

Czesława Szwed-Ilnicka

O AERODYNAMICZNYCH PARAMETRACH POKRYWY ROŚLINNEJ

Na obecnym etapie badań przypowierzchniowej warstwy atmosfery ważnym problemem jest między innymi przestrzenno-czasowa niejednorodność turbulencyjnej wymiany ciepła odczuwalnego i ciepła utajonego między powierzchnią pokrytą roślinnością a atmosferą. Turbulencyjne strumienie ciepła można wyznaczyć metodą pulsacyjną (bezpośrednią), metodą bilansu cieplnego lub metodą turbulencyjnej dyfuzji (aerodynamiczną). Ta ostatnia wymaga znajomości aerodynamicznych parametrów pokrywy roślinnej: parametru szorstkości z_0 i wysokości warstwy wypierania d (ros. wysota słoja wytiesnienia, ang. zero plane-displacement lub effective vegetation height). W badaniach procesów turbulencyjnych zachodzących w pokrywie roślinnej i nad nią zwraca się szczególną uwagę na zagadnienie kształtowania się d i z_0 w zależności od geometrii tej pokrywy i od jej zmian wywołanych działaniem wiatru.

1. MODEL WARSTWY PRZYPOWIERZCHNIOWEJ

Wielkości d i z_0 można przedstawić poglądowo posługując się modelem warstwy przypowierzchniowej (fig. 1). W modelu tym występują trzy warstwy aerodynamiczne [8, 31]:

I. Najniższa warstwa atmosfery turbulencyjnej (atmospheric surface layer). Przylega ona bezpośrednio do górnej granicy roślinności, za którą przyjmuje się jej średnią wysokość H . W warunkach adiabatycznych stosuje się do niej prawo logarytmicznej zmiany prędkości wiatru u i innych elementów meteorologicznych, prawo liniowej zmiany współczynnika turbulencyjności K oraz zakłada się stałość strumieni turbulencyjnych z wysokością. W niej panują warunki charakterystyczne dla warstwy przypowierzchniowej zalegającej nad jednorodną powierzchnią o małej szorstkości.

II. Warstwa turbulencyjna w pokrywie roślinnej (canopy-eddy layer). Zakłada się brak skokowej zmiany strumienia ciepła i elementów meteorologicznych przy przejściu z warstwy I do warstwy II. Przyjmuje

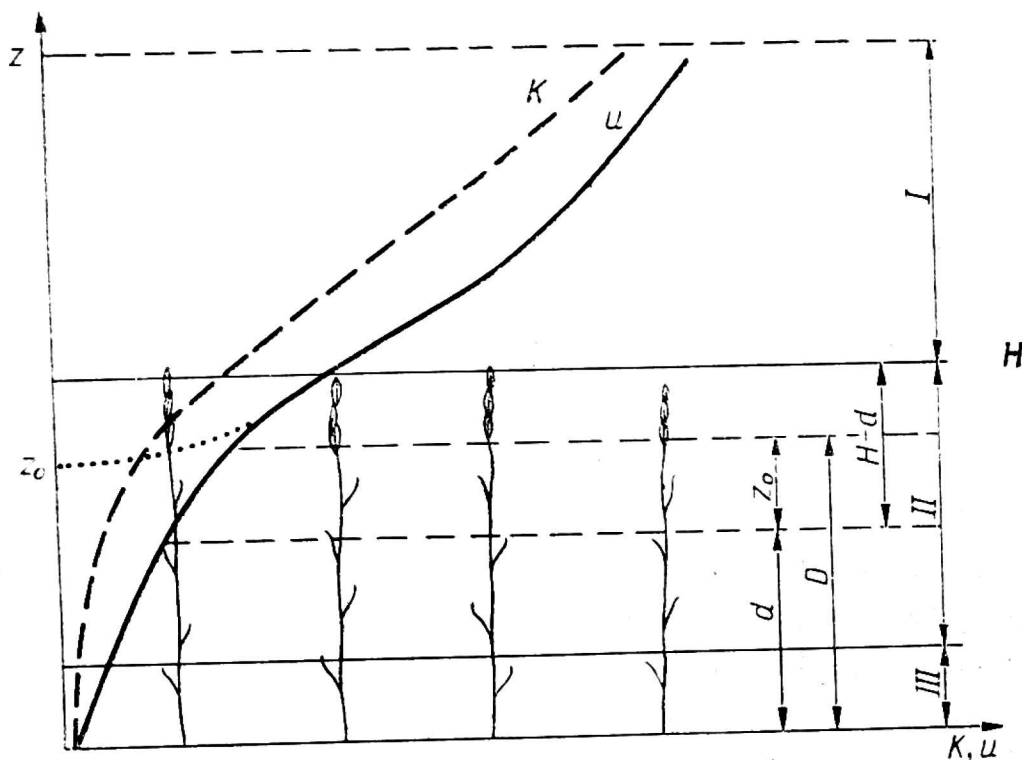


Fig. 1

Aerodynamic warstwy w pokrywie roślinnej (według Inoue [8] i Rauniera [31])
 Aerodynamic layers in a vegetation cover (after Inoue [8] and Raunier [31]).
 For explanation of symbols see text

się, że w warstwie II występuje wykładnicza zmiana prędkości wiatru i współczynnika turbulencyjności z wysokością. Właśnie wewnątrz tej warstwy znajduje się podwarstwa szorstkości z_0 i górna granica warstwy wypierania d . Wyróżnia się tu jeszcze podwarstwę równą $H - d$, charakteryzującą się nieuporządkowanym ruchem turbulencyjnym i przeważnie maksymalną wartością właściwej powierzchni fitomasy (powierzchnia elementów roślin w jednostce objętości, ang. leaf area density — LAD).

III. Mieszana warstwa turbulencyjności (mixed layer of canopy-eddies and surface-eddies) rozciągająca się w pobliżu gleby i turbulencyjnego środowiska warstwy II. Na kształtowanie się tu profilu wiatru wpływają zarówno rośliny, jak i powierzchnia gruntu. Zakłada się, że w warstwie tej występuje liniowa zmiana prędkości wiatru i współczynnika turbulencyjności z wysokością.

Pojęcie szorstkości podłoża, parametru szorstkości z_0 i wysokości warstwy wypierania d z punktu widzenia fizyczno-matematycznego, a także metody ich wyznaczania przedstawiła K. Miara [22]. Wielkości z_0 i d mają wymiar długości odnoszący się do miąższości odpowiednich

warstw przedstawionych na fig. 1. Metody wyznaczania tych wielkości są oparte na równaniach opisujących logarytmiczne profile prędkości wiatru:

$$\bar{u}(z) = \frac{u_*}{\kappa} \ln \frac{z}{z_0} \quad (1)$$

w przypadku powierzchni gruntu pozbawionej roślinności lub pokrytej roślinnością bardzo niską, a więc gdy $\bar{d} = 0$

oraz

$$\bar{u}(z) = \frac{u_*}{\kappa} \ln \frac{z-d}{z_0} \quad (2)$$

w przypadku pola wysokich roślin. W równaniach tych \bar{u} jest średnią prędkością wiatru, z jest wysokością mierzoną od powierzchni

gruntu, $u_* = \sqrt{\frac{\tau}{\sigma}}$ jest prędkością dynamiczną lub prędkością tarcia wyrażoną w cm/s ($\tau = -\rho \overline{u'w'}$, ρ jest gęstością powietrza, $\overline{u'w'}$ jest uśrednionym iloczynem pulsacji poziomej (u') i pionowej (w') składowych prędkości wiatru), $\kappa = 0,4$ jest stałą Kármána.

