevés des crêtes en estimant que les distances entre les points voisins représentent longueurs d'onde.

La précision de la définition des valeurs des longueurs dans les deux méthodes était la même. Elle résultait de l'échelle des photos et se chiffrait à 1,10 m. Les valeurs des angles ont été définies avec une précision de  $5^\circ$ .

Dans la première méthode (celle des ellipses), on a distingué sur la photo 28—728 crêtes de houles et sur la photo 29—699. Toutes les ellipses ont été mesurées en indiquant trois valeurs: la longueur d'onde, la longueur de crête et l'azimuth. Les valeurs des longueurs d'onde et des azimuths sont représentées sur les tableaux 1 et 2. Elles sont placées dans les intervalles de 1,1 m de longueurs et  $5^\circ$  d'angles.

Dans le tableau 3 on a représenté les valeurs statistiques calculées des longueurs d'onde ( $L$ ), des longueurs de crête ( $G$ ), et des azimuths ( $\varphi$ ) des deux photos. Ce sont: les valeurs moyennes ( $E$ ), les écarts type  $\sigma$  et



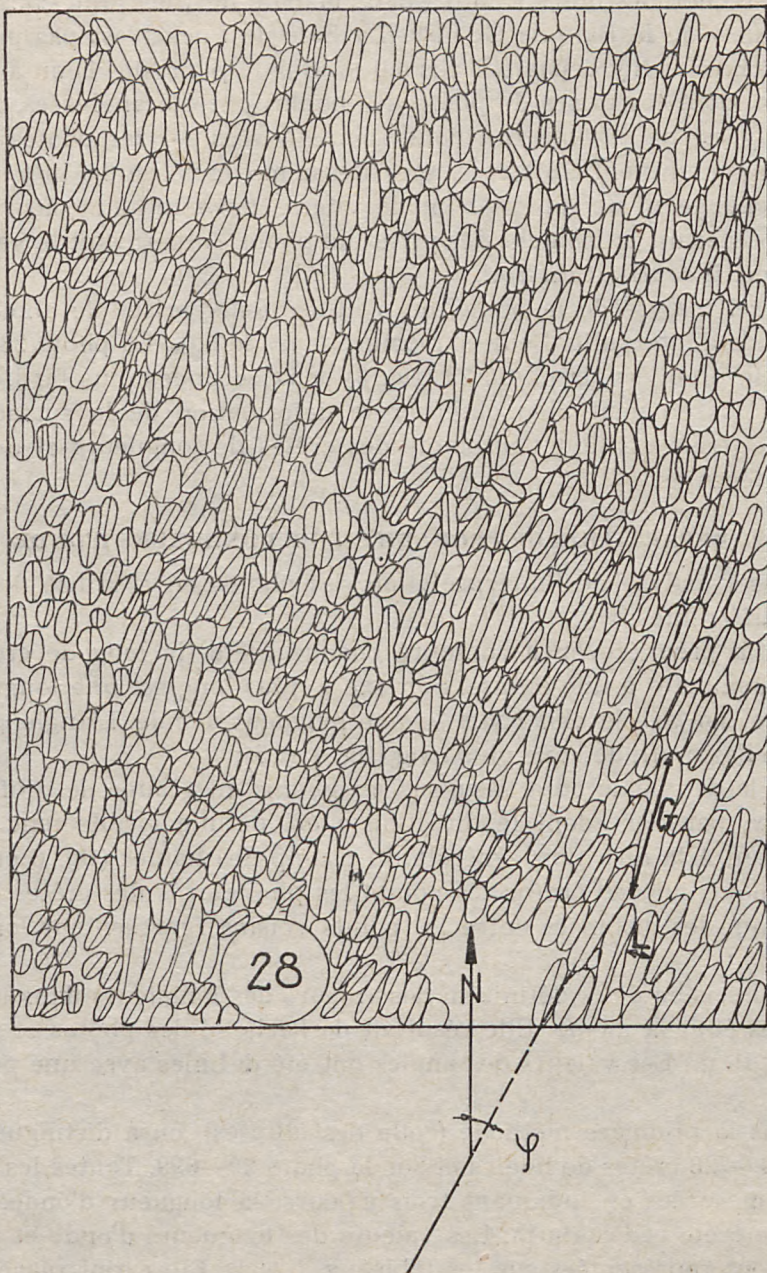


Fig. 4. Photointerprétation de la photo 28 par la méthode des ellipses.

