

Wpłynęło 25.06.2012 r.
Zrecenzowano 25.09.2012 r.
Zaakceptowano 30.11.2012 r.
A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

STAN GRUNTU WE WROCŁAWIU-SWOJCU W LATACH 1881–2010

Krystyna BRYŚ^{ABCDEF}

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska

Streszczenie

W pracy analizowano zmienność i uwarunkowania meteorologiczne stanu gruntu (w znaczeniu klimatologicznym), zaobserwowanego w latach 1961–2010 we Wrocławiu-Swojcu. Wyprowadzone dla 50-lecia silne związki statystyczne pomiędzy stanem gruntu i podstawowymi elementami meteorologicznymi są podstawą utworzenia optymalnych równań regresji wielokrotnej, niezbędnych do rekonstrukcji stanu gruntu we Wrocławiu-Swojcu od 1881 do 1960 r. Poddano analizie poziom otrzymanych błędów estymacji oraz współczynników determinacji. Oprócz analizy standardowej ANOVA równania regresji zweryfikowano za pomocą procedury *cross-validation*. W tak zrekonstruowanych 130-letnich (1881–2010) przebiegach średnich miesięcznych wartości stanu gruntu, największe różnice występują pomiędzy istotnymi statystycznie ujemnymi trendami półrocza hydrologicznego chłodnego (XI–IV) i nieistotnymi tendencjami półrocza ciepłego (V–X). W porównaniu z tym wieloleciem w okresie 1961–2010 obserwuje się silne wzmocnienie tego kontrastu pomiędzy tendencjami obu półroczy. Oprócz zmian ujemnych trendów zimowych ważne znaczenie mają zmiany istotnych statystycznie ujemnych trendów wiosennych (III–V). Zimą decydujące znaczenie dla stanu gruntu ma frekwencja dni z pokrywą śnieżną, natomiast latem częstość dni z opadem, parowanie oraz klimatyczny bilans wodny.

Słowa kluczowe: opad, pokrywa śnieżna, rekonstrukcja, stan gruntu, temperatura powietrza

WSTĘP

Pojęcie „stan gruntu” odnosi się do powierzchni samego gruntu oraz do powierzchni śniegu lub lodu znajdującego się na gruncie (nie do gruntu pod śniegiem lub lodem) [NIEDŹWIEDŹ (red.) 2003; PIHM 1962]. Od dawna obserwatorzy stacji meteorologicznych notują w trzech terminach obserwacyjnych spostrzeżenia doty-

czące stanu gruntu, które nie zawsze są wykorzystywane. Zakres użyteczności tego specyficznego, nieciąglego parametru jest ciągle niedoceniany, choć informacje o zmieniającym się pod wpływem czynników pogodowych wyglądzie powierzchni gruntu mogą być wykorzystane w wielu studiach agrometeorologicznych i klimatologicznych. Należą do nich prace poruszające problematykę bilansów: radiacyjnego, cieplnego i wodnego [BRYŚ 2010; BRYŚ, BRYŚ 2004; MONTEITH 1973; MONTEITH, SZEICZ 1961; PASZYŃSKI i in. 1995; 1999].

Obserwacje stanu gruntu (rozumianego wg terminologii klimatologicznej) są stosunkowo łatwe i nie wymagają specjalistycznej aparatury, mogą więc być prowadzone w każdej stacji terenowej. Informacje o stanie gruntu są podstawowym materiałem umożliwiającym wstępną, jakościową weryfikację materiałów pomiarowych, m.in. w kwestiach prawidłowego odnotowania temperatury powietrza, opadu, parowania, obecności pokrywy śnieżnej, czy uwilgotnienia i termiki gruntu. Wieloletnie serie obserwacji stanu gruntu wraz z innymi danymi meteorologicznymi mogą być wykorzystane do wyprowadzenia równań regresji, umożliwiających rekonstrukcję uwilgotnienia przypowierzchniowej warstwy gruntu [ŻYROMSKI 1990; 2001], termiki gruntu [HURTALOVA, MATEJKA 1985], strumieni ciepła glebowego [BRYŚ 2010] lub ocenę albedo powierzchni czynnej [MILLER 1981; MONTEITH 1973; OKE 1995; PASZYŃSKI i in. 1995; 1999]. Ten ostatni element umożliwia odtworzenie wartości promieniowania odbitego w badaniach całkowitego bilansu promieniowania, a tym samym jest pomocny w prawidłowym ustaleniu wartości dyspozycyjnej energii zużywanej w trakcie parowania terenowego oraz ogrzewania gleby i powietrza.

METODY BADAŃ

Przyjęta w pracy, jednolita dla wszystkich lat, klasyczna ocena stanu gruntu, zgodnie z dawną Instrukcją dla stacji meteorologicznych [PIHM 1962], wykorzystuje skalę dziesięciostopniową, od 0 (powierzchnia gruntu sucha) do 9 (powierzchnia gruntu pokryta świeżym śniegiem).

Celem pracy jest oszacowanie zmienności stanu powierzchni gruntu w latach 1881–2010 we Wrocławiu-Swojcu ($51^{\circ}07'\varphi\text{N}$, $17^{\circ}10'\lambda\text{E}$, 121 m n.p.m). Analiza dotyczy terenu rolniczego, związanego ze wschodnimi peryferiami miasta, oddalonego o ok. 5 km od zwartej, wysokiej zabudowy miejskiej. Leży on w południowej części Równiny Oleśnickiej, na poboczu strefy wododziałowej, w zasięgu hydrologicznego oddziaływania wód powodziowych Odry i Widawy. Panujące tu warunki topoklimatyczne i glebowe (gleby brunatne, wykształcone na glinach zwałowych i piaskach słabogliniastych) są reprezentatywne dla znacznej części Niziny Śląskiej [BRYŚ 2006].

Opracowanie opiera się na terminowych obserwacjach stanu gruntu, wykonanych w latach 1961–2010 w Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologicznym

Wrocław-Swojec (obecnie należącym do Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu). Sprowadza je do postaci średnich wartości miesięcznych, które analizuje pod względem statystycznym. Przedstawia przebieg roczny średnich miesięcznych wartości stanu gruntu (*śr.st.gr.*) na tle miesięcznych wartości ekstremalnych (*max st.gr.*, *min st.gr.*) oraz miesięcznego odchylenia standardowego (*odch.std.*). Rozpatrywany jest także trend 12-miesięcznych średnich wartości konsekwentnych (*ks12mc*) badanego stanu gruntu oraz wielkość i trendy odchyleń wartości *śr.st.gr.*, obliczonych z równań regresji wielokrotnej (wyprowadzonych w pracy) od wartości rzeczywistych, zarejestrowanych w tym 50-leciu. Oprócz współczynnika korelacji Pearsona obliczono korelacje nieparametryczne Kendalla i Spearmana. Istotność trendów sprawdzano za pomocą dwóch testów – t-Studenta i F-Snedecora.