Można sądzić podobnie jak Deacon [5], Rożanska [34], Gangopadhyaya i in. [6] oraz Konstantinow [10], że warstwę wypierania d stanowi powietrze zatrzymane wśród gęstej, wysokiej roślinności. Napływający znad leżącej w bezpośrednim sąsiedztwie nagiej gleby lub gleby pokrytej niską roślinnością poziomy strumień powietrza o logarytmicznym rozkładzie prędkości z wysokością jest wypierany przez tę warstwę ponad górną jej granicę. Poziom odniesienia (zerowy) odczytu wysokości z poziomów pomiaru prędkości wiatru (także innych elementów meteorologicznych) w warstwie I (fig. 1) przemieszcza się więc w stosunku do powierzchni gleby w górę, właśnie o wielkość d . Zatem występująca w równaniu (1) wysokość z jest zamieniona w równaniu (2) na zredukowaną wysokość $z - d$. Na fig. 1 widać, że w warstwie wypierania d zmiana współczynnika turbulencyjności K z wysokością jest niewielka. Wobec tego, według Rauniera i Ananiewa [32], pewnym jakościowym kryterium wyznaczania warstwy wypierania d może być warunek quasi-stałości współczynnika K wewnątrz całej tej warstwy. Górna granica warstwy wypierania zbiega się z obszarem załamania się krzywej $K(z)$, który występuje w warstwie pokrywy roślinnej (w przypadku lasu w części warstwy koron) z maksimum właściwej powierzchni fitomasy. Warstwa wypierania odpowiada obszarowi trawostanu, dla którego wymiana z atmosferą zewnętrzną (warstwa I, fig. 1) jest utrudniona.

Wielkość z_0 odnosi się tylko do tej części roślin, która wznosi się nad warstwę wypierania d i hamuje ruch strumienia powietrza. Górna granica warstwy z_0 jest poziomem, na którym prędkość wiatru otrzy-

mana drogą ekstrapolacji profilu logarytmicznego średniej prędkości wiatru z odpowiedniego obszaru nad badaną powierzchnią w warunkach równowagi obojętnej jest równa zero. Warstwa szorstkości w istocie rzeczy stanowi obszar przejściowy od atmosfery turbulencyjnej (warstwa I, fig. 1) do warstwy pogranicznej przylegającej albo do powierzchni gleby, albo do górnej granicy warstwy wypierania.

Wielkość $D=d+z_0$ jest określana jako warstwa czynna pokrywy roślinnej.

2. WYSOKOŚĆ WARSTWY WYPIERANIA d I PARAMETR SZORSTKOŚCI z_0 JAKO FUNKCJE WYSOKOŚCI I GĘSTOŚCI POKRYWY ROŚLINNEJ ORAZ PRĘDKOŚCI WIATRU

W praktyce parametr szorstkości z_0 dotychczas był na ogół wiązany tylko ze średnią wysokością roślin H za pomocą prostej zależności: $z_0 = mH$, gdzie m oznacza pewną stałą. Jak podaje Menzulin [21], niektórzy badacze proponują dla roślinności wartości m od 0,1 do 0,2 lub nawet 0,3 do 0,5. W literaturze spotyka się też bardziej złożone empiryczne zależności zarówno z_0 , jak i d od H . Dla z_0 wyprowadzili je: Tanner i Pelton (cyt. za Bykową [3]), $\log z_0 = \log H - 0,88$; Kung (cyt. za Leonardem i Federerem [16]), $\log z_0 = 1,19 \log H - 1,24$; Szeicz i in. (cyt. za Landsbergiem i in. [14]), $\log z_0 = \log H - 0,98$. Dla d wzory podali: Stanhill (cyt. za Landsbergiem i in. [14]), $\log d = 0,9793 \log H - 0,1536$ i Marunicz [20], $\log d = 1,06 \log H - 0,19$. W opinii wielu badaczy wartości d i z_0 obliczone za pomocą wzorów tego typu tylko w dużym przybliżeniu są zgodne z danymi eksperymentalnymi.

Specjalne badania przeprowadzone przez Kutzbacha (cyt. za Lettau [18]) nad naturalną gładką powierzchnią lodu ze sztuczną szorstkością utworzoną z koszy o pojemności jednego buszla (35,24 litra) świadczą o istotnym wpływie gęstości nierówności powierzchni (przeszkód) na parametr z_0 . Lettau [18], na podstawie wyników tych badań, wyprowadził równanie, w którym z_0 jest wyrażone jako funkcja geometrycznych cech przeszkód: $z_0 = 0,5 h^*sn/A$, gdzie h^* — średnia wysokość przeszkód (cm), s — powierzchnia rzutu przeszkody na płaszczyznę prostopadłą do kierunku wiatru (cm²), n — liczba przeszkód na powierzchni poziomej A , 0,5 — średnia wartość współczynnika oporu przeszkody. Zdaniem Lettau wartości z_0 uzyskane za pomocą tego wzoru są zgodne w granicach $\pm 25\%$ z wartościami wyznaczonymi na podstawie pomiaru profili prędkości wiatru.

Menzulin [21] (zobacz też Marunicz [20]) stwierdził, że d i z_0 wyraźnie zależą od parametru dyspersji roślinności a ; $a = \frac{\lambda}{s}$, gdzie: λ — pewna skala rzędu charakterystycznej odległości między elementami

roślin odpowiadająca skali turbulencyjności wewnątrz pokrywy roślinnej, s — właściwa powierzchnia fitomasy. Parametr a określa charakterystyczne rozmiary liści i przy jednakowych pozostałych warunkach jest mniejszy dla drobnolistnych pokryw roślinnych. Zmniejszanie się a prowadzi do wzrostu d i zmniejszania się z_0 . Marunicz [20] sądzi, że skala długości λ , zatem i parametr dyspersji a , zależą od prędkości wiatru. Ze wzrostem tej prędkości zwiększa się parametr a na skutek zwiększania się odległości między elementami roślin λ , a więc pokrywa roślinna staje się bardziej przenikalna dla strumienia powietrza. Prowadzi to do zmniejszania się d i zwiększania się z_0 . Zdaniem Marunicza [20] parametr dyspersji roślinności a lub skalę λ można byłoby stosować do określania gęstości lasu. Jednakże wyznaczenie ich jest bardzo trudne.