Ryc. 4. Fotointerpretacja zdjęcia 28 metodą elips



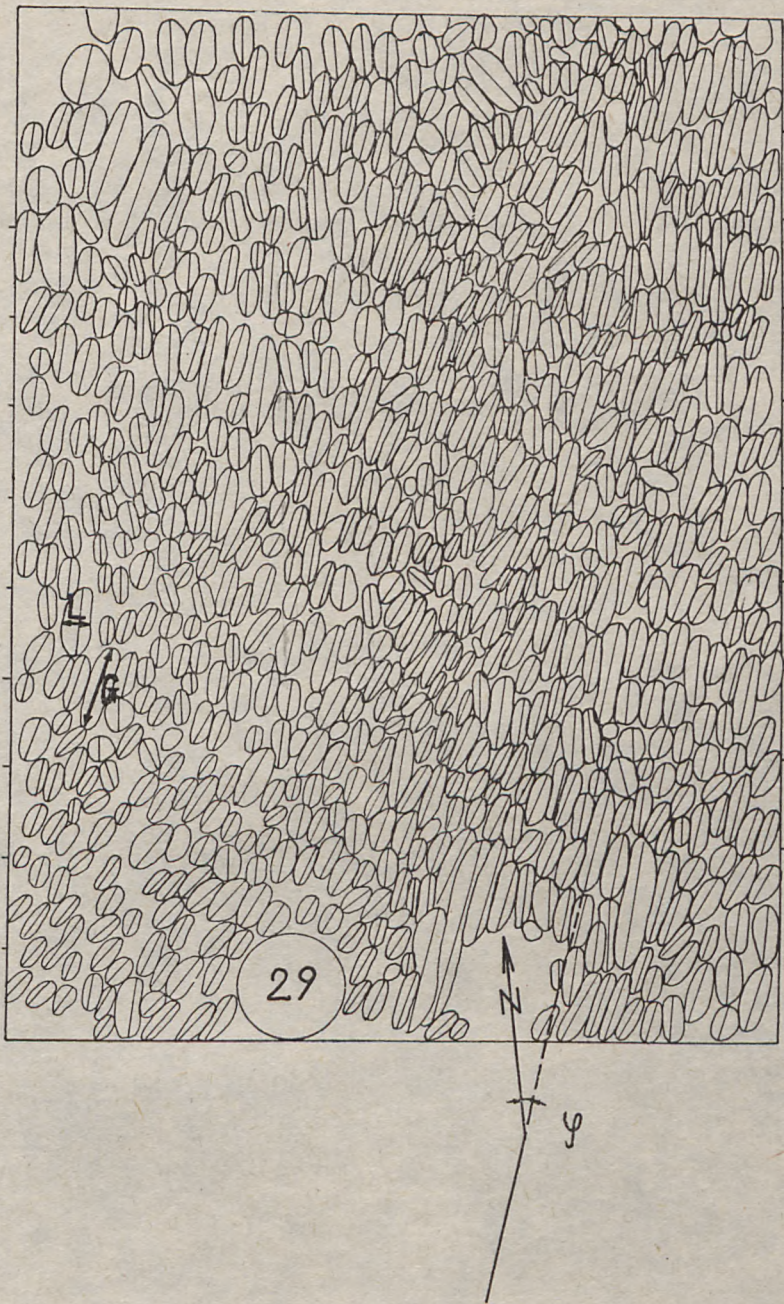


Fig. 5. Photointerprétation de la photo 29 par la méthode des ellipses

Ryc. 5. Fotointerpretacja zdjęcia 29 metodą elips



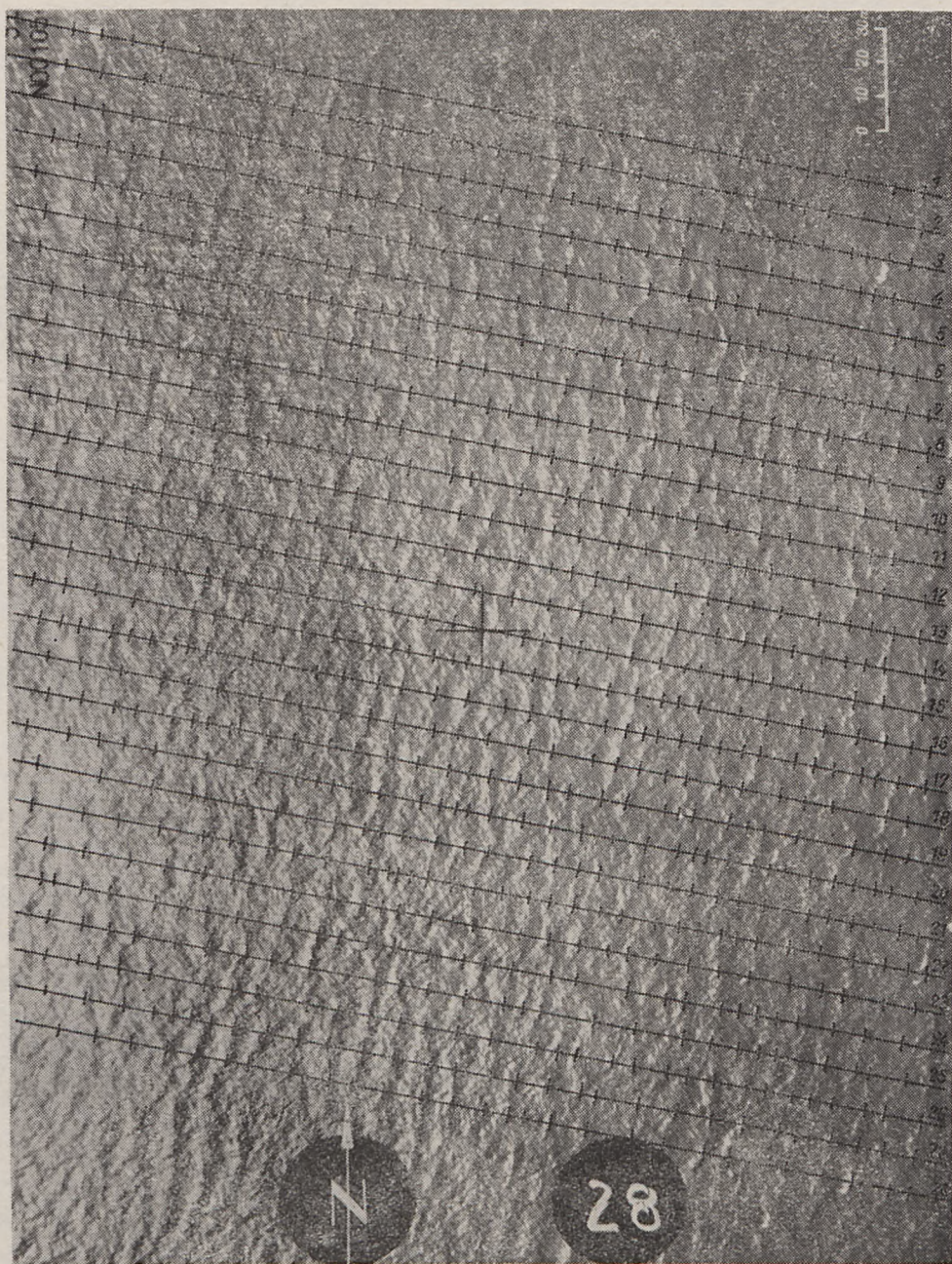


Fig. 6. Photointerprétation de la photo 28 par la méthode des profils

Ryc. 6. Fotointerpretacja zdjęcia 28 metodą przekrojów



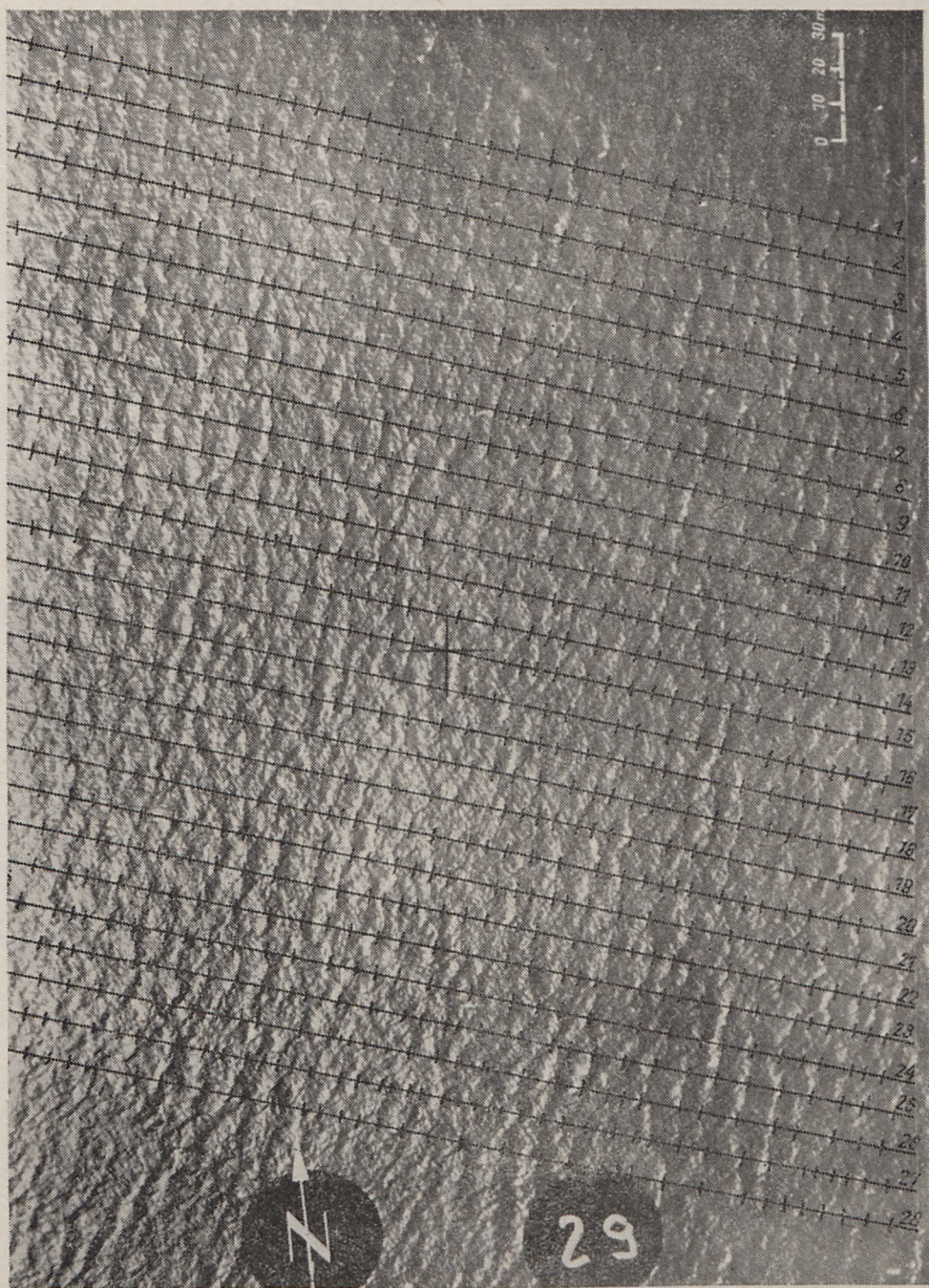


Fig. 7. Photointerprétation de la photo 29 par la méthode des profils

Ryc. 7. Fotointerpretacja zdjęcia 29 metodą przekrojów



les coefficients de variation ( $C_v$ ), coefficients d'asymétrie ( $C_s$ ) et coefficients d'aplatissement ( $C_e$ ). Comme on peut l'observer, les valeurs correspondantes des deux photos sont très proches, ce qui est bien évident puisque les deux photos représentent presque le même champ de houles.