Na bazie równań regresji wielokrotnej (tab. 1), w której zmiennymi niezależnymi były podstawowe, zhomogenizowane dane meteorologiczne (ujęte w postaci średnich lub sum miesięcznych oraz wartości konsekwentnych od 2- do 12-miesięcznych), takie jak: *Tp* – temperatura powietrza, *d* – niedosyt wilgotności powietrza, *P* – opad, *fr.P* – frekwencja dni z opadem > 0,1 mm (lub w innych przedziałach wartości), *fr.p.śn.* – częstość dni z pokrywą śnieżną, *S* – usłonecznienie, *Eo* – parowanie wskaźnikowe (referencyjne – obliczone w 3 wariantach: *Bac*, *Bry*, *zd.E*, wg wzorów w opisie tabeli 1) oraz *P – Eo*, czyli klimatyczny bilans wodny, odtworzono brakujące miesięczne wartości *śr.st.gr.* dla lat 1881–1960. Poddano również analizie poziom otrzymanych błędów estymacji SEE (standard error of estimate) oraz współczynników determinacji R^2 . Oprócz analizy standardowej ANOVA równania regresji zweryfikowano za pomocą procedury *cross-validation*, w wersji LOO (Leave-One-Out) uwzględniającej: RMSE (root mean square error), VIF (variance inflation factor) i RR_{pred} [DRAGAŃSKA i in. 2004; FOX 1997; WALPOLE, MYERS 1993; WILKS 2006].

Szczególną uwagę poświęcono rekonstrukcji *śr.st.gr.* w okresie zimowym (XII–II) oraz w tych miesiącach, w których mogła pojawić się przynajmniej kilkudniowa pokrywa śnieżna (XI, III–IV). Do odtworzenia stanu gruntu w tym czasie niezbędna była znajomość frekwencji dni z pokrywą śnieżną [BRYŚ, BRYŚ 2012a]. Określenie stanu gruntu w okresie zimowym jest bowiem najczęściej związane z oszacowaniem pokrycia terenu śniegiem i określeniem jego rodzaju. W tych badaniach, jako element wyjściowy, przyjęto średni dobowy stan gruntu, będący średnią arytmetyczną stanów notowanych podczas trzech terminowych obserwacji (6 UTC, 12 UTC, 18 UTC lub do 1978 r. 20 UTC – zmiana ta nie wpłynęła jednak istotnie na dobowy stan gruntu). Jediną modyfikację zastosowano dla stanu 8, określając go jako 6,8.

Uzyskane w ten sposób 130-letnie (1881–2010) przebiegi stanu gruntu we Wrocławiu-Swojcu porównano z tendencjami ich przebiegu w latach 1961–2010. Przeanalizowano zmiany trendów miesięcznych oraz półroczy hydrologicznych (XI–IV, V–X), a także miesiące, z osobną prezentacją stycznia (I), kwietnia oraz lipca (VII), oddających nie tylko zmienność sezonową *śr.st.gr.* Badanie tych tren-

Tabela 1. Zmienne równań regresji do estymacji stanu gruntu (st.gr.) w kolejnych miesiącach I–XII we Wrocławiu-Swojcu**Table 1.** Variables of regression equations for estimation of state of ground (st.gr.) in the following months Jan. (I)–Dec. (XII) in Wrocław-Swojec

Zm. zal.	Parametr	Zm.1	Zm.2	Zm.3	Zm.4	Zm.5	Zm.6	Const.	R ²	SEE	RR pred	RMSE
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
st.gr. I	wsp. zm.niez.	0,1629 fr.p.śn.	-0,1424 TP	-0,6565 d(ks5)	0,7503 d(ks3)			2,7794	0,98	0,327	0,977	0,34
st.gr. I	wsp. zm.niez.	0,1582 fr.p.śn.	-0,169 TP	-0,7586 d(ks5)	0,9506 d(ks3)	0,0899 fr.P>4,9		2,6371	0,982	0,31	0,979	0,324
st.gr. II	wsp. zm.niez.	0,1822 fr.p.śn.	-0,1332 TP	0,6437 d(ks11)	-0,355 TP(ks12)			2,8501	0,961	0,45	0,95	0,495
st.gr. II	wsp. zm.niez.	0,1855 fr.p.śn.	-0,1166 TP	1,2587 d(ks11)	-0,3849 TP(ks12)	-0,6402 d(ks8)		2,7909	0,965	0,434	0,952	0,485
st.gr. III	wsp. zm.niez.	0,1855 fr.p.śn.						2,7909	0,861	0,568	0,834	0,621
st.gr. III	wsp. zm.niez.	0,1906 fr.p.śn.	-0,0119 zd.E(ks2)					2,2996	0,892	0,507	0,865	0,56
st.gr. IV	wsp. zm.niez.	-0,0261 Bac(ks6)	0,2957 fr.p.śn.	0,0139 fr.P1(ks6)	0,0287 fr.P>0,1	0,0203 Bac(ks5)	-0,189 e(ks12)	2,8214	0,853	0,144	0,806	0,156
st.gr. IV	wsp. zm.niez.	-0,0084 Bac(ks6)	0,2769 fr.p.śn.	0,0197 fr.P1(ks6)	-0,2236 e(ks12)	0,001 S (ks10)	-0,1744 d	2,8643	0,872	0,134	0,828	0,147
st.gr. V	wsp. zm.niez.	0,0039 P-zd.E	0,0134 fr.P1(ks3)	0,0709 Ea	-0,111 v10(ks4)			-0,4034	0,863	0,108	0,84	0,113
st.gr. V	wsp. zm.niez.	0,0031 P-zd.E	0,0138 fr.P1(ks3)	0,0735 Ea	-0,1212 v(ks4)	0,0317 fr.P>9,9		-0,5077	0,875	0,104	0,847	0,111
st.gr. VI	wsp. zm.niez.	0,0631 fr.P>4,9	-0,0035 Bac(ks4)	0,0035 fr.P(ks11)				0,6372	0,65	0,12	0,595	0,126