Marunicz [20] podał równania przedstawiające wielkości d i z_0 dla lasu jako funkcje wysokości i gęstości lasu, gatunku drzew oraz prędkości wiatru:

$$d/H = A(1 - 0,04 r/r_{kor}\bar{u}); \quad z_0/H = B(1 - A + 0,04 r/r_{kor}\bar{u}A)$$

gdzie: A — współczynnik wyrażający zależność d od gatunku drzew ($A=0,9, 0,75$ i $0,8$ odpowiednio dla świerka, sosny i brzozy); r/r_{kor} — parametr gęstości (r — średnia odległość między drzewami, r_{kor} — średnica koron); B — stała wielkość dla danego lasu ($B=0,4 A$ dla lasu świerkowego i sosnowego oraz $0,8 A$ dla lasu brzozowego). Zdaniem Marunicza uzyskane tą drogą wyniki są zgodne z danymi uzyskanymi na podstawie zmierzonych profili prędkości wiatru. Autor zaleca stosowanie ich w praktyce. Dotychczas jednak nie ma możliwości obliczania d i z_0 dla różnych rodzajów roślinności. Zatem w większości przypadków istnieje konieczność wyznaczania tych wielkości.

3. PORÓWNANIE EMPIRYCZNYCH WARTOŚCI WYSOKOŚCI WARSTWY WYPIERANIA d I PARAMETRU SZORSTKOŚCI z_0 DLA PÓL UPRAWNYCH

Przy porównaniu danych empirycznych (tab. 1) i ich interpretacji występują trudności, ponieważ nie wszyscy autorzy podają wartości zarówno d , jak i z_0 , a ponadto nie zawsze są one rozpatrywane jako funkcje tych samych argumentów. Poważnym mankamentem jest też brak danych dotyczących odpowiednich wskaźników gęstości pokryw roślinnych.

3.1. WARTOŚCI d DLA PÓL UPRAWNYCH

Dla niskich pokryw roślinnych wielkość d nie jest wyznaczana. Podobnie jak dla innych gładkich powierzchni (np. powierzchnia śniegu) jest ona na tyle mała, że może być pominięta. Najniższą przedstawioną w tab. 1 pokrywą roślinną, dla której wyznaczono $d \approx 14$ cm jest psze-

Empiryczne wartości aerodynamicznych parametrów pól
 Empiric values of aerodynamic parameters of tilled fields,

Lp.	Autor	Roślina
1	Deacon [5]	trawa
2	Stearns (cyt. za Lettau [18])	trawa
3	Sheppard (cyt. za Muminowem [23])	trawa
4	Rusin [36]	pszenica
5	Konstantinow [10]	pszenica
6	Rozanska [34]	pszenica
7	Ginninderra (cyt. za Inoue [8])	pszenica
8	Uchijima, Wright (cyt. za Inoue [8])	kukurydza
9	Stoller, Lemon (cyt. za Inoue [8])	kukurydza
10	Pawlow, Ustienko [26]	kukurydza
11	Muminow [23]	ziemniaki
12	Paeschke (cyt. za Muminowem [23])	buraki
13	Rider [33]	owies ściernisko owśa
14	Nakagawa (cyt. za Inoue [8])	ryż
15	Ajzensztat i in. (cyt. za Konstantinowem [10])	bawełna
16	Konstantinow [10]	lucerna

H — średnia wysokość roślin; u_{2m} — średnia prędkość wiatru na poziomie 2,0 m;
 d/H — względna warstwa wypierania; \bar{d}/H — średnia względna warstwa wypie-
 parametr szorstkości; \bar{z}_0/H — średni względny parametr szorstkości

Tabela 1

uprawnych wyznaczone na podstawie pomiaru profili prędkości wiatru
determined on the basis of measured profiles of wind velocity

H (cm)	u_{2m} (m/s)	d (cm)	\bar{d} (cm)	d/H	\bar{d}/H	z_o (cm)	\bar{z}_o (cm)	z_o/H	\bar{z}_o/H
1,5							0,2		0,1
1,7—2,5							0,6		
3,0							0,7		0,2
4,5	2,0					2,4		0,5	
	6—8					1,7		0,4	
60—70	1,5					9,0		0,1	
	6,2					3,7		0,1	
	3,91		25		0,4		5,1		0,1
10						0,8-1,4		0,1	
do 10							2,3		
50							9,0		0,2
8	5,0	1,4		0,2	
19	4,6	14		0,7		2,4		0,1	
34	7,7	20		0,6		1,4		0,04	
40	3,8	26		0,65		3,2		0,1	
48	5,3	35		0,7		4,5		0,1	
	1,4	41							
	5,4	25							
45	3—4		30		0,7		5		0,1
80			20		0,25				
80			30		0,4				
110			50		0,5				
130			50		0,4		10		0,1
140			85		0,6		5		0,04
240	1,80	170		0,7					
	5,05	70		0,3					
150			65		0,4		15		0,1
250			105		0,4		25		0,1
25						2,0		0,1	
55						8,9		0,2	
45							6,5		0,1
80	<1	19		0,2					
	>4	43		0,5					
10							2,47		0,2
90			60		0,7		19		0,2
					0,8				
					0,75				

d — wysokość warstwy wypierania; \bar{d} — średnia wysokość warstwy wypierania; z_o — parametr szorstkości; \bar{z}_o — średni parametr szorstkości; z_o/H — względny

nica o średniej wysokości 19 cm [36]. Jest to najniższa wykazana tu wartość d . Natomiast najwyższa wartość $d=170$ cm odnosi się do kukurydzy, $H=240$ cm [8].

Ekstremalne wartości średniej wysokości warstwy wypierania \bar{d} dla pszenicy wynoszą 20 cm [34] i 50 cm [8, 34], odpowiednio dla $H=80$ cm oraz 110÷130 cm. Dla kukurydzy \bar{d} waha się od 65 cm ($H=150$ cm) do 105 cm ($H=250$ cm).

Analiza danych zawartych w tab. 1 wykazuje, że wartości \bar{d} dla roślin nawet tego samego gatunku i o zbliżonych wysokościach mogą dość znacznie odbiegać od siebie. Wynika to m.in. z różnic gęstości pokryw roślinnych, które zależą od sposobu uprawy i od fazy rozwojowej. Rożanska [34] dla dwóch pól pszenicy o wysokości 80 cm otrzymała w przypadku pszenicy o większej gęstości (nawadnianej) $\bar{d}=30$ cm, a w przypadku pszenicy rzadkiej (nie nawadnianej) 20 cm. Konstantinow i in. [13] na przykładzie kukurydzy wykazali, że d z reguły wzrasta ze wzrostem wysokości pokrywy roślinnej, ale wzrost d jest modyfikowany zmianą gęstości pokrywy w okresie wegetacji. Ponadto, jak wykazuje wielu badaczy, d zależy od prędkości wiatru. Według Konstantinowa [10] (pszenica, patrz tab. 2), Konstantinowa i in. [13] (kukurydza) oraz Stollera i Lemona (cyt. za Inoue [8] kukurydza) d maleje ze wzrostem prędkości wiatru.

Tabela 2

Zależność d dla pszenicy od prędkości wiatru (według Konstantinowa [10])

Dependence of d upon wind velocity for wheat (after Konstantinow [10])

u_{2m} (m/s)	1,4	1,8	2,7	3,2	3,5	4,0	5,4
d (cm)	41	38	34	32	31	30	25

Natomiast według Ridera [33] (owies, patrz tab. 3) i Ljapiny [15] (ziemniaki) d wzrasta ze wzrostem u .