La répartition empirique des longueurs d'onde de la méthode des ellipses est représentée sur la figure 8. On a également tracé les courbes de la densité de probabilité. On peut observer que les deux courbes sont très proches l'une de l'autre avec des valeurs maximales à peine différentes (0,2153 et 0,2053).

Sur la base des résultats obtenus, on a tracé les courbes des fréquences cumulées de la relation adimensionnelle  $\frac{L}{\bar{L}}$  (fig. 9). On les a comparé avec la courbe (courbe R) correspondante, calculée à l'aide des mesures aérophotogramétriques, présentées par les auteurs soviétiques cf. [4]. Dans ces mesures, on a lu 130 houles ayant des longueurs d'onde de 6,0 m jusqu'à 27,0 m. Leur longueur moyenne était de 16,71 m. Comme on peut l'observer, il existe une bonne concordance des courbes dans l'inter-

Tableau 1  
Tabela 1

Tableau de corrélation pour la houle 28  
Tablica korelacyjna fali 28

L [m]	$\varphi$ [°]	$\varphi_i$												$\bar{\varphi}$ (L)	
		40.0—42.5	42.5—47.5	47.5—52.5	52.5—57.5	57.5—62.5	62.5—67.5	67.5—72.5	72.5—77.5	77.5—82.5	82.5—87.5	87.5—92.5	92.5—97.5		97.5—100
$\bar{L}_i$		41.25	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	98.75	
0.55—1.65	1.1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	70.0
1.65—2.75	2.2	0	0	1	2	4	5	4	4	2	1	1	1	0	69.5
2.75—3.85	3.3	0	1	2	5	7	10	8	8	5	2	1	1	0	68.1
3.85—4.95	4.4	1	1	8	14	18	22	16	10	6	4	2	1	1	65.67
4.95—6.05	5.5	1	2	13	24	29	35	23	12	9	5	4	1	1	64.94
6.05—7.15	6.6	1	2	11	19	26	32	21	12	7	4	3	2	1	65.21
7.15—8.25	7.7	1	3	9	15	22	30	19	9	6	3	3	2	2	65.47
8.25—9.35	8.8	1	2	6	10	13	18	12	5	4	2	1	1	0	64.28
9.35—10.45	9.9	1	1	3	4	5	5	4	1	1	1	1	0	0	62.64
10.45—11.55	11.0	0	1	2	3	3	3	2	1	1	0	0	0	0	61.25
11.55—12.65	12.1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	68.85
12.65—13.2	12.925	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	67.5
$\bar{L}(\varphi)$		7.15	7.19	6.58	6.42	6.41	6.43	6.34	5.78	6.13	5.95	6.12	5.87	6.38	



Tableau 2  
Tabela 2

Tableau de corrélation pour la houle 29  
Tablica korelacyjna fali 29

L [m]	$\varphi$ [°]	$\varphi$ [°]													$\bar{\varphi}$ (L)
		40.0—42.5	42.5—47.5	47.5—52.5	52.5—57.5	57.5—62.5	62.5—67.5	67.5—72.5	72.5—77.5	77.5—82.5	82.5—87.5	87.5—92.5	92.5—97.5	97.5—100	
	$L_i$	41.25	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	98.75	
0.0 — 0.55	0.275	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	65.0
0.55 — 1.65	1.1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	75.0
1.65 — 2.75	2.2	0	0	1	2	2	3	3	3	3	2	1	1	0	71.67
2.75 — 3.85	3.3	0	0	2	4	4	5	6	6	5	3	3	2	1	72.41
3.85 — 4.95	4.4	2	2	6	9	12	15	13	12	9	5	4	3	1	68.40
4.95 — 6.05	5.5	2	4	9	15	20	25	21	16	12	7	5	4	2	67.81
6.05 — 7.15	6.6	2	4	10	16	19	22	19	15	10	5	4	3	2	66.68
7.15 — 8.25	7.7	2	4	10	17	19	20	15	11	8	5	3	2	1	65.27
8.25 — 9.35	8.8	1	2	8	13	14	13	10	6	5	3	2	1	1	64.68
9.35 — 10.45	9.9	0	1	5	9	8	7	5	2	1	2	1	0	0	62.56
10.45 — 11.55	11.0	0	1	3	5	4	4	2	1	1	1	1	0	0	62.61
11.55 — 12.65	12.1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	60.0
12.65 — 13.2	12.925	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	57.5
$\bar{L}(\varphi)$		6.36	7.03	7.14	7.17	6.96	6.66	6.44	5.85	5.95	6.17	6.05	5.5	6.05	

Tableau 3  
Tabela 3

Valeurs caractéristiques des variables des photos 28 et 29  
Wartości charakterystyczne zmiennych losowych zdjęć 28 i 29

	Houle Fala 28			Houle Fala 29		
	L	G	$\varphi$	L	G	$\varphi$
	m'	m	°	m	m	°
1	2	3	4	5	6	7
E	6,34	15,43	65,36	6,57	15,17	66,72
$\sigma$	2,04	5,38	10,78	1,99	5,20	12,43
$C_v$	0,321	0,348	0,165	0,302	0,343	0,186
$C_s$	0,23	0,703	0,55	0,246	0,675	0,391
$C_e$	-0,043	0,163	0,375	-0,0202	0,496	-0,289