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
st.gr. VI	wsp. zm.niez.	0,0496 fr.P>4,9	-0,003 Bac(ks4)	0,0029 fr.P(ks11)	0,0123 fr.P>0,1			0,5042	0,685	0,115	0,622	0,122
st.gr. VII	wsp. zm.niez.	0,004 P-Bac						0,4937	0,843	0,106	0,837	0,108
st.gr. VII	wsp. zm.niez.	0,0033 P-Bac	0,0141 fr.P1(ks2)					0,2251	0,891	0,09	0,882	0,092
st.gr. VIII	wsp. zm.niez.	0,0024 P(ks2)	0,0227 fr.P>0,2	-0,0017 S				0,2174	0,779	0,116	0,739	0,123
st.gr. VIII	wsp. zm.niez.	0,002 P(ks2)	0,0145 fr.P>0,2	-0,0015 S	0,0014 P			0,2139	0,801	0,111	0,749	0,121
st.gr. IX	wsp. zm.niez.	0,0057 P-zd.E						0,6895	0,73	0,141	0,719	0,144
st.gr. IX	wsp. zm.niez.	0,0039 P-zd.E	-0,0787 d (nw)					1,0375	0,789	0,126	0,77	0,131
st.gr. X	wsp. zm.niez.	0,0064 P-zd.E	-0,0028 zd.E(ks12)	0,0036 Bry(ks9)	0,1749 fr.p.śn.			1,0711	0,703	0,146	0,62	0,16
st.gr. X	wsp. zm.niez.	0,0044 P-zd.E	-0,0024 zd.E(ks12)	0,0028 Bry(ks9)	0,1957 fr.p.śn.	0,015 fr.P>0,1		1,0156	0,73	0,141	0,627	0,158
st.gr. XI	wsp. zm.niez.	0,1747 fr.p.śn.	0,0149 fr.P(ks3)	-0,188 e(ks7)	0,034 fr.P>0,2	-0,0849 TP		2,9217	0,926	0,25	0,899	0,281
st.gr. XI	wsp. zm.niez.	0,1805 fr.p.śn.	0,0142 fr.P(ks3)	-0,2044 e(ks7)	0,0388 fr.P>0,2	-0,0753 TP	-0,1427 v(ks10)	3,4997	0,935	0,237	0,906	0,27

st.gr. XII	wsp. zm.niez.	0,1369 fr.p.śn.	-0,8415 e	0,0379 fr.P(ks2)	-0,1443 v			6,4731	0,796	0,813	0,94	0,426
st.gr. XII	wsp. zm.niez.	0,1363 fr.p.śn.	-0,8274 e	0,0415 fr.P(ks2)	-0,1445 v	-0,2497 e(ks6)		8,9785	0,823	0,764	0,942	0,419

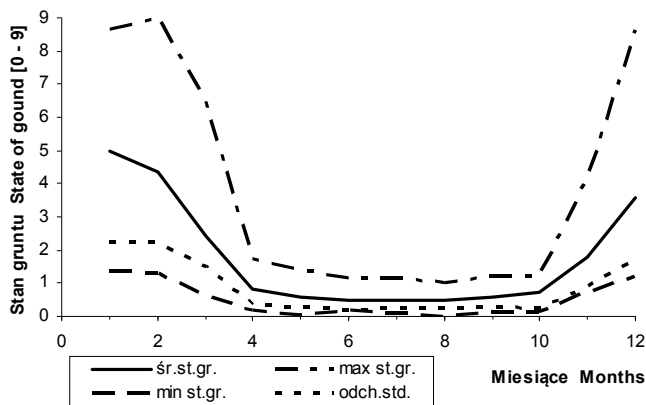
Objaśnienia: st.gr. I (II...XII) – stan gruntu w styczniu (lutym...grudniu), zm.zal. – zmienna zależna, zm.niez. – zmienna niezależna, wsp. – współczynnik, const. – stała równania, SEE – błąd standardowy estymacji, RRpred – współczynnik korelacji wielokrotnej w procedurze *cross-validation*, RMSE – błąd estymacji krzyżowej, fr.p.śn. – frekwencja dni z pokrywą śnieżną, Tp – temperatura powietrza (°C), S – usłonecznienie (suma miesięczna w h), d – niedosyt wilgotności powietrza (hPa) (średnia z 6 UTC, 12 UTC, 20 UTC), d (nw) – niedosyt wilgotności powietrza (średnia z 6 UTC, 12 UTC, 18 UTC), e – prężność pary wodnej (hPa), v – prędkość wiatru ($m \cdot s^{-1}$) na wys. 10 m, P – opad, fr.P – frekwencja dni z opadem $\geq 0,1$ mm, fr.P>0,1 (>0,2; >0,9; >4,9; >9,9) – frekwencja dni z opadem >0,1 mm (>0,2 mm; >0,9 mm; >4,9 mm; >9,9 mm), fr.P1(ks n) – suma konsekwentna frekwencji opadu >0,9 mm z n (1, 2, 3...12) miesięcy, dla pozostałych elementów meteorologicznych (ks n) – średnia konsekwentna z n (1, 2, 3...12) miesięcy, zd.E, Bac, Bry – wskaźniki parowania referencyjnego (mm), obliczone z wzorów: zd.E = d·Ea, gdzie: Ea = $7,44 \cdot (1 + 0,54 \cdot v^2)$ oraz v2 – prędkość wiatru ($m \cdot s^{-1}$) na wys. 2 m; Bac = $(3 \cdot d \cdot \sqrt{v} + 0,0956 \cdot K \downarrow) \cdot 28,34 \cdot n^{-1}$, gdzie: K↓ – suma miesięczna promieniowania całkowitego ($MJ \cdot m^{-2}$), n – liczba dni w miesiącu; Bry = $(d \cdot (1,29 + 4,87 \cdot \sqrt{v} + 0,0252 \cdot K \downarrow + 4,7)) \cdot 28,34 \cdot n^{-1}$, P-zd.E, P-Bac – wskaźniki klimatycznych bilansów wodnych (mm); źródło: opracowanie własne

Explanation: st.gr. I (II...XII) – state of ground in January (Feb...Dec.), zm.zal – dependent variable, zm.niez – independent variable, wsp. – coefficient, const. – constants, SEE – standard error of the estimate, RRpred – coefficient of multiply correlation in cross-validation, RMSE – root mean square error in cross-validation, fr.p.śn. – frequency of days with snow cover, Tp – air temperature (°C), S – sunshine duration (monthly sum in hours), d – saturation deficit (hPa) (average from 6 UTC, 12 UTC, 20 UTC), d (nw) – saturation deficit (average from 6 UTC, 12 UTC, 18 UTC), e – water vapour pressure (hPa), v – wind velocity ($m \cdot s^{-1}$) on the 10 m height, P – precipitation (mm), fr.P – frequency of days with precipitation $\geq 0,1$ mm, fr.P>0,1 (>0,2; >0,9; >4,9; >9,9) – frequency of days with precipitation >0,1 mm (>0,2 mm; >0,9 mm; >4,9 mm; >9,9 mm), fr.P1(ks n) – consecutive sum of frequency of days with precipitation >0,9 mm from n (1, 2, 3...12) months, and for the remaining meteorological elements (ks n) – consecutive average from n (1, 2, 3...12) months, zd.E, Bac, Bry – coefficients of reference evaporation (mm), calculated from formulae: zd.E = d·Ea, where: Ea = $7,44 \cdot (1 + 0,54 \cdot v^2)$ and v2 – wind velocity ($m \cdot s^{-1}$) on the 2 m height; Bac = $(3 \cdot d \cdot \sqrt{v} + 0,0956 \cdot K \downarrow) \cdot 28,34 \cdot n^{-1}$, where: K↓ – monthly sum of total solar radiation ($MJ \cdot m^{-2}$) n – sum of days in a month; Bry = $(d \cdot (1,29 + 4,87 \cdot \sqrt{v} + 0,0252 \cdot K \downarrow + 4,7)) \cdot 28,34 \cdot n^{-1}$, P-zd.E, P-Bac – coefficients of climatic water balance (mm); source: own study

dów pozwala bowiem w optymalny i syntetyczny sposób uchwycić kierunki zachodzących zmian wiekowych i ich długookresowe uwarunkowania meteorologiczne.