Tabela 3

Zależność d i d/H dla owsa ($H=80$ cm) od prędkości wiatru (według Ridera [33])

Dependence of d and d/H upon wind velocity for oats, $H=80$ cm (after Rider [33])

u_{2m} (m/s)	1	1—2	2—3	3—4	4
d (cm)	19	21	26	33	43
d/H	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5

Deacon [5] (trawa) twierdzi, że zmiany d wywołane wzrostem prędkości wiatru są nieistotne i dla trawy o wysokości 60—70 cm przyjmuje stałą wartość $\bar{d}=25$ cm.

Z praktycznego punktu widzenia wydaje się celowe zwrócenie uwagi na względną warstwę wypierania d/H . Przedstawione w tab. 1 średnie wartości względnej warstwy wypierania \bar{d}/H zawierają się w granicach 0,25—0,8. Kształtowanie się d/H zależy od struktury geometrycznej pokrywy roślinnej. Struktura ta jest determinowana całkowitą powierzchnią fitomasy i jej pionowym rozkładem.

Jefimowa [9] w zależności od charakteru rozkładu względnej powierzchni fitomasy (powierzchnia elementów roślin odniesiona do jednostkowej powierzchni gleby, nad którą występuje, ang. leaf area index — LAI) z wysokością wyróżniła trzy typy geometrycznej struktury pokryw roślinnych: typ I z maksimum względnej powierzchni fitomasy w górnej lub środkowej części pokrywy, typ II z maksimum względnej powierzchni fitomasy w dolnej części pokrywy oraz typ III z mniej więcej równomiernym rozkładem tej powierzchni z wysokością.

Zgodnie z Jefimową typ I struktury pokrywy z maksimum powierzchni fitomasy w jej górnej części jest charakterystyczny dla kukurydzy. Maksimum to jest kształtowane przede wszystkim przez liście górnej i środkowej warstwy pokrywy oraz przez kolby; łodygi odgrywają mniejszą rolę. Z danych Uchijimy [8] (patrz tab. 1) wynika, że \bar{d}/H dla kukurydzy wynosi 0,6 natomiast według Pawłowa i Ustienki [26] — tylko 0,4. Wydaje się, że można byłoby to wyjaśnić m.in. rzadkim zasiewem kukurydzy, a także przemieszczeniem się w dół poziomu z maksimum powierzchni fitomasy, wynikającym ze zwiększenia się wysokości kukurydzy po pojawieniu się wiechy. Gojsa i Rogaczenko [7] podają, że poziom z maksimum powierzchni liści kukurydzy jest tym wyższy, im większa jest gęstość zasiewu, przy czym w każdym przypadku przyjmuje on najwyższe położenie w fazach rozwoju: 20-ty liść — pojawienie się wiechy. Wyniki badań Konstantinowa i in. [13] świadczą, że dla tego samego pola kukurydzy d/H w okresie wegetacji może obejmować cały przedział wartości podanych dotychczas przez poszczególnych badaczy dla różnej roślinności, a mianowicie od około 0,3 w fazie 5—6 liścia do około 0,9 w fazie kwitnienia. Dane Stollera i Lemona (cyt. za Inoue [8], tab. 1) wskazują na fakt, iż wartość d/H dla pola kukurydzy w sprzyjających warunkach, a mianowicie przy małych prędkościach wiatru, jest dość duża i wynosi 0,7, co odpowiadałoby typowi I geometrycznej struktury pokrywy. Natomiast przy większych prędkościach wiatru d/H dla tego samego pola kukurydzy zmniejsza się do 0,3. Największymi przedstawionymi w tab. 1 wartościami \bar{d}/H , tj. 0,8 i 0,75, odznaczają się odpowiednio bawełna (Ajzensztat i in., cyt. za Konstantinowem [10]) i lucerna [10]. Można sądzić, że jest to uwarunkowane usytuowaniem poziomu z maksimum powierzchni fitomasy w górnej części pokrywy, jakie tworzą te rośliny, a także dużymi war-

tościami powierzchni fitomasy. Należy spodziewać się, że \bar{d}/H kształtuje się podobnie w przypadku ziemniaków [15, 24].

Typ II struktury pokrywy roślinnej z maksimum powierzchni fitomasy w jej dolnej części zdaniem Jefimowej jest charakterystyczny dla wielu odmian pszenicy, a także żyta. Maksimum to jest tworzone w większym stopniu przez powierzchnię źdźbeł niż liści. Według Ginindera (cyt. za Inoue [8], tab. 1) \bar{d}/H dla pszenicy wynosi 0,4. Zbliżone wyniki uzyskała Rożanska [34], przy czym, według tej autorki, \bar{d}/H dla pszenicy o małej gęstości jest znacznie mniejsze i wynosi tylko 0,25. Natomiast z danych Konstantinowa [10] oraz Rusina [36] wynika, że \bar{d}/H dla pszenicy może być znacznie większe, a mianowicie około 0,7. Wydaje się, że przypadek ten można byłoby zaliczyć do typu III geometrycznej struktury pokrywy roślinnej, który przypisała Jefimowa właśnie jednej z odmian pszenicy, ale o równomiernym rozkładzie powierzchni fitomasy z wysokością. Menzulin [21] skonstatował, że dla dwu typów pokryw roślin zbożowych o jednakowej całkowitej powierzchni fitomasy (LAD) wartość d/H może być znacznie większa w przypadku równomiernego rozkładu tej powierzchni z wysokością niż w przypadku występowania jej maksimum w dolnej części pokrywy.

Jefimowa [9] na przykładzie pszenicy wykazała, że pola uprawne poszczególnych odmian danego gatunku rośliny mogą tworzyć odmienne typy geometrycznej struktury pokrywy roślinnej. Ponadto struktura danej pokrywy może zmieniać się w okresie wegetacji na skutek przemieszczania się warstwy z maksimum powierzchni fitomasy. Zatem w obu przypadkach d/H może przybierać różne wartości. Należy tu jeszcze uwzględnić modyfikujące działanie wiatru na geometrię pokrywy roślinnej, a więc i na wielkość d/H (patrz tab. 2 i 3).

Z rozważań przeprowadzonych powyżej wynika, że należy zachować ostrożność przy przyjmowaniu na podstawie literatury wartości \bar{d}/H dla celów praktycznych, a mianowicie odmierzenia wysokości poziomów pomiarów elementów meteorologicznych. Zalecane w instrukcji radzieckiej [35] stosowanie poziomego odniesienia (zerowego) równego $2/3 H$ roślin niezależnie od ich gatunku i gęstości w świetle powyższego nie jest słuszne. Na fakt ten zwracają także uwagę Konstantinow i in. [11].

3.2. WARTOŚĆ z_0 DLA PÓL UPRAWNYCH

Jak wynika z tab. 1 ekstremalne wartości $\bar{z}_0=0,2$ cm i 25 cm odnoszą się odpowiednio do najniższej pokrywy roślinnej — trawy, $H=1,5$ cm [5] i pokrywy najwyższej — kukurydzy, $H=250$ cm [26]. Należy zauważyć, że wartości \bar{z}_0 , podobnie jak wartości \bar{d} , wyznaczone przez poszcze-

gólnych autorów zarówno dla różnych, jak i dla tych samych gatunków roślin o zbliżonej wysokości dość znacznie odbiegają od siebie. Na przykład $z_0=5$ cm [8] i 15 cm [26] odnoszą się do kukurydzy o zbliżonym H : 140 i 150 cm. Według Konstantinowa i in. [13] z_0 dla kukurydzy wzrasta z reguły wraz z jej wzrostem i rozwojem (patrz tab. 4). Zmienia się natomiast intensywność wzrostu z_0 w okresie wegetacji.