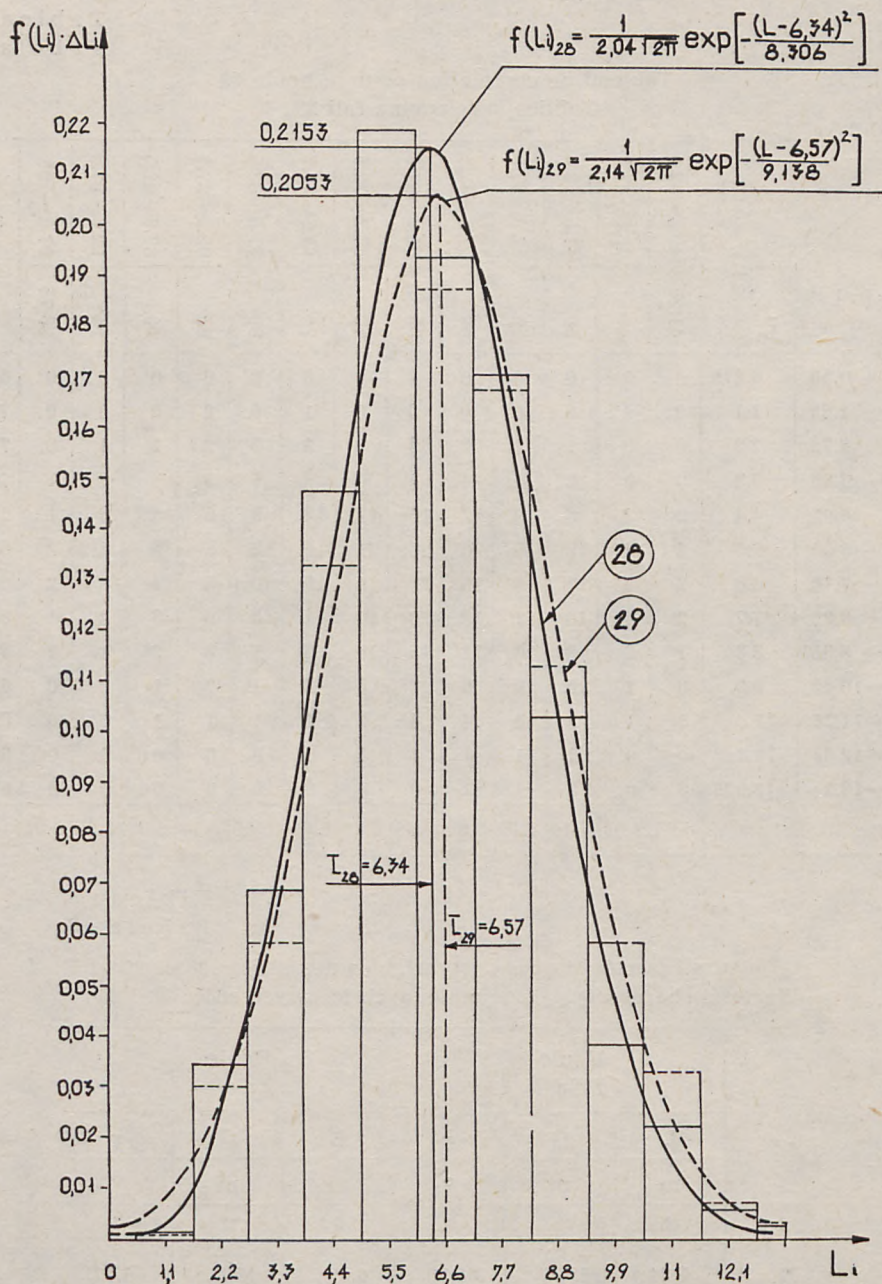


Fig. 8. Courbes empiriques de densité de probabilité et fréquences des longueurs d'onde

Ryc. 8. Krzywe empiryczne gęstości prawdopodobieństwa oraz częstości długości fal



valle de 30 à 70% de F. Dans les intervalles de 5 à 30% et de 70 à 100% il existe une déviation des courbes d'avec la valeur maximale de 8%. Pour les valeurs maximales de  $\frac{L}{L}$  (la bande de 0 à 5%), la concordance des courbes est satisfaisante.

On a encore comparé les courbes expérimentales de fréquence cumulée, obtenues par la méthode des ellipses et la méthode des profils. Cette comparaison est représentée sur la figure 10. La concordance des

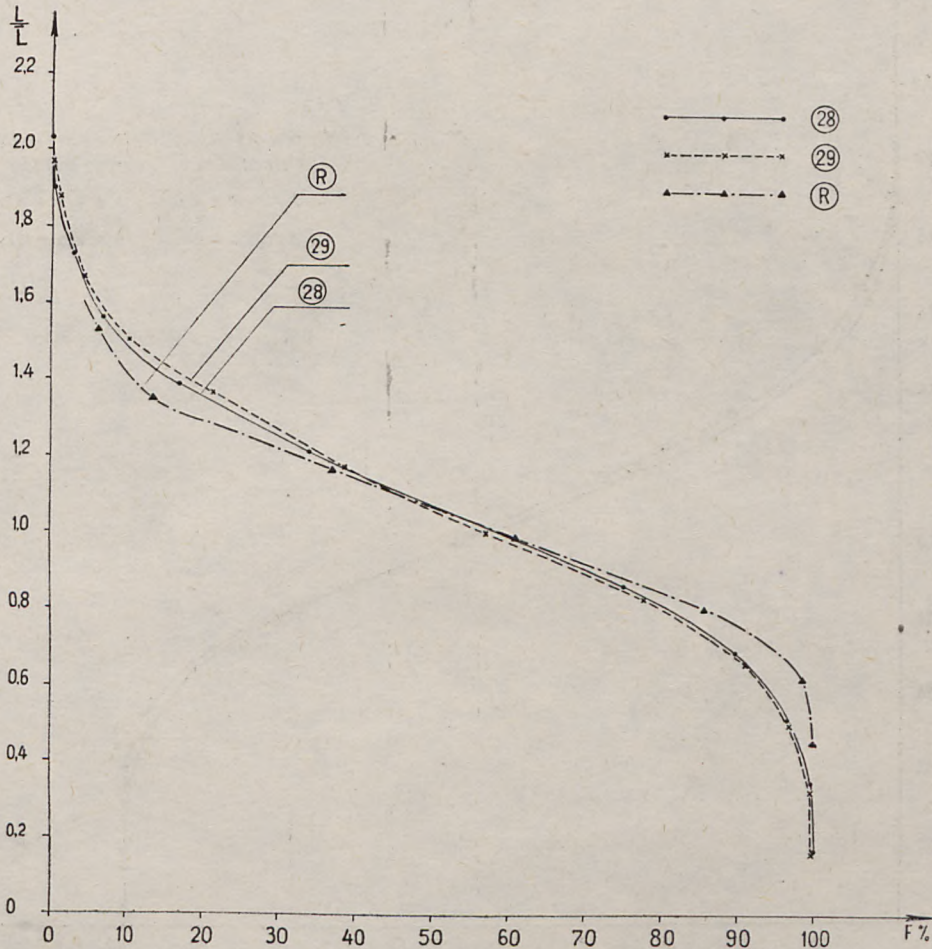


Fig. 9. Comparaison des courbes empiriques  $\frac{L}{L}$  de frequences cumulées avec la courbe (R) des recherches sovietiques

Ryc. 9. Porównanie doświadczalnych krzywych przewyższenia  $\frac{L}{L}$  z krzywą z badań radzieckich



courbes des deux méthodes est très bonne. Il faut remarquer qu'il existait une différence entre les nombres de houles définis par la méthode des profils et les nombres définis par la méthode des ellipses. Il y avait également une différence entre les valeurs moyennes des longueurs d'onde. Sur la photo 28 on a tracé 28 profils sur lesquels on a compté 932 houles ( $\bar{L} = 7,69$  m) et sur la photo 29 on a aussi tracé 28 profils mais comptant 951 houles ( $\bar{L} = 7,74$  m).

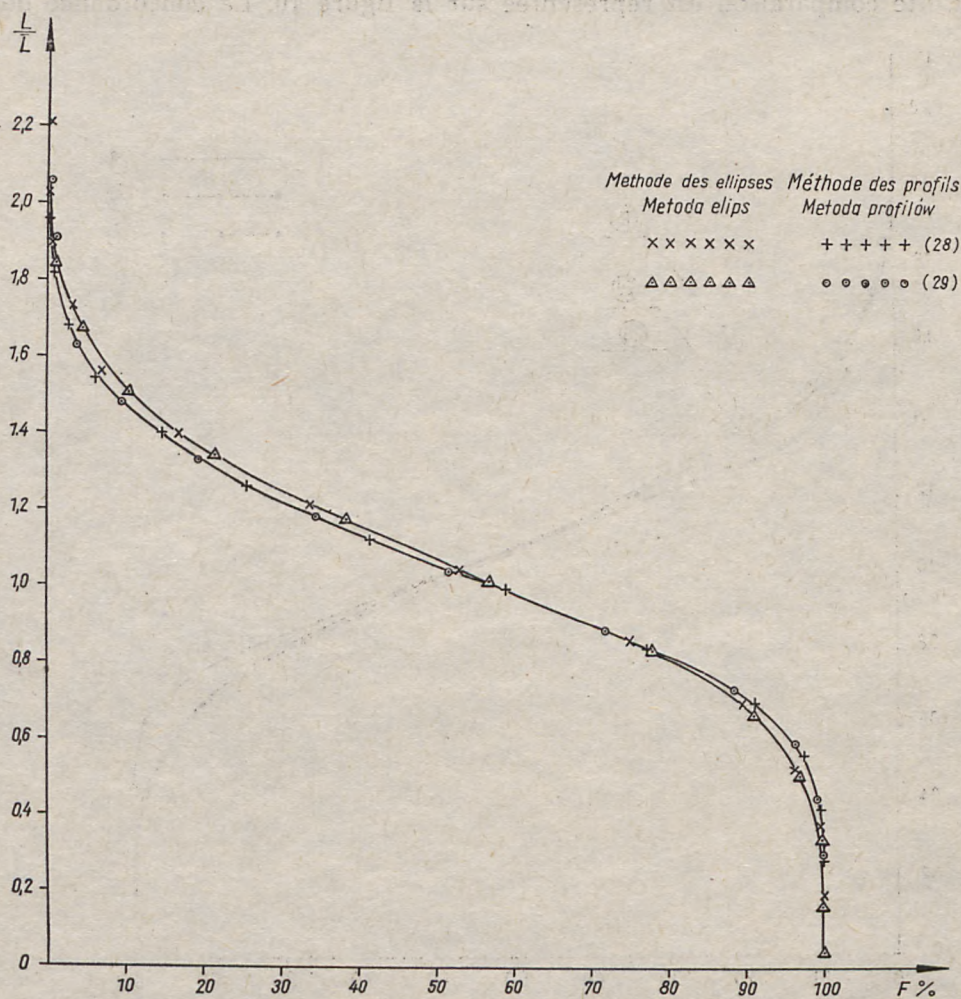


Fig. 10. Comparaison des courbes empiriques  $\frac{L}{L}$  des fréquences cumulées établies par la méthode des ellipses et la méthode des profils