WYNIKI I DISKUSJA

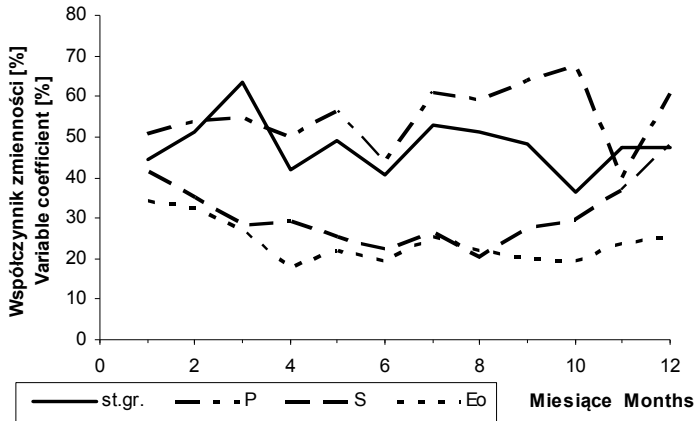
Przebieg roczny średnich miesięcznych wartości stanu gruntu we Wrocławiu-Swojcu na tle ich wartości ekstremalnych oraz miesięcznego odchylenia standardowego w okresie badanego 50-lecia wykazuje charakterystyczną zmienność sezonową (rys. 1). Demonstruje on bowiem wyraźne różnice wartości między okresem XI–III, w którym pojawia się trwalsza pokrywa śnieżna, a okresem wegetacyjnym IV–X, w którym pokrywa ta nie występuje lub pojawia się sporadycznie i jest nietrwała (X, IV–V).



Rys. 1. Przebieg roczny średnich miesięcznych wartości stanu gruntu (*sr.st.gr.*) na tle miesięcznych wartości ekstremalnych (*max st.gr.*, *min st.gr.*) oraz miesięcznego odchylenia standardowego (*odch.std.*) dla lat 1961–2010 we Wrocławiu-Swojcu; źródło: opracowanie własne

Fig. 1. The annual course of monthly average values of state of ground (*sr.st.gr.*) on the background of monthly extreme values (*max st.gr.*, *min st.gr.*) and monthly standard deviation (*odch.std.*) for the years 1961–2010 in Wrocław-Swojec; source: own study

Silne relacje stanu gruntu z opadem ilustruje (rys. 2) zbliżony poziom i podobny przebieg współczynnika zmienności dla obu tych elementów geofizycznych. Większe rozbieżności występują tu jedynie w marcu oraz jesienią (IX–XI) i w grudniu. Od października do stycznia obserwuje się zbliżenie współczynników zmienności stanu gruntu z tym parametrem zmienności dla usłonecznienia. Największą zmiennością (63,4%) stanu gruntu cechuje się marzec, natomiast najmniejszą – październik (36,6%), a więc miesiące przejściowe między sezonem chłodnym i ciepłym (IV–IX). Maksimum roczne związane jest więc z silną, wczes-



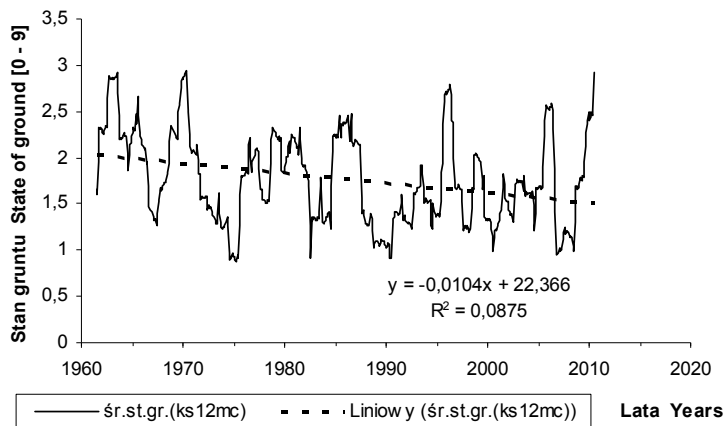
Rys. 2. Przebieg roczny współczynnika zmienności średnich miesięcznych wartości stanu gruntu (*st.gr.*), opadu (*P*), usłonecznienia (*S*) i parowania wskaźnikowego (*Eo*) dla lat 1961–2010 we Wrocławiu-Swojcu; źródło: opracowanie własne

Fig. 2. The annual course of variable coefficient of monthly average values of state of ground (*st.gr.*), precipitation (*P*), sunshine duration (*S*) and reference evaporation (*Eo*) for the years 1961–2010 in Wrocław-Swojec; source: own study

snowiosenną zmiennością pogodową, a minimum z jesienną stabilizacją pogody w okresie „babiego lata”.

Przebieg 12-miesięcznych wartości konsekwentnych *śr.st.gr.* w latach 1961–2010 (rys. 3) wykazuje istotny statystycznie (na poziomie $\alpha = 0,01$) trend spadkowy. O jego istotności (dla $n = 589$) świadczą zarówno odpowiednie wskaźniki korelacji Pearsona ($R = -0,296$; $R^2 = 0,088$; $SEE = 0,48$; $F = 56,29$; $\sigma = 0,000$), jak i korelacji nieparametrycznych – Kendalla ($R = -0,195$; $\sigma = 0,000$) oraz Spearmana ($R = -0,291$; $\sigma = 0,000$). Analiza 50-letnich tendencji zmian *śr.st.gr.* dla poszczególnych miesięcy ujawniła, że spadek ten związany jest głównie z wyraźną tendencją zmniejszania się wartości stanu gruntu w okresie letnim.