Tabela 4

Zależność parametru z_0 od fazy rozwoju kukurydzy (według Konstantinowa i in. [13])
 Dependence of parameter z_0 upon phase of maize growth (after Konstantinow and others [13])

Faza	5—6 liścia	7—8 liścia	9—10 liścia	14 liścia	15—16 liścia	18 liścia-wysuwanie się wiechy	Kwitnienie-pojawienie się nitkowanych słupków	Dojrzałość mleczna
z_0 (cm)	1	2	2,5	3	4,5	7	9,5	10

Tabela 5

Zależność z_0 i z_0/H oraz współczynnika oporu C_D dla trawy ($H=60-70$ cm) od prędkości wiatru (według Deacona [5])

Dependence of z_0 and z_0/H and of drag coefficient C_D upon wind velocity for grass, $H=60-70$ cm (after Deacon [5])

u_{2m} (m/s)	1,48	2,48	3,43	4,76	6,22
z_0 (cm)	9,0	8,2	6,1	4,4	3,7
z_0/H	0,14	0,13	0,09	0,07	0,06
C_D	0,033		0,026		0,021

Muminow [23] twierdzi, że z_0 dla ziemniaków wzrasta wraz ze zwiększaniem się ich wysokości i wynosi 2,0 cm, 5,7 cm i 8,9 cm odpowiednio dla $H=25$ cm, 40 cm i 55 cm. Zdaniem Ljapiny [15] największą rolę w kształtowaniu się z_0 odgrywa gęstość pokrywy roślinnej. Według [15], we wcześniejszych fazach rozwojowych, kiedy ziemniaki są niskie i nie tworzą zwartej pokrywy, jest ona dość dobrze przewiewana i nierówności kształtujące parametr szorstkości są większe niż w fazach późniejszych, kiedy ziemniaki są wyższe i tworzą jednolitą zwartą pokrywę. Wówczas tylko ich wierzchołki stanowią nierówności, a więc z_0 jest mniejsze.

Niektórzy badacze wskazują na wyraźną zależność z_0 od prędkości wiatru. Deacon [5] (trawa, patrz tab. 5), Konstantinow [10] (trawa, pszenica) oraz Konstantinow i in. [13] (kukurydza) konstatują, że z_0 wyraźnie zmniejsza się ze wzrostem prędkości wiatru.

Według Deacona zmniejszanie się z_0 dla trawy (tab. 5) z 9,0 cm do 3,7 cm odpowiada zmniejszeniu się współczynnika oporu prawie o 40%. Jest to efekt dużej podatności trawy na odkształcanie się pod wpływem wiatru. Liście wysokiej trawy, które przy małych prędkościach wiatru są ustawione prawie prostopadle do kierunku przepływu strumienia powietrza, ze wzrostem prędkości uginają się przyjmując położenie prawie równoległe. Powierzchnia trawy wygładza się i współczynnik oporu oraz parametr szorstkości maleją.

Rider [33] (owies) twierdzi również, że z_0 zależy od prędkości wiatru, nie podaje jednak danych dotyczących charakteru tej zależności. Zgodnie z informacją Yoshino [40], z_0 dla pola owsa badanego przez Ridera [33] pozostaje stałe ze wzrostem prędkości wiatru.

Z tabl. 1 widać, że średnie wartości względnego parametru szorstkości \bar{z}_0/H dla roślin uprawnych wahają się od 0,04 do 0,2. Najwyższa wykazana tu wartość $z_0/H=0,5$ odnosi się do trawy o wysokości 4,5 cm przy $u_{2m}=2,0$ m/s [5]. Kształtowanie się z_0/H dla trawy w zależności od prędkości wiatru, według Deacona [5], przedstawia tab. 5.

3.3. ZALEŻNOŚĆ d I z_0 DLA PÓL UPRAWNYCH OD PRĘDKOŚCI WIATRU

Z rozważań przeprowadzonych w punkcie 3.1 i 3.2 wynika, że istnieją różne poglądy dotyczące zależności d i z_0 od prędkości wiatru, a mianowicie:

1. Według Deacona [5] (trawa) d pozostaje stałe, natomiast z_0 maleje ze wzrostem prędkości wiatru.
2. Według Konstantinowa i in. [10] (pszenica, trawa); [13] (kukurydza), ze wzrostem prędkości wiatru maleje zarówno d , jak i z_0 .
3. Według Ridera [33] (owies) d wzrasta ze wzrostem prędkości wiatru; autor ten nie podaje danych dotyczących charakteru zależności z_0 od u .

4. PORÓWNANIE EMPIRYCZNYCH WARTOŚCI WYSOKOŚCI WARSTWY WYPIERANIA d I PARAMETRU SZORSTKOŚCI z_0 DLA LASU

Przy porównaniu d i z_0 dla różnych drzewostanów (tab. 6) występują trudności wynikające głównie z niewystarczających danych dotyczących struktury drzewostanu. Z rozważań Rauniera [31] wynika, że w lasach jednorodnych można wyróżnić trzy typy geometrycznej struk-

tury drzewostanu w zależności od położenia maksimum powierzchni fitomasy (LAI): typ I z maksimum powierzchni fitomasy w górnej, typ II w dolnej i typ III w środkowej części warstwy koron. Typy te można odnieść także do pól uprawnych. W lesie o wielopiętrowej strukturze warstwy koron, wynikającej z występowania drzew różnego gatunku i wieku, można zauważyć kilka warstw z rozmaicie położonym maksimum powierzchni fitomasy.

4.1. WARTOŚCI \bar{d} DLA LASU

Z tab. 6 widać, że ekstremalne wartości $\bar{d}=1,6$ m i 27,58 m odnoszą się odpowiednio do lasu najniższego, $H=2,8$ m [38] i najwyższego, $H=20-35$ m [14]. Wartości \bar{d} są przeważnie tym większe, im większa jest wysokość drzewostanu. Od powyższego znacznie odbiega wartość $\bar{d}=7,0$ m dla lasu liściastego z przewagą brzozy [29, 30]. Jest ona znacznie niższa niż wynikałoby to z wysokości drzew.

Średnie wartości względnej warstwy wypierania $\bar{d}/H=0,6$ i 0,7—0,9 odnoszą się odpowiednio do lasów niższych (do wysokości około 15 m) i do lasów wyższych. Wyjątek stanowi tu las liściasty [29, 30], $H=16,5$ m, dla którego $\bar{d}/H=0,45$.

Należy podkreślić, że na dokładność porównywanych tu wartości \bar{d}/H (również i z_0/H) wpływa m.in. różny sposób określania wysokości lasu, np. jako średniej wysokości kilku najwyższych drzew lub średniej górnej granicy warstwy koron.