Rys. 10. Porównanie doświadczalnych krzywych przewyższenia  $\frac{L}{L}$  ustalonych metodą elips i metodą przekrojów



On a vérifié la répartition expérimentale de la relation  $\frac{L}{\bar{L}}$  par la répartition de Gauss et de Longuet Higgins. Sur la figure 11 on a représenté la répartition expérimentale de la fréquence  $\frac{L}{\bar{L}}$  (pour la photo 28) et la courbe de densité de probabilité de la répartition de Gauss. On remarque qu'il existe un très bon degré de concordance. Il faut attirer l'attention sur le fait que la fonction de densité de probabilité, représentée sur la figure 11, est une fonction de densité de probabilité de l'écart réduit:

$$t = \left( \frac{L}{\bar{L}} - 1 \right) \frac{1}{C_v} \quad (1)$$

où

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{L}}$$

On a examiné la concordance de la répartition de Gauss avec la répartition expérimentale en utilisant le test de  $\chi^2$ . Pour  $r = 10$  classes on a établi sept degrés de liberté de la répartition. Les calculs sont présentés dans le tableau 4. On a obtenu que:

$$\sum_{i=1}^{10} \chi_i^2 = 8.1016$$

est plus petit que la valeur critique  $\chi_{cr}^2 = 18.475$ , qui correspond à un niveau de confiance de 0.99. En effet, ce test ne permet pas de rejeter l'hypothèse de l'existence de la répartition normale sur le niveau de confiance de 0.99.

La vérification de la répartition expérimentale de la relation  $\frac{L}{\bar{L}}$  par la répartition théorique de Longuet Higgins est représentée sur la figure 12. Dans cette vérification on a utilisé deux formes de la fonction de densité de probabilité de Longuet Higgins

$$f(\eta) = \frac{1}{2(1 + \eta^2)^{3/2}} \quad (2)$$

Dans la première on a utilisé:

$$\eta = \left( \frac{L}{\bar{L}} - 1 \right) \frac{1}{v_{(L)}} \quad (3)$$

dans la deuxième:

$$\eta = \left[ \left( \frac{L}{\bar{L}} \right)^{1/2} - 1 \right] \frac{1}{v_{(L)}} \quad (4)$$