Rekonstrukcja stanu gruntu przed 1961 r. wymagała szczegółowej i kompleksowej informacji o kształtowaniu się warunków pogodowych nie tylko z dnia na dzień, ale również w czasie trzech dobowych standardowych pomiarów meteorologicznych. Taka informacja nie zawsze była dostępna, trudności sprawiała zwłaszcza rekonstrukcja stanu gruntu w latach wojennych (1914–1918, 1939–1945), ponieważ z tego okresu dysponowano na ogół tylko danymi miesięcznymi (sumami lub wartościami średnimi) z pomiarów standardowych. Potrzebna więc była pomoc wyprowadzonych na bazie danych 1961–2010 równań regresji dla średnich wartości miesięcznych stanu gruntu. Równania te oparto na zmiennych niezależnych w postaci synchronicznych danych miesięcznych T_p , P , d , E_o , S oraz frekwencji P i dni z pokrywą śnieżną, zrekonstruowanych dla warunków Wrocławia-Swojca, na podstawie pomiarów innych stacji wrocławskich (Breslau-Sternwarte, Breslau-

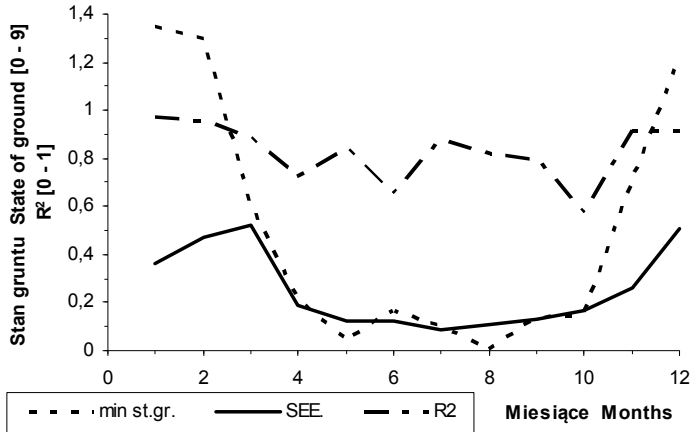


Rys. 3. Przebieg 12-miesięcznych średnich wartości konsekutywnych stanu gruntu *śr.st.gr.(ks12mc)* i ich trend liniowy w latach 1961–2010 we Wrocławiu-Swojcu; źródło: opracowanie własne

Fig. 3. The 12 monthly average consecutive values of state of ground *śr.st.gr.(ks12mc)* and their linear (Liniowy) trend in the years 1961–2010 in Wrocław-Swojec; source: own study

-Krietern, Breslau-Gandau, Wrocław-Biskupin) lub pobliskich posterunków opadowych (Psie Pole). Niniejsza praca nawiązuje więc do poruszanej w ostatnich latach w innych opracowaniach problematyki rekonstrukcyjnej temperatury powietrza [BRYŚ, BRYŚ 2010a, b; DUBICKA, PYKA 2001; PYKA 1991; 1998a], opadów [BRYŚ, BRYŚ 2010b; DUBICKA, PYKA 2001; PYKA 1991; 1998b; 2003], niedosytu wilgotności powietrza [BRYŚ 2003; 2007a], parowania wskaźnikowego [BRYŚ 2006; BRYŚ, BRYŚ 2001; 2004], usłonecznienia rzeczywistego [BRYŚ 2007b; 2008a; BRYŚ, BRYŚ 2005; 2007; DUBICKA i in. 1995; DUBICKA, PYKA 2001] oraz częstości dni z pokrywą śnieżną [BRYŚ, BRYŚ 2012a] i termiki gruntu [BRYŚ 2004; 2008b; BRYŚ, BRYŚ 2012b] we Wrocławiu. Dzięki tym opracowaniom możliwe było utworzenie 130-letniej (1881–2010) bazy danych wyjściowych dla Wrocławia-Swojca, którą wykorzystano w tej pracy.

Możliwości rekonstrukcyjne zastosowanych równań regresji do prawidłowego odtworzenia stanu gruntu poszczególnych miesięcy okresu 1881–1960 w sposób przeglądowy przedstawia zmienny poziom błędów estymacji oraz współczynnika determinacji (R^2), ujęty (rys. 4) w przebiegu rocznym. Dla porównania wartości błędu standardowego estymacji przedstawiono także roczny przebieg minimalnych wartości miesięcznych stanu gruntu dla lat 1961–2010. Najmniejszy błąd estymacji stanu gruntu (0,09) występuje w lipcu ($R^2=0,88$), a największy w marcu (0,52) i grudniu (0,51), gdy współczynnik determinacji R^2 osiąga odpowiednio pułap 0,89 (III) i 0,92 (XII). Maksymalne wartości tego błędu związane są z wysokim poziomem średnich i minimalnych wartości stanu gruntu, a minimalne błędy towarzyszą miesiącom z małymi wartościami stanu gruntu.



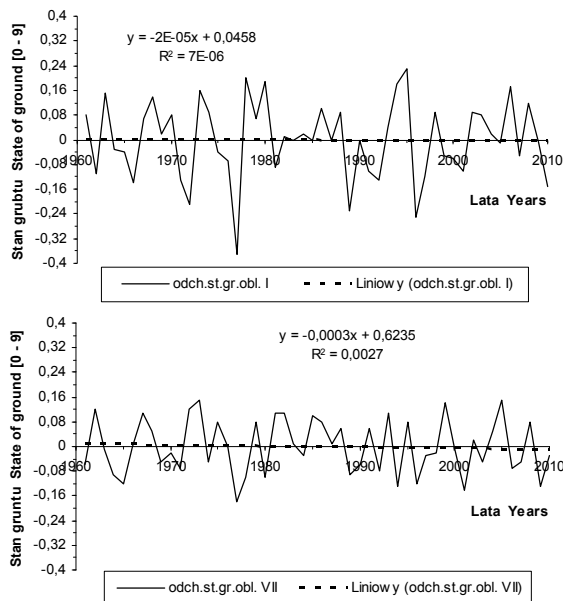
Rys. 4. Przebieg roczny współczynnika determinacji (R^2) oraz błędu standardowego estymacji (SEE) w równaniach regresji wieloczynnikowej dla średnich miesięcznych wartości stanu gruntu na tle przebiegu minimalnych wartości miesięcznych stanu gruntu ($min\ st.gr.$) z lat 1961–2010 we Wrocławiu-Swojcu; źródło: opracowanie własne

Fig. 4. The annual course of determination coefficient (R^2) and standard estimation error (SEE) in equations of multiply regression for monthly average values of state of ground on the background of run minimal monthly values of state of ground ($min\ st.gr.$) from the years 1961–2010 in Wrocław-Swojec; source: own study

Wspomniane dysproporcje w dokładności rekonstrukcyjnej odzwierciedla porównanie na rysunku 5. przebiegu z roku na rok odchyień wartości obliczonych stanu gruntu od jego wartości obserwowanych w latach 1961–2010 dla stycznia (wykres lewy) i lipca (wykres prawy). Skrajne odchylenia lipcowe (0,16 i –0,18) są około dwukrotnie mniejsze od bezwzględnych wartości skrajnych odchyień styczniowych (0,23 i –0,37). W pięćdziesięcioletnim przebiegu te wyższe odchylenia w obu miesiącach skojarzone są przeważnie z występowaniem większych wartości stanu gruntu.