4.2. WARTOŚCI z_0 DLA LASU

Analiza danych w tab. 6 nie wykazuje wyraźnej zależności wartości \bar{z}_0 od wysokości drzewostanu. Natomiast warto zwrócić uwagę na bardzo bliskie wartości $\bar{z}_0=0,25$ m i 0,26 m dla kukurydzy, $H=2,5$ m ([26], tab. 1) i lasu sosnowego, $H=2,8$ m ([38], tab. 6. Największe wartości \bar{z}_0 odnoszą się do lasów liściastych o kilkupiętrowej warstwie koron. Wynoszą one 4,69 m, 2,0 m i 3,0 m odpowiednio do wiecznie zielonego lasu zwrotnikowego o wysokości drzew w górnym piętrze 20—35 m oraz dla lasu brzozowego z listowiem i bez listowia o wysokości 16,5 m [30, 29].

Jak wynika z tab. 6, średnie wartości względnego parametru szorstkości \bar{z}_0/H wahają się od 0,02 do 0,2. Z analizy danych w cytowanej literaturze wynika, że najniższa wartość z_0/H wynosi 0,01 (obliczono na podstawie wartości z_0 wykazanych w [1] i [16] dla poszczególnych serii obserwacji), zaś najwyższa 0,3 ([12, 29], patrz tab. 6).

Empiryczne wartości aerodynamicznych parametrów lasu wyznaczone
 Empiric values of aerodynamic parameters for forests, determined

Lp.	Autor	Drzewostan	H (m)
1	Tajchman [38]	sosna	2,8
2	Raunier [27]	świerk	5,55
3	Allen [1]	modrzew	10,4
4	Lesnik [17]	sosna	11—12
5	Leonard, Federer [16]	sosna	11,6 $H_{\max} = 14,9$
6	Oliver [25]	sosna	15,5
7	Raunier [30]	las liściasty z przewagą brzozy (z listowiem)	16,5
8	Raunier [29]	las liściasty z przewagą brzozy (bez listowia)	16,5
9	Belt [2]	sosna	23,4
10	Konstantinow, Fiedorow [12]	świerk	26,0
11	Marunicz [19]	świerk	26,0
12	Tajchman [39]	świerk	27,2 $H_{\max} = 29,9$
13	Landsberg i in. [14]	wiecznie zielony las zwrotnikowy	w górnym piętrze 20—35

H — średnia wysokość lasu; u — średnia prędkość wiatru; d — wysokość warstwy wypierania; \bar{d}/H — średnia względna warstwa wypierania; z_0 — parametr szorstkości — średni względny parametr szorstkości.

Tabela 6

na podstawie pomiaru profili prędkości wiatru
on the basis of measured profiles of wind velocity

u (m/s)	d (m)	\bar{d} (m)	d/H	\bar{d}/H	z_0 (m)	\bar{z}_0 (m)	z_0/H	\bar{z}_0/H
		1,6		0,6		0,26		0,1
$u_{16,0}$ 3,6—3,7		3,2		0,6		0,65		0,1
$u_{15,69}$ 2,5—8,4		6,35		0,6		1,12		0,1
						0,30		0,02
$u_{19,90}$ 2,9—5,5		9,60		0,6		1,0		0,1
		11,8		0,8		0,96		0,1
$u_{22,5m}$ 1,8 5,1 3,0	12,0 5,0	7,0	0,7 0,3	0,45	0,6 3,8	2,0	0,04 0,2	0,1
2,0—3,5 5,0—7,0 2,0—5,0	8,5 4,0	7,0	0,5 0,2	0,4	2,7 5,0	3,0	0,2 0,3	0,2
		20,77	0,8—0,9	0,9		0,47		0,02
$u_{29,0m}$ 2,0 3,8 1,5—3,1	21,6 10,0	21,6	0,8 0,4	0,8	0,40 7,25	0,5	0,02 0,3	0,02
$u_{42,0m}$ 1 9	22,0 12,5		0,8 0,5		1,0 5,0		0,04 0,05	
$u_{30,9m}$ 0,5 5,0		19,6		0,7	7,2 2,2		0,24 0,07	
u_{50m} 2,0—2,5 3,5—4,5	29,53 27,16	27,58	0,8 0,8	0,8	0,83 5,62	4,69	0,02 0,2	0,1

wypierania; \bar{d} — średnia wysokość warstwy wypierania; d/H — względna warstwa ści; z_0 — średni parametr szorstkości; z_0/H — względny parametr szorstkości; \bar{z}_0/H

4.3. ZALEŻNOŚCI d i z_0 DLA LASU OD PRĘDKOŚCI WIATRU

Opinie badaczy na ten temat są zróżnicowane, a w niektórych przypadkach sprzeczne. Można wyróżnić tu trzy poglądy:

1. Według Allena [1], Belta [2], Leonarda i Federera [16] oraz Olivera [25] nie występuje istotna zależność d i z_0 od prędkości wiatru. Oliver próbuje to wyjaśnić małą elastycznością drzew, tj. małą zdolnością adoptowania się pokrywy leśnej do napływającego strumienia powietrza.

2. Według Tajchmana [37, 39] d pozostaje stałe, zaś z_0 zmniejsza się ze wzrostem prędkości wiatru (tab. 7).

Tabela 7

Zależność z_0 dla lasu świerkowego ($H=27,2$ m) od prędkości wiatru (według Tajchmana [39])

Dependence of z_0 upon wind velocity for a spruce forest, $H=27,2$ m (after Tajchman [39])

$u_{30,9m}$ (m/s)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
z_0 (m)	7,2	5,4	4,2	,5	2,9	2,6	2,4	2,3	2,2	2,2

Wyznaczona przez Tajchmana [37, 39] wartość \bar{d} dla lasu świerkowego (tab. 7) wynosi 19,6 m.

3. Według Konstantinowa i Fiedorowa [12] (patrz tab. 8), Landsberga i in. [14], Lesnika [17], Marunicza [19] i Rauniera [29, 30] ze wzrostem prędkości wiatru d maleje, natomiast z_0 wzrasta.

Tabela 8

Zależność d i z_0 dla lasu świerkowego ($H=26,0$ m) od prędkości wiatru (według Konstantinowa i Fiedorowa [12])

Dependence of d and z_0 upon wind velocity for a spruce forest, $H=26,0$ m (after Konstantinow and Fiedorow [12])

$u_{9,0m}$ (m/s)	1,47	2,01	2,32	2,62	3,10	3,42	3,37	3,42	3,33	3,76
z_0 (m)	0,58	0,4	0,60	0,64	0,40	0,67	1,57	2,24	5,75	7,26
d (m)	21,5	21,6	21,7	21,6	21,6	20,8	18,8	17,7	12,3	10,0

Konstantinow i Fiedorow przyjęli, że dla lasu świerkowego (tab. 8) $\bar{d}=21,6$ m, zaś $\bar{z}=0,5$ m. Należy podkreślić, iż autorzy ci jako pierwsi stwierdzili, że w warunkach lasu zmniejszanie się d i zwiększenie z_0 prowadzi do zmniejszenia się ich sumarycznej wysokości D .