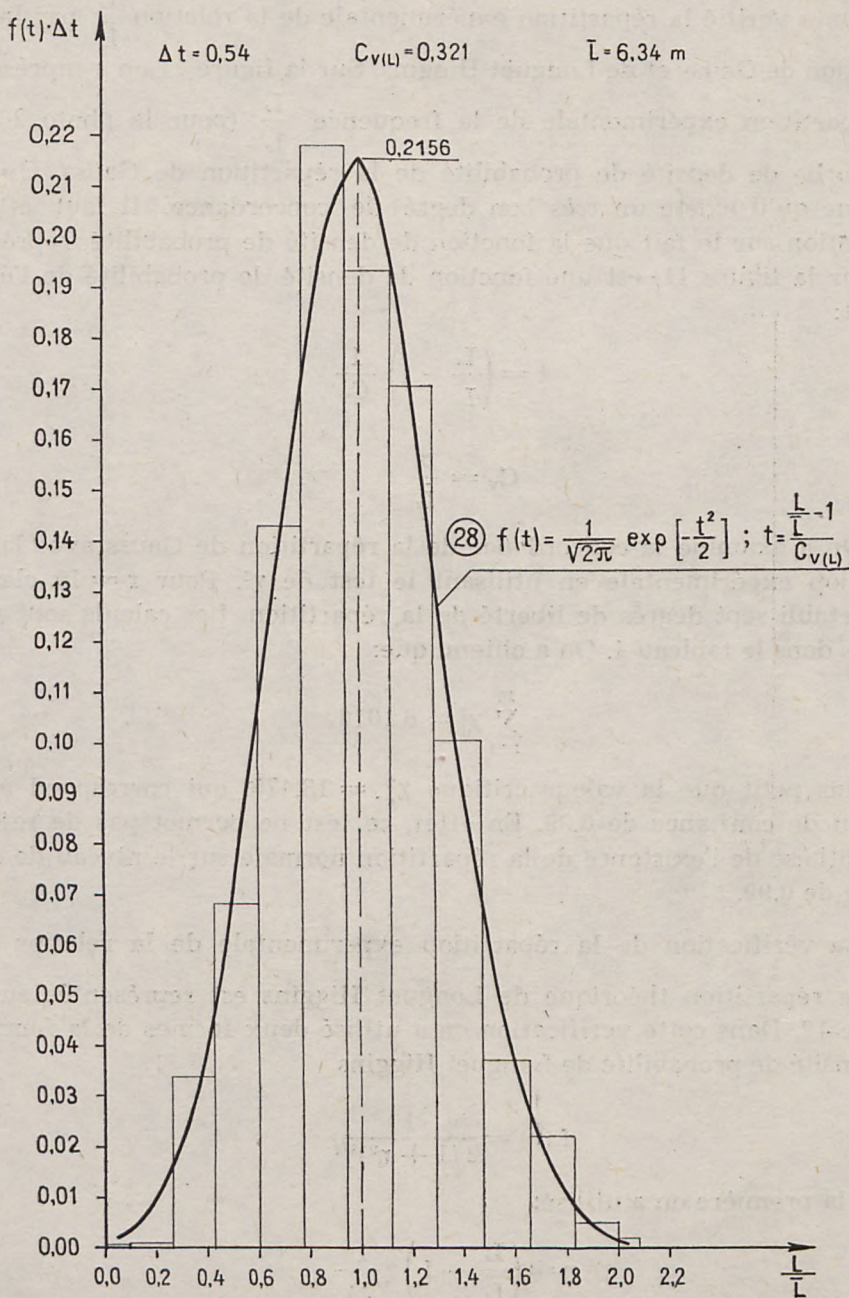


Fig. 11. Courbe de densité de probabilité de l'écart réduit  $t$

Ryc. 11. Krzywa gęstości prawdopodobieństwa zmiennej standaryzowanej  $t$



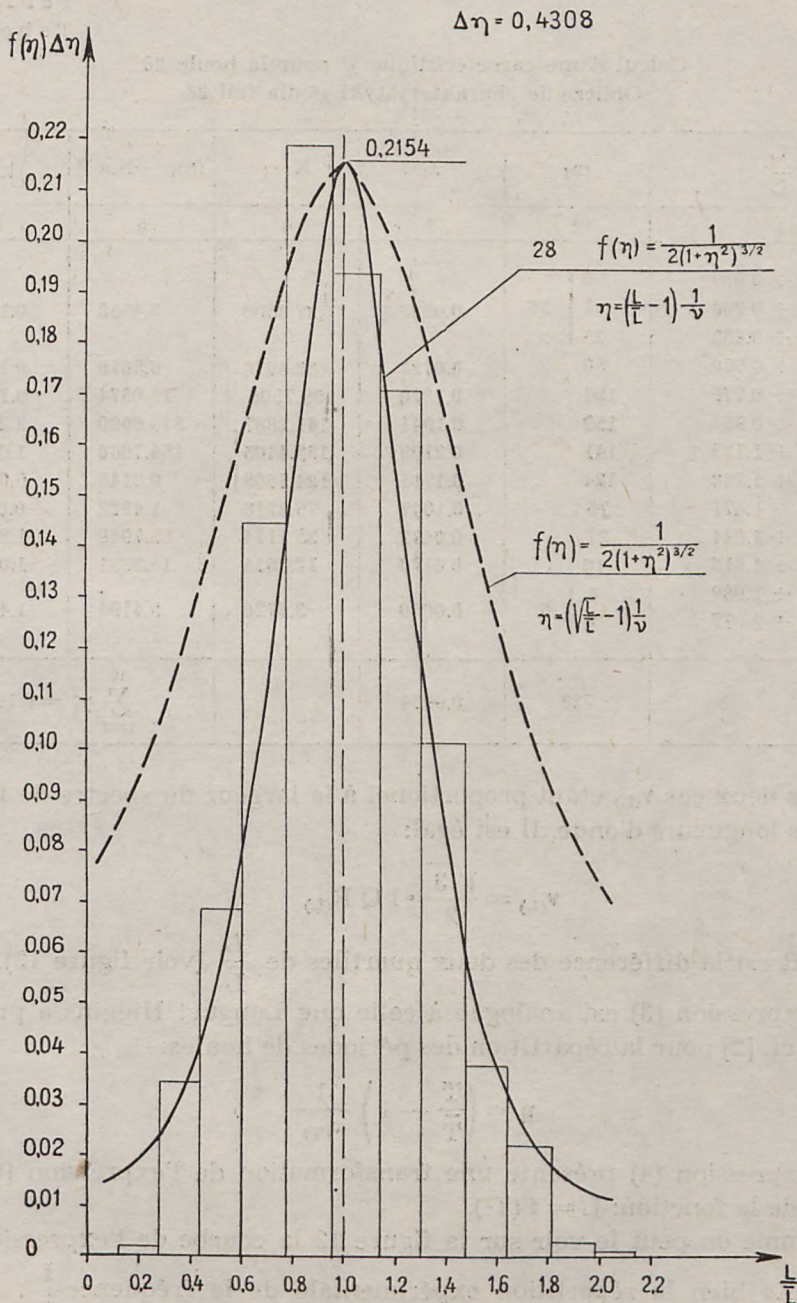


Fig. 12. Courbes de densité de probabilité de la répartition de Longuet Higgins

Ryc. 12. Krzywe gęstości prawdopodobieństwa rozkładu Longuet Higginsa



Tableau 4  
Tabela 4Calcul d'une caractéristique  $\chi^2$  pour la houle 28  
Obliczenie charakterystyki  $\chi^2$  dla fali 28

$\frac{L}{L}$	$m_1$	$\pi_1$	$N \cdot \pi_1$	$(m_1 - N \cdot \pi_1)^2$	$\chi_1^2$
1	2	3	4	5	6
0.0 ÷ 0.087	0	0.0383	27.8590	3.4559	0.1240
0.088 ÷ 0.260	1				
0.261 ÷ 0.433	25				
0.434 ÷ 0.606	50	0.0722	52.5616	6.5618	0.1248
0.607 ÷ 0.779	104	0.1370	99.7506	18.0574	0.1810
0.780 ÷ 0.952	159	0.1941	141.2887	313.6900	2.2202
0.953 ÷ 1.125	141	0.2108	153.4405	154.7660	1.0086
1.126 ÷ 1.298	124	0.1711	124.5608	0.3145	0.0025
1.299 ÷ 1.471	75	0.1047	76.2216	1.4923	0.0196
1.472 ÷ 1.644	27	0.0482	35.1114	65.7948	1.8739
1.645 ÷ 1.816	16	0.0170	12.3614	13.2391	1.0710
1.817 ÷ 1.989	4	0.0050	3.6720	5.4194	1.4759
1.990 ÷ 2.077	2				
	728	0.9984		$\sum_{i=1}^{10} \chi_i^2 = 8.1016$	

Dans les deux cas  $v_{(L)}$  étant proportionnel à la largeur du spectre de fréquence des longueurs d'onde. Il est égal:

$$v_{(L)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot IQR_{(L)} \quad (5)$$

où IQR est la différence des deux quartiles de  $\frac{L}{L}$  (voir figure 13).

L'expression (3) est analogue à celle que Longuet Higgins a présenté dans cf. [2] pour la répartition des périodes de houles:

$$\eta = \left( \frac{T}{T} - 1 \right) \frac{1}{v_{(T)}} \quad (6)$$

L'expression (4) présente une transformation de l'expression (6) sur la base de la fonction:  $L = f(T^2)$ .

Comme on peut le voir sur la figure 12 la courbe de l'expression (3) représente bien la répartition expérimentale de la fréquence  $\frac{L}{L}$ . Aux limites du spectre de fréquence uniquement, il existe une déviation des deux répartition. La courbe de l'expression (4) n'est pas tout à fait adéquate à la répartition expérimentale.



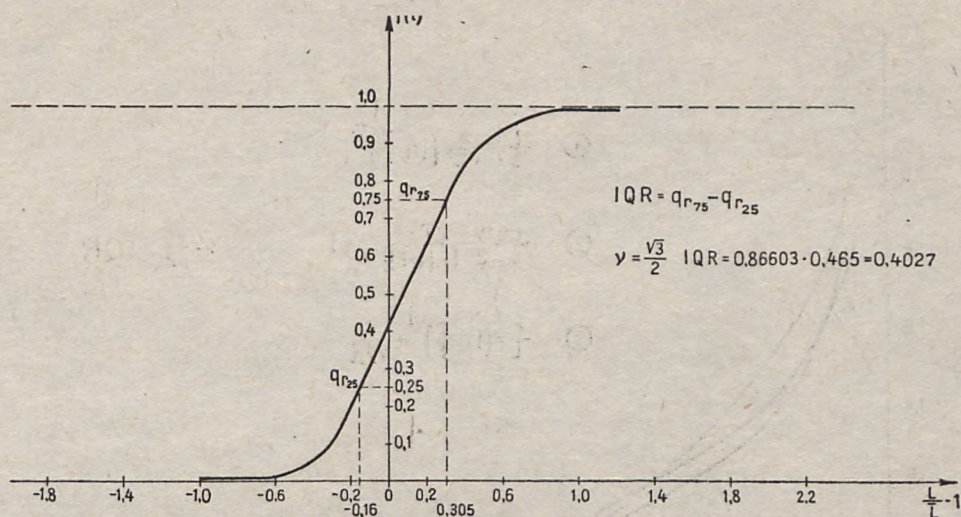


Fig. 13. Courbe empirique de fréquence cumulée de variable  $\left(\frac{L}{L} - 1\right)$

Ryc. 13. Dystrybuanta rozkładu empirycznego zmiennej  $\left(\frac{L}{L} - 1\right)$

Sur la figure 14, on a présenté une comparaison entre la répartition expérimentale de fréquence cumulée des deux photos avec les répartitions théoriques de Głuchowski (courbe 1) et de Longuet Higgins (d'après l'expression (3) — courbe 2).

Głuchowski a défini cf. [1] la répartition de probabilité des longueurs d'onde sur la base de la répartition de probabilité des périodes de houles, en utilisant la relation d'Airy de la longueur d'onde et de la période. La répartition de probabilité des périodes de houles de Głuchowski étant déjà vérifié en nature avec un bon succès en mer profonde, la répartition de probabilité des longueurs d'onde n'a pas été variée d'une manière satisfaisante jusqu'à ce jour.