Równania zweryfikowano pozytywnie za pomocą zastosowanej procedury *cross-validation*. Jedynie jedno z rozpatrywanych równań, otrzymanych w drodze regresji krokowej (reg 4.8, czyli równanie regresji dla kwietnia z ośmioma zmiennymi – w tabeli 1. nie uwzględnione), które zostało odrzucone, miało dyskwalifikujący go parametr $VIF > 10$ [FOX 1997]. W przyjętych równaniach wielkości współczynnika korelacji wielokrotnej RR_{pred} wahają się od 0,595 do 0,979 i w każdym przypadku są istotne na poziomie 0,001 (wg testu F-Snedecora). Uzyskane wartości błędów estymacji z korelacji krzyżowej RMSE (tab. 1) są zbliżone do SEE. Równania te są zatem nieprzeparametryzowane i cechują się na tyle dobrymi podstawowymi współczynnikami statystycznymi, że mogły zostać użyte do miarodajnej rekonstrukcji stanu gruntu w latach 1881–1960.

Uzyskane w ten sposób 130-letnie (1881–2010) przebiegi stanu gruntu dla poszczególnych miesięcy (tab. 2) w swoich trendach dobrze oddają kierunki zacho-



Rys. 5. Przebieg odchyłań miesięcznych wartości obliczonych stanu gruntu od wartości obserwowanych (*odch.st.gr.obl.*) w styczniu (I) (wykres po lewej) i lipcu (VII) (wykres po prawej) oraz ich trend liniowy w latach 1961–2010 we Wrocławiu-Swojcu; źródło: opracowanie własne

Fig. 5. The course of deviations of monthly values of calculated state of ground from observation values of state of ground (*odch.st.gr.obl.*) in January (I) (the graph on the left) and July (VII) (the graph on the right) and their linear (Liniiowy) trend in the years 1961–2010 in Wrocław-Swojce; source: own study

dzących zmian i ich długookresowe uwarunkowania meteorologiczne. Przykładem tego są odtworzone przebiegi stanu gruntu dla stycznia (rys. 6) oraz kwietnia i lipca (rys. 7). W styczniowym przebiegu występuje słaby, nieistotny statystycznie trend malejący, który związany jest głównie (tab. 1) z nieistotną statystycznie tendencją wzrostu temperatury powietrza (rys. 6 – wykres górny po lewej), nieistotnym statystycznie spadkiem częstości dni z pokrywą śnieżną *fr.p.śn.* (rys. 6 – wykres dolny, po lewej) oraz istotną statystycznie 3-miesięczną (a także 5-miesięczną – tu niezilustrowaną) średnią wartością konsekwentną niedosytu wilgotności powietrza (rys. 6 – wykres dolny po prawej). W kwietniu (rys. 7 – wykres górny, po lewej), podobnie jak w marcu (tab. 2), notuje się silny, istotny statystycznie trend spadkowy. Spośród kilku kształtujących go elementów meteorologicznych (tab. 1) na rysunku 7. przedstawiono przebiegi frekwencji dni z $P > 0,1$ mm oraz częstości dni z pokrywą śnieżną, które cechują istotne statystycznie spadkowe trendy. Ważnym elementem równań regresji (tab. 1), pozwalających na wariantowe (reg 1 lub reg 2) odtworzenie przebiegu stanu gruntu jest również parowanie wskaźnikowe, reprezentowane na rysunku 7. przez przebieg 6-miesięcznej średniej wartości konsekwentnej *Bac*. Cechuje je wyraźny, choć nieistotny statystycznie trend spadkowy. W lip-

Tabela 2. Współczynniki (a , b) trendów liniowych stanu powierzchni gruntu dla kolejnych miesięcy I–XII oraz okresów V–X, XI–IV, I–XII, XI–X w latach 1961–2010 (o – wartości obserwowane) i 1881–2010 (wartości z lat 1881–1960 estymowane z równań regresji (reg) – wersje: (1) i (2)) oraz ocena ich dokładności (SEE – błąd standardowy estymacji) i istotności (p – wg testu parametrycznego Pearsona i testów nieparametrycznych – Kendalla, i Spearmana).

Table 2. Coefficients (a , b) of linear trends of cover ground state for the following months: Jan. (I) – Dec. (XII) and the period from May (V) – Oct. (X), Nov (XI) – Apr. (IV), year (I–XII), hydrological year (XI–X) in 1961–2010 (o – observed values) and 1881–2010 (the values from 1881–1960 estimated by means of regression equations (reg) – the versions: (1) i (2)) and valuation their accuracy (SEE – standard error of estimate) and significance (p – according to Pearson’s parametric test and Kendall’s and Spearman’s nonparametric tests).

Okres (reg)	a	b	R^2	SEE	Pearson	Kendall	Spearman
1	2	3	4	5	6	7	8
1961–2010							
I (o)	–0,0282	60,9045	0,033	2,216	0,215	0,379	0,247
II (o)	–0,0239	51,8846	0,024	2,226	0,293	0,196	0,209
III (o)	–0,0234	48,7841	0,048	1,5	0,13	0,187	0,164
IV (o)	–0,0042	9,1774	0,03	0,346	0,236	0,234	0,242
V (o)	–0,0043	9,1783	0,05	0,274	0,124	0,046*	0,05*
VI (o)	–0,0027	5,7888	0,037	0,196	0,184	0,351	0,266
VII (o)	0,0009	–1,3252	0,002	0,267	0,736	0,966	0,988
VIII (o)	–0,0017	3,8762	0,01	0,245	0,492	0,623	0,607
IX (o)	–0,0015	3,4766	0,006	0,273	0,597	0,448	0,451
X (o)	–0,0021	4,838	0,013	0,26	0,432	0,496	0,484
XI (o)	–0,0014	4,6012	0,001	0,859	0,871	0,685	0,63
XII (o)	–0,0161	35,4958	0,018	1,712	0,358	0,317	0,276
V–X (o)	–0,0019	4,3011	0,033	0,147	0,209	0,214	0,224
XI–IV (o)	–0,0187	40,1599	0,076	0,942	0,055	0,048*	0,051
I–XII (o)	–0,009	19,7272	0,063	0,505	0,083	0,066	0,066
XI–X (o)	–0,0103	22,2278	0,082	0,498	0,046*	0,046*	0,044*
1881–2010							
I (1)	–0,0028	10,5007	0,003	2,078	0,565	0,651	0,519
II (1)	–0,003	10,8596	0,003	2,097	0,238	0,128	0,133
III (1)	–0,0051	12,4009	0,02	1,353	0,111	0,019*	0,019*
IV (1)	–0,0053	11,2763	0,158	0,458	0,000**	0,000**	0,000**
V (1)	–0,0009	2,2499	0,018	0,239	0,131	0,068	0,055
VI (1)	–0,0001	0,6103	0	0,18	0,873	0,75	0,721
VII (1)	0,0007	–0,9892	0,018	0,209	0,129	0,487	0,456
VIII (1)	0,0001	0,2179	0,001	0,219	0,799	0,792	0,761
IX (1)	0,0011	–1,7351	0,033	0,236	0,04*	0,086	0,104
X (1)	0,0005	–0,33	0,005	0,273	0,423	0,453	0,447
XI (1)	–0,004	9,6595	0,027	0,908	0,061	0,019	0,015
XII (1)	–0,0015	6,4126	0,001	1,743	0,715	0,764	0,725
V–X (1)	0,0003	0,0047	0,007	0,121	0,343	0,496	0,597
XI–IV (1)	–0,0044	11,5956	0,034	0,88	0,036*	0,031*	0,03*