Zwiększanie się parametru szorstkości ze wzrostem prędkości wiatru jest uwarunkowane zmianą geometrycznych charakterystyk poszczególnych drzew, a przede wszystkim zmianą orientacji liści i gałęzi odpowiednio do kierunku przepływu strumienia powietrza i wynikającym stąd zwiększeniem się aerodynamicznego oporu lasu. Przy wzroście prędkości wiatru strumień powietrza przenika głębiej do wnętrza pokrywy leśnej i coraz większa część drzewa (licząc od wierzchołka) staje się przeszkodą dla tego strumienia. W ten sposób ze zwiększaniem się prędkości wiatru jak gdyby rośnie wysokość i efektywna powierzchnia opływanych przeszkód, a więc z_0 rośnie; maleje przy tym d [10, 12, 19]. Jak wykazano w punkcie 3.2 efekt działania strumienia powietrza na geometryczną strukturę pokrywy trawiastej jest odmienny. Tutaj zwiększanie się prę-

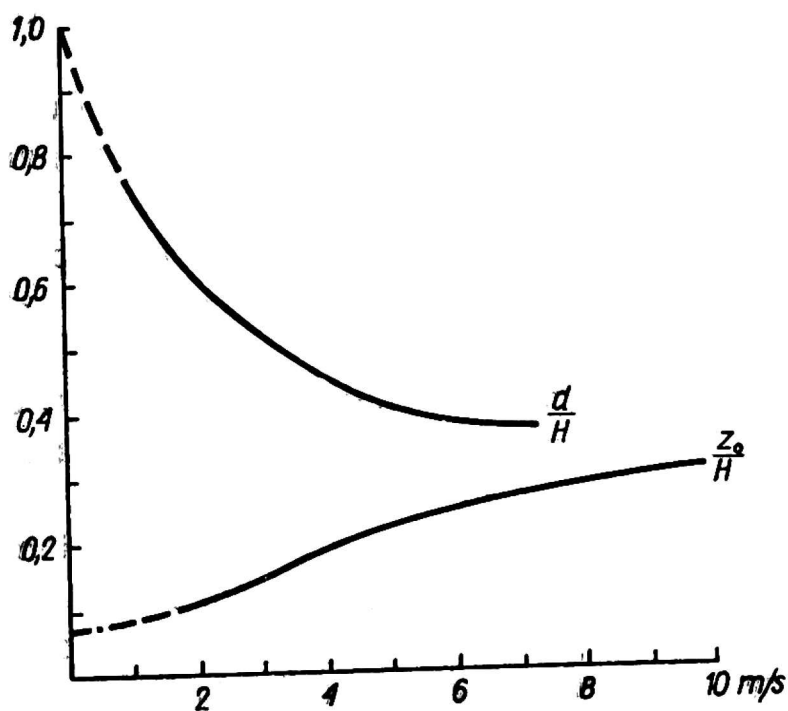


Fig. 2

Zależność względnych wartości parametru szorstkości z_0/H i warstwy wypierania d/H od prędkości wiatru dla różnych drzewostanów (według Rauniera [31])

Dependence of relative values of roughness parameter z_0/H and of zero-plane displacement d/H upon wind velocity, determined for various tree stands (after Raunier [31])

kości wiatru powoduje wygładzanie nierówności i zmniejszanie współczynnika oporu, a zarazem parametru szorstkości. Marunicz [19] dopuszcza możliwość podobnego zachowania się z_0 w przypadku lasu liściastego. Jednakże Raunier [29, 30] oraz Landsberg i in. [14] również i w odniesieniu do lasów liściastych stwierdzają wzrost z_0 ze wzrostem

prędkości wiatru. Raunier [29] zwraca uwagę na zwiększanie się parametru szorstkości po opadnięciu liści.

Zależność d/H i z_0/H od prędkości wiatru dla różnych drzewostanów ilustruje fig. 2. Ze wzrostem prędkości wiatru obie te wielkości przybierają wartości odpowiadające w przybliżeniu wysokości położenia warstwy z maksimum właściwej powierzchni fitomasy (d/H na skutek zmniejszania się bezwzględnej wartości d , natomiast z_0/H na skutek zwiększania się bezwzględnej wartości z_0).

5. WNIOSKI

W oparciu o cytowaną literaturę można stwierdzić:

1. Parametry aerodynamiczne pokrywy roślinnej d i z_0 zależą od gatunku, wysokości i gęstości roślinności, od jej faz rozwojowych oraz od prędkości wiatru.

2. Występująca w niektórych przypadkach nieporównywalność empirycznych wartości d i z_0 podanych przez poszczególnych autorów zarówno dla różnych, jak i dla tych samych gatunków roślin o zbliżonej wysokości wynika z różnic geometrycznej struktury pokrywy roślinnej, prędkości wiatru, a także nieujednoliconej metodyki wyznaczania tych parametrów.

3. Problem charakteru zmiany wielkości d i z_0 wywołanej wzrostem prędkości wiatru nie jest jeszcze rozwiązany. Rozwiązanie jego należałoby oprzeć na pomiarach profili wiatru w szerokim zakresie prędkości nad różnymi pokrywami roślinnymi, z uwzględnieniem ich struktury geometrycznej w poszczególnych fazach rozwojowych.

Niniejsze opracowanie jest związane z pracą doktorską wykonywaną przez autorkę w Zakładzie Dynamiki Środowiska Geograficznego IG PAN w Warszawie.

LITERATURA

- [1] Allen L. H., *Turbulence and wind speed spectra within a Japanese larch plantation*, J. Appl., Meteor., vol. 7, No. 1, 1968.
- [2] Belt G. H., *Estimation of sensible heat momentum fluxes in the boundary layer of a pine plantation* (abstract), Bull. Amer. Meteor., Soc., vol. 50, No. 6, 1969.
- [3] Bykowa L. P., *Opyt rasczeta charakteristik pogranicznogo sloja atmosfery po zadannym parametram podsloja szerochowatosti*, Trudy GGO, wyp. 297, 1973.
- [4] Chamidow A. Ch., *Raspriedielenie listowej powierzchni w rastitielnom pokrowie chlopczatnika*, Trudy SANIGMI, wyp. 4(85), 1972.
- [5] Deacon L. P., *Vertical profiles of mean wind in the surface layers of the atmosphere*, Geophys. Mem., vol. 11, No. 91, 1953.