Comme on peut l'observer sur la figure 14, il n'y a aucune concordance entre la répartition de Głuchowski et la répartition expérimentale. Au contraire, il existe une concordance relativement suffisante de la répartition théorique de Longuet Higgins.

Sur la figure 14 on a présenté la fonction (fonction 3), qui décrit les valeurs empiriques avec une bonne approximation. On peut évidemment admettre cette forme de la fonction de répartition des relations  $\frac{L}{L}$  mais seulement comme une première approximation à cause du nombre limité des épreuves analysées.



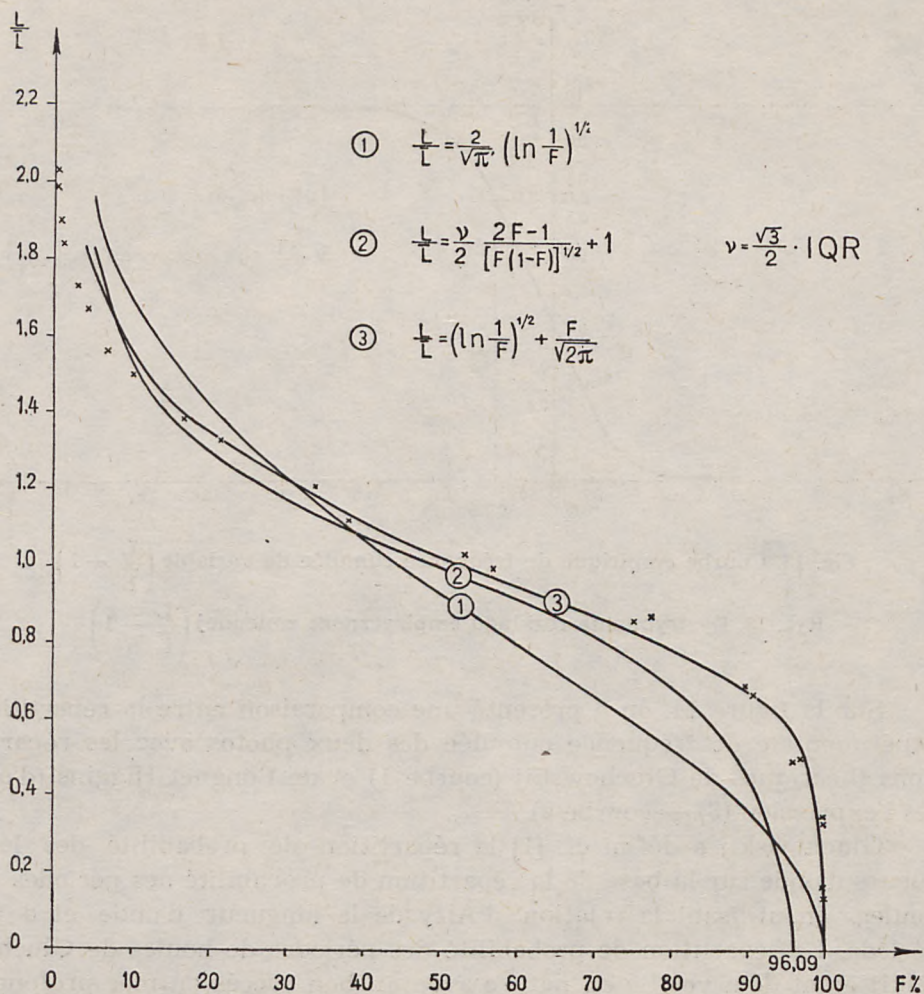


Fig. 14. Comparaison des courbes: théoriques et expérimentale de fréquence cumulée des longueurs d'onde relatives

Ryc. 14. Porównanie krzywych przewyższenia względnych długości fali teoretycznych i doświadczalnej

### 3. LIAISONS DE CORRÉLATION ENTRE LES PARAMETRES DES HOULES: LONGUEURS D'ONDE, DIRECTIONS ET LONGUEURS DE CRÊTE

Sur la base du tableau de corrélation (tableau 1) entre les longueurs d'onde et leurs directions on a calculé les valeurs des liaisons empiriques de corrélation. Elles sont respectivement:

$$\eta_{L/\varphi} = 0,138 \text{ et } \eta_{\varphi/L} = 0,131$$



Comme  $\eta_{L/\varphi} \neq \eta_{\varphi/L}$ , on a constaté qu'il existait une régression curviligne. On a examiné les régressions: quadratique ainsi que celles des troisième et quatrième degrés. Comme critère de bonne approximation d'une courbe aux valeurs empiriques, on a adopté une valeur minimale de déviation relative des restes. On a constaté que la fonction du quatrième degré approche le mieux les valeurs empiriques. Cette fonction est représentée sur la figure 15. On peut y observer une direction de houles, le long de

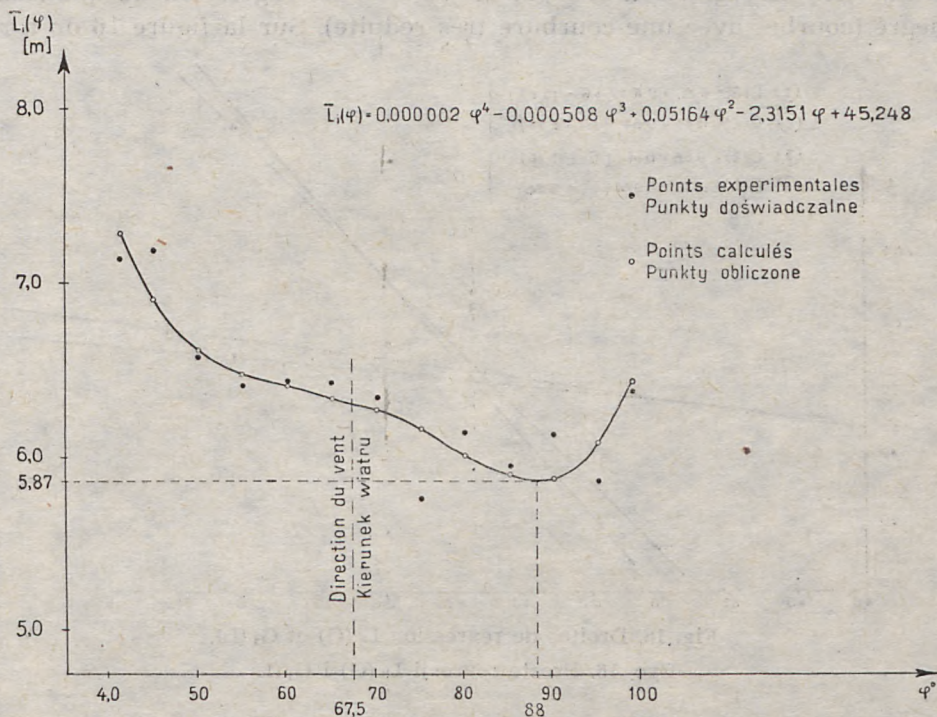


Fig. 15. Courbe de regression  $L_1(\varphi)$   
Ryc. 15. Krzywa regresji  $L_1(\varphi)$

laquelle la longueur moyenne est minimale (l'azimut de la ligne de crête égale env.  $88^\circ$ ). On nomme cette direction — la direction principale du spectre des houles. Elle correspond à la direction résultant du transport d'énergie du spectre des houles. Sur cette figure on a indiqué la direction moyenne du vent (plus exactement l'azimut de la direction du vent diminué de  $\frac{\pi}{2}$ ). Il existe une différence entre la direction du vent et la direction principale des houles. Elle est égale à:  $88^\circ - 67,5^\circ = 20,5^\circ$ . Cette déviation est confirmée par la théorie de la résonance de la génération des houles définie par Phillips. La déviation est plus grande pour les houles plus courtes.