cd. tab. 2

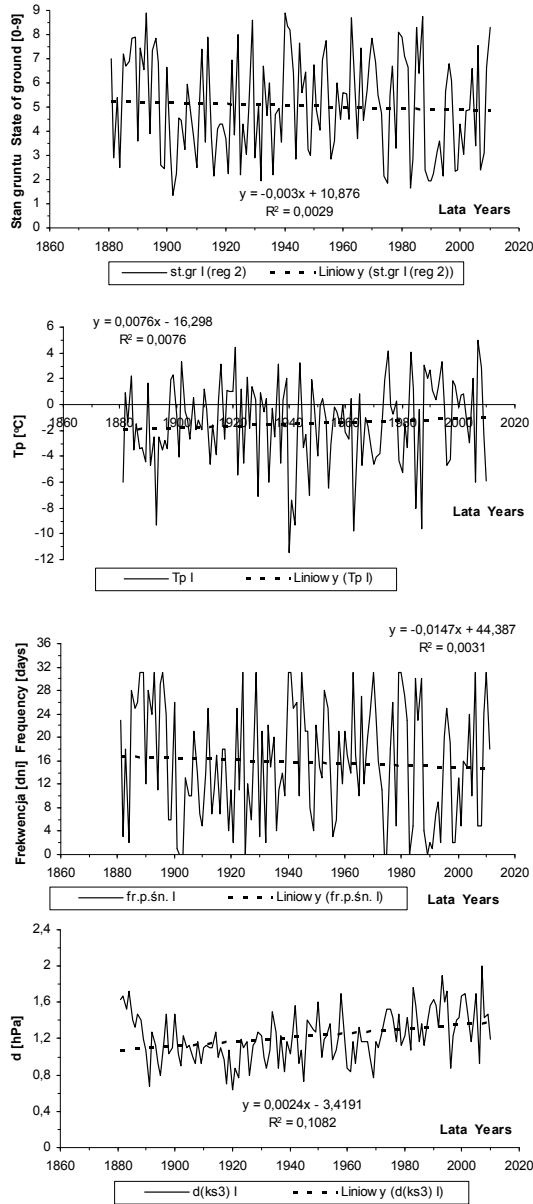
1	2	3	4	5	6	7	8
I–XII (1)	–0,0019	5,5389	0,026	0,439	0,064	0,063	0,063
XI–X (1)	–0,0021	5,802	0,028	0,455	0,056	0,052	0,044*
1881–2010							
I (2)	–0,0059	16,1871	0,011	2,144	0,543	0,645	0,513
II (2)	–0,0057	15,793	0,01	2,155	0,257	0,164	0,167
III (2)	–0,0051	12,3563	0,021	1,304	0,1	0,008**	0,008**
IV (2)	–0,0046	10,0254	0,135	0,442	0,000**	0,000**	0,000**
V (2)	–0,0009	2,2726	0,018	0,24	0,127	0,068	0,057
VI (2)	–0,0001	0,7356	0,001	0,181	0,762	0,798	0,7
VII (2)	0,0005	–0,5359	0,009	0,212	0,296	0,8	0,734
VIII (2)	0,0002	0,0088	0,002	0,208	0,632	0,965	0,99
IX (2)	0,0012	–1,8151	0,034	0,239	0,035*	0,107	0,152
X (2)	0,0001	0,4129	0	0,266	0,824	0,755	0,749
XI (2)	–0,0027	7,0006	0,012	0,937	0,222	0,149	0,127
XII (2)	–0,0025	8,4952	0,003	1,786	0,542	0,561	0,509
V–X (2)	0,0002	0,1808	0,003	0,119	0,515	0,789	0,846
XI–IV (2)	–0,0042	11,303	0,032	0,882	0,043*	0,027*	0,029*
I–XII (2)	–0,0019	5,4669	0,026	0,439	0,069	0,057	0,059
XI–X (2)	–0,002	5,7415	0,027	0,456	0,06	0,05*	0,045*

Objaśnienia: wartości σ (p) korelacji $\leq 0,5$ pogrubiono i oznaczono: * dla p na poziomie 0,05 oraz ** dla p na poziomie 0,01; źródło: opracowanie własne

Explanation: the σ (p) values of correlation ≤ 0.5 made thicker and marked by means of: * when p is significant at the 0.05 level and ** at the 0.01 level; source: own study

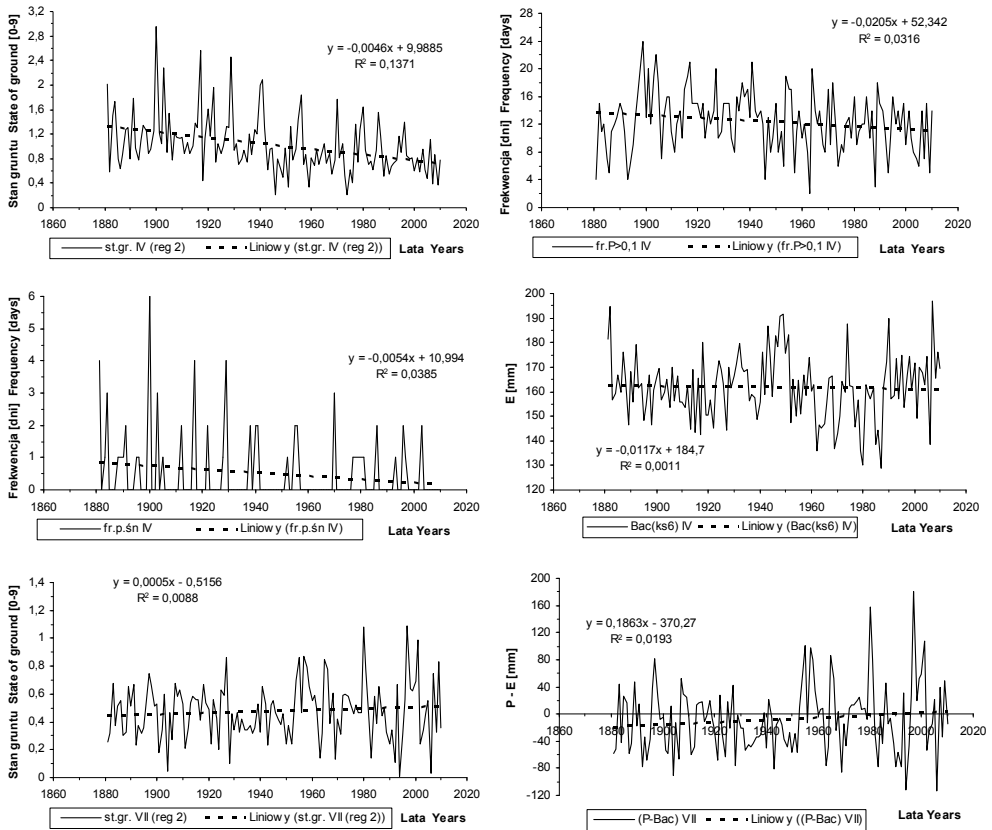
cu ujawnia się natomiast nieistotny statystycznie trend wzrostowy (rys. 7 – wykres dolny, po lewej), który jest powiązany głównie z silną, ale statystycznie nieistotną, tendencją wzrostową klimatycznego bilansu wodnego *P-Bac* (rys. 7 – wykres dolny, po prawej). Przeciwwstawiają się jej (nieprzedstawione na rysunku) istotne statystycznie tendencje spadkowe, reprezentowane przez przebiegi częstości dni z opadem (różnie ujęte, np. we wzorze reg 2 – jako $fr.PI(ks2)$). W alternatywnych równaniach regresji, nie uwzględniających wartości konsekwentnych, występuje tu również przeciwny wpływ słabszego, ale także istotnego statystycznie (wg testu F-Snedecora) trendu wzrostowego temperatury powietrza.