- [6] Gangopadhyaya M., Harbeck G., Jr., Nordenson T. J., Omar M. H., Uryvaev V. A., *Measurement and estimation of evaporation nad evapotranspiration*, Technical Note No. 83, WMO-No. 201. TP. 105, Geneva 1966.
- [7] Gojsa N. I., Rogaczenko A. D., *O wzaimoswżazi profilej fitometriczeskich i radiacionnych charakteristik posiewow kukuruzy*, Trudy GGI, wyp. 94, 1970.
- [8] Inoue E., *On the turbulent of airflow within crop canopies*, J. Meteor. Soc. Japan, ser. II, vol. 41, No. 6, 1963.
- [9] Jefimowa N. A., *Wlijanie tipa trawostoja na formirowanie fitoklimata posiewow. Agroklimaticzeskie riesursy prirodnych zon SSSR i ich ispolzowanie*, Gidromietieoizdat, Leningrad 1970.
- [10] Konstantinow A. R., *Isparienie w prirodie*, Gidromietieoizdat, Leningrad 1968.
- [11] Konstantinow A. R., Astachowa N. I., Lewienko A. A., *Mietody rasczeta isparienija s selskochozajstwieniennych polej*, Gidromietieoizdat, Leningrad 1971.
- [12] Konstantinow A. R., Fiedorow S. F., *Opyt primienienija gradientnych maczt dlja opriedielenija isparienija i tieploobmienna w lesu*, Trudy GGI, wyp. 81, 1960.
- [13] Konstantinow A. R., Leonowa L. D., Rogaczenko A. D., Bibik W. W., Ognjanik G. S., *Charakteristika turbulentnogo tieplo- i włagoobmienna oroszajemoj kukuruzy*, Trudy Ukr. NIGMI, wyp. 57, 1966.
- [14] Landsberg H. E., Thompson O. E., Kaylor R. E., Pinker R. T., *Environmental conditions in a tropical forest region in Thailand*, Inst. Fluid Dyn. Appl. Math., Technical Note BN 799, Univ. Maryl., College Park 1974.
- [15] Ljapina R. S., *Profil wietra i paramietr szerochowatosti na kartofielnom pole*, Trudy GGO, wyp. 214, 1967.
- [16] Leonard R. E., Federer C. A., *Estimated and measured roughness parameters for a pine forest*, J. Appl., vol. 12, 1973.
- [17] Lesnik G. E., *Ocenka tolszcziny sloja wytiesnienija i paramietra szerochowatosti nad lesom*, A. N., SSSR, Fizika Atmos. i Okeana, t. IX, No. 1, 1973.
- [18] Lettau H., *Note on aerodynamic roughness-parameter estimation on the basis of roughness-element description*, J. Appl. Meteor., vol. 8, 1969.
- [19] Marunicz S. W., *Charakteristiki turbulentnosti w usłowijach lesa po gradientnym i strukturnym nabljudienijam*, Trudy GGI, wyp. 198, 1971.
- [20] Marunicz S. W., *Ob aerodinamiczeskich paramietrach lesnych massiwow*, Trudy GGI, wyp. 224, 1975.
- [21] Menzulin G. W., *Ob aerodinamiczeskich paramietrach rastitielnogo pokrowa*, Trudy GGO, wyp. 282, 1972.
- [22] Miara K., *Wpływ szorstkości podłoża na turbulencyjną wymianę ciepła odczuwalnego*. Referat wygłoszony na XV Zjeździe Agrometeorologii i Meteorologii Leśnej AR, Krynica 25—27 IX 1975.
- [23] Muminow F. A., *Tieplowoj balans i mietieorologiczeskij rezim kartofielnogo polja*, Gidromietieoizdat, Leningrad 1963.
- [24] Ogniewa T. A., *Niekotoryje woprosy primienienija mietoda tieplowogo balansu dlja opriedielenija isparienija*, Trudy GGO, wyp. 230, 1968.
- [25] Oliver H. R., *Wind profiles in and above a forest canopy*, Quart. J. Roy. Meteor. Soc., vol. 97, No. 414, 1971.
- [26] Pawłow A. W., Ustienko G. P., *Tieplowoj balans i radiacionnyj rezim kukuruzy w posiewach*, Izwestija A. N. SSSR, ser. geogr., No. 6, 1965.
- [27] Raunier Ju. L., *Issledowanie tieplowogo i wodnogo balansu molodogo sosnowego lesa*, Izwestija A. N. SSSR, ser. geogr., No. 4, 1959.

- [28] Raunier Ju. L., *Niekotoryje riezultaty tieplobalansowych nabljudienij w listwiennom lesu*, Izwiestija A. N. SSSR, ser. geogr., No. 5, 1958.
- [29] Raunier Ju. L., *O tieplowom balansie lesa w zimnyj pieriod*, Izwiestija A. N. SSSR, ser. geogr., No. 4, 1961.
- [30] Raunier Ju. L., *Tieplowoj balans lesa*, Izwiestija A. N. SSSR, ser. geogr., No. 1, 1960.
- [31] Raunier Ju. L., *Tieplowoj balans rastitielnogo pokrowa*, Gidromietieoizdat, Leningrad 1972.
- [32] Raunier Ju. L., Ananiew I. P., *Charaktieristiki atmosfiernoj turbulentnosti w uslowijach lesa*, Izwiestija A. N. SSSR, ser. geogr., No. 2, 1971.
- [33] Eider N. E., *Evaporation from an oat field*, Quart. J. Meteor. Soc., vol. 80, No. 344, 1954.
- [34] Rożanska O. D., *Raszczet summarnogo isparienija s oroszajemych polej, zanjatych zernowymi kulturami*, Izdatielstwo A. N. SSSR, Moskwa 1953.
- [35] *Rukowodstwo po gradientnym nabljudienijam i opriedieleniju sostawljajuszczich tieplowogo balansa*, Gidromietieoizdat, Leningrad 1964.
- [36] Rusin N. P., *Opriedielenie isparienija na sielskochozjajstwiennyh poljach*, Trudy GGO, wyp. 52/1449, 1955.
- [37] Tajchman S., *Energie- und wasserhaushalt vershiedener pflanzenbestände bei München*, Univ., München Meteor. Inst. Wiss. Mitt., No. 12, 1967.
- [38] Tajchman S. J., *On vertical profiles of meteorological parameters above layer of rough vegetation*, J. Geoph. Res., vol. 78, No. 27, 1973.
- [39] Tajchman S. J., *The radiation and energy balances of coniferous and deciduous forests*, J. Appl. Ecol., vol. 9, 1972.
- [40] Yoshino M. M., *Climate in a small area*, Univ. of Tokyo Press, 1975.

Czesława Szwed-Ilnicka

ON THE AERODYNAMIC PARAMETERS OF THE VEGETATION COVER

Summary

This study bears the traits of a survey and constitutes a tentative synthesis of reports on the pattern of the aerodynamic parameters of a vegetation cover: the parameter of roughness z_0 and the zero-plane displacement contingent on height and compactness of this cover and on wind velocity. In Part I the author presents in the manner of a survey, based on the model of a near-surface layer [9, 31], the values of d and z_0 . In Part II she relates a number of empiric formulae for calculating these values, as suggested by various authors. Parts III and IV she dedicated to confronting values of d and z_0 for tilled fields and forests, collected from available literature, where these values were determined on the basis of measured profiles of wind velocity.

Many of the empiric data indicate the fact, that for a definite vegetation cover the parameters d and z_0 are no constant values, but that they change with changes in wind velocity and with changes in the geometric shape of this cover. Five opinions may be singled out about the behaviour of d and z_0 , for both tilled fields and forests, depending on rising wind velocities, where: 1) d is a constant and z_0 is a constant; 2) d is a constant but z_0 is decreasing; 3) d is decreasing and z_0 is decreasing also; 4) d is increasing, but data are lacking for z_0 in [33]; 5) d is decreasing but z_0 is increasing.

In agreement with the opinion of many authors, further detailed investigations are required for final solving the question how d and z_0 change due to the impact of wind; principal attention would have to be concentrated in a wide range of velocities upon exact measurements of wind profiles above vegetation of different types, with due consideration of the compactness of the cover during its particular stages of growth.