On a essayé de trouver une corrélation entre les longueurs de crête et les longueurs d'onde. Les valeurs calculées des liaisons empiriques de corrélation étaient respectivement:

$$\eta_{L/G} = 0,3066 \quad \eta_{G/L} = 0,341 \text{ pour la photo 28}$$

Bien que les valeurs  $\eta_{L/G}$  et  $\eta_{G/L}$  ne soient pas égales, on a constaté que la meilleure approximation des valeurs empiriques était obtenue soit par les droites de régression soit par les courbes de régression du quatrième degré (courbes avec une courbure très réduite). Sur la figure 16 on a re-

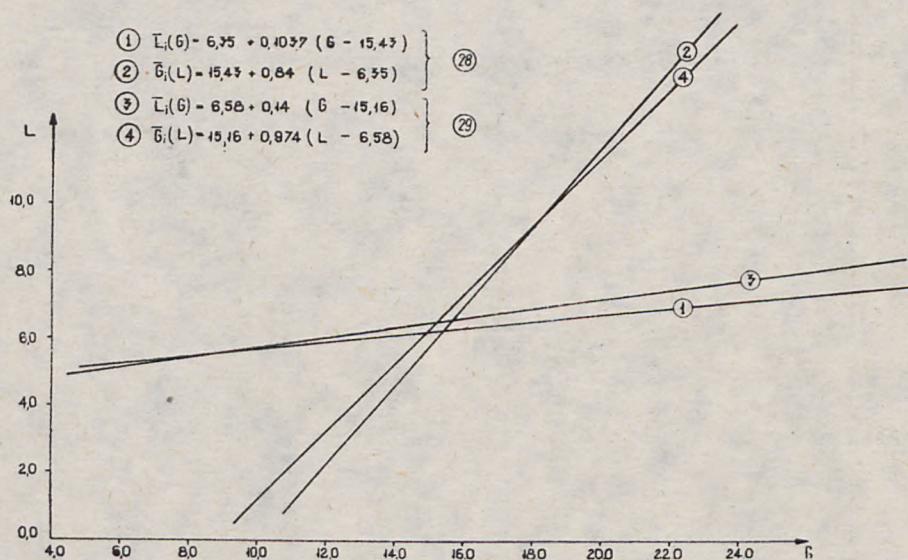


Fig. 16. Droites de regression  $L_i(G)$  et  $G_i(L)$ .

Ryc. 16. Proste regresji  $L_i(G)$  i  $G_i(L)$

présenté les droites de régression des longueurs d'onde et des longueurs de crête pour les deux photos. On peut observer qu'il existe une bonne concordance entre les droites de régression des photos 28 et 29. Alors qu'il existe une influence des longueurs d'onde sur les longueurs de crête, la liaison réciproque est très faible. En général on constate que les houles plus longues possèdent des crêtes plus longues. Cette relation est à peu près linéaire.

#### 4. CONCLUSIONS

Sur la base d'analyse photointerprétative des photos aériens du champ des houles ainsi que de leur analyse statistique, on peut avancer les constatations suivantes:



- la méthode des ellipses adoptée dans ce travail pour l'analyse photo-interprétative du champ des houles peut être utilisée avec un résultat satisfaisant. Elle possède l'avantage sur la méthode des profils de fournir, outre des informations sur les longueurs d'onde, des informations sur leurs directions et les longueurs de crête,
- la répartition empirique des longueurs d'onde relatives  $\frac{L}{L}$  est bien vérifiée par la répartition normale (de Gauss) en utilisant l'écart réduit (1). La répartition de Longuet Higgins (publiée pour les périodes) est aussi bien appropriée pour les longueurs d'onde sauf dans les intervalles aux limites,
- les liaisons de corrélation entre les longueurs d'onde, leurs directions et les longueurs de crête, présentées dans ce travail ne sont qu'une première approximation. Elles doivent encore être examinées sur les autres enregistrements photographiques des houles.

Ce travail a été exécuté dans le cadre d'études consacrées au problème nr M.R. 15 „Principes d'économie dans le milieu marin”.

Les auteurs adressent leurs vifs remerciements à Monsieur le Docteur K. Furmańczyk pour l'aide qu'il a bien voulu leur apporter dans l'analyse photointerprétative des prises de vue aériennes.



JERZY ONOSZKO  
ALBERT MIKOTETT  
MARIA WIEJACHA

Politechnika Gdańska  
Instytut Hydrotechniki — Gdańsk

## CHARAKTERYSTYKI STATYSTYCZNE FALOWANIA WIATROWEGO, OKREŚLONE NA PODSTAWIE ZDJEŃ LOTNICZYCH

### Streszczenie

W ramach badań struktury przestrzennej falowania wiatrowego zostały wykonane pojedyncze zdjęcia lotnicze (z jednej kamery fotograficznej) w rejonie Zatoki Puckiej (ryc. 1). Na zdjęciach uzyskano wyraźny przestrzenny obraz deformacji swobodnej powierzchni (grzbiety i doliny fal), jednak bez informacji wartościowej odnośnie do wysokości deformacji. W interpretacji zdjęć zastosowano aproksymację poszczególnych grzbietów fal („hełmów”) do elips, których krótsze osie odpowiadały długościom fal ( $L$ ), a dłuższe — długościom grzbietów ( $G$ ).

W ramach przeprowadzonej analizy statystycznej długości fal stwierdzono, że empiryczne krzywe rozkładu długości fal zanalizowanych dwóch zdjęć (każde zdjęcie zawierało około 700 wyróżnionych fal) są prawie identyczne. Są one bardzo zbliżone do rozkładu empirycznego, podanego przez Zdanowicza [4]. Różnią się one wyraźnie od teoretycznej krzywej podanej przez Głuchowskiego, natomiast są bardzo bliskie teoretycznej krzywej rozkładu okresów fal, podanej przez Longuet-Higginsa [2].

Poszukiwano również związków korelacyjnych pomiędzy długością fal a ich kierunkiem oraz długością fal a długością ich grzbietów. Na podstawie analizowanych zdjęć stwierdzono istnienie krzywoliniowej funkcji regresji (krzywa czwartego stopnia) pomiędzy długością fal a ich kierunkiem oraz prostoliniową pomiędzy długością fal a długością grzbietów.



JERZY ONOSZKO  
ALBERT MIKOTEIT  
MARIA WIEJACHA

Gdańsk Technical University  
Institute of Hydro-Engineering — Gdańsk

## STATISTICAL CHARACTERISTICS OF WIND WAVES, DETERMINED FROM AERIAL PHOTOGRAPHS

### Summary

Under investigations of the spatial structure of wind waves, single aerial photographs (from one camera) were taken of the region of Puck Bay (Fig. 1). The photographs showed a distinct spatial image of the deformation of the free surface (wave crests and troughs), but without any information as to the height of deformations. To interpret the photographs the approximation of particular wave crests to the ellipses — the shorter axes of which corresponded to the wave lengths ( $L$ ) and the longer, the crest lengths ( $G$ ) — was applied.

On conducting the statistical analysis of wave lengths, it was found that the empirical curves of wave length distribution on two photographs (each contained about 700 distinguishable waves) were almost identical. They were very similar to the empirical distribution given in [4]. They differ substantially from the theoretical curve given by Głuchowski, but are very close to the theoretical curve of wave period distribution given by Longuet Higgins [2].

Correlations between wave lengths and their directions, and wave lengths and the crest lengths, were also considered. Basing on the photographs analyzed, the existence of a non-linear regression function (fourth degree curve) between the length of waves and their direction, and a linear function between the length of waves and that of crests.

### BIBLIOGRAPHIE

#### LITERATURA

1. Głuchowski B.Ch., *Issledowanija morskowo wietrowogo wotnienija* Hidrometizdat, Leningrad 1966.
2. Longuet-Higgins M.S., *On the joint distribution of the periods and amplitudes of sea waves*, Journal of Geophysical Research 18, 1975.
3. Massel S., *Związki korelacyjne między parametrami fal płytkowodnych*, Rozprawy Hydrotechniczne 19, 1966.
4. Zdanowicz W.G., *Primienienije aerometodow dla issledowanija moria*, Izdat. AN SSSR, Moskwa-Leningrad 1963.