Lipcowe, wieloletnie zależności tendencji stanu gruntu od częstości opadu, a nie od sum opadowych (tu niepokazanych), w których nie ujawnił się żaden trend, wskazują na istotniejszą rolę częstości opadu niż miesięcznych sum opadowych w kształtowaniu stanu gruntu w letnich miesiącach. Ujawniają to także wartości korelacji cząstkowych w równaniach regresji wieloczynnikowej (tab. 1), w których jako zmienne niezależne występują sumy miesięczne opadu i częstość *P* (ujęta w różnych przedziałach wartości dobowych *P*).



Rys. 6. Zrekonstruowane dla stycznia (I) 130-letnie (1881–2010) przebiegi stanu gruntu *st.gr.*, temperatury powietrza *Tp*, częstości dni z pokrywą śnieżną *fr.p.śn.*, 3-miesięcznej średniej wartości konsekwentnej niedosytu wilgotności powietrza *d(ks3)* i ich trendy liniowe (Liniowy) we Wrocławiu-Swojcu; źródło: opracowanie własne

Fig. 6. The reconstructed for January (I) 130-year (1881–2010) runs of state of ground *st.gr.*, air temperature *Tp*, frequency of days with snow cover *fr.p.śn.*, 3-monthly consecutive average of saturation deficit *d(ks3)* and their linear trends (Liniowy) in Wrocław-Swojec; source: own study



Rys. 7. Zrekonstruowane dla kwietnia (IV) i lipca (VII) 130-letnie (1881–2010) przebiegi stanu gruntu *st.gr.* oraz związanych z nimi wybranych elementów meteorologicznych: częstości dni z opadem $P > 0,1$ mm częstości dni z pokrywą śnieżną *fr.p.śn.*, 6-miesięcznej średniej konsekwentnej wartości parowania wskaźnikowego *Bac(ks6)*, klimatycznego bilansu wodnego *P-Bac* i ich trendy liniowe (Liniowy) we Wrocławiu-Swojcu; źródło: opracowanie własne

Fig. 7. The reconstructed for April (IV) and July (VII) 130-year (1881–2010) runs of state of ground *st.gr.* and related to their selected meteorological elements: frequency (*fr.*) of days with precipitation $P > 0,1$ mm, frequency of days with snow cover *fr.p.śn.*, 6-monthly consecutive average of reference evaporation *Bac(ks6)*, climatic water balance *P-Bac* and their linear trends (Liniowy) in Wrocław-Swojec; source: own study

W zrekonstruowanych dwóch wariantach 130-letnich (1881–2010) przebiegów średnich miesięcznych wartości stanu gruntu, największe różnice występują (tab. 2) pomiędzy istotnymi statystycznie ujemnymi trendami półrocza hydrologicznego chłodnego (XI–IV) i nieistotnymi tendencjami półrocza ciepłego (V–X). W porównaniu z tym wieloleciem w okresie 1961–2010 obserwuje się silne wzmocnienie tego kontrastu pomiędzy tendencjami obu półroczy. Towarzyszy im zmiana tendencji kierunkowej trendu dla okresu V–X ze słabej dodatniej na nieco silniej-

szą ujemną, ale nie jest ona istotna statystycznie. Dla wzmocnienia owego kontrastu oraz wyraźnego pogłębienia w tym 50-leciu trendu spadkowego w półroczu XI–IV, oprócz zmian ujemnych trendów zimowych (istotnych statystycznie dla całego okresu XII–II, ale nie dla poszczególnych jego miesięcy) znaczenie mają zmiany istotnych statystycznie ujemnych trendów wiosennych (III–V).

WNIOSKI

1. Przebieg roczny stanu gruntu wykazuje wyraźną zmienność sezonową. Zmienia się nie tylko jego średnia miesięczna wartość (max – zimą, min – latem), ale także poziom współczynnika zmienności (max – marzec, min – październik) i błędów estymacji (max – grudzień, marzec; min – lipiec).

2. Przebieg 12-miesięcznych wartości konsekwentnych *śr.st.gr.* w latach 1961–2010 cechuje istotny statystycznie trend spadkowy, który jest związany z wyraźną tendencją zmniejszania się wartości stanu gruntu w półroczu hydrologicznym XI–IV i znacznie słabszą w półroczu V–X.

3. Silne powiązania stanu gruntu z podstawowymi elementami meteorologicznymi, takimi jak: T_p , d , E_o , S oraz frekwencji P i dni z pokrywą śnieżną, dzięki równaniom regresji wielokrotnej umożliwiają przeprowadzenie stosunkowo wiarygodnej rekonstrukcji jego średnich miesięcznych wartości we Wrocławiu-Swojcu w latach 1881–1960, poprzedzających 50-lecie jego notowań terminowych w tej stacji.

4. Dokładność estymacji zwiększa się, gdy w równaniach tych jako zmienne niezależne wykorzystuje się również wartości klimatycznego bilansu wodnego oraz wartości średnich (lub sum) konsekwentnych (od 2- do 12-miesięcznych) podstawowych elementów meteorologicznych

5. W zrekonstruowanych 130-letnich (1881–2010) wariantach przebiegów średnich miesięcznych wartości stanu gruntu, największe różnice występują pomiędzy istotnymi statystycznie ujemnymi trendami półrocza hydrologicznego chłodnego (XI–IV) i nieistotnymi tendencjami półrocza ciepłego (V–X).

6. W porównaniu z latami 1881–2010 w 50-leciu 1961–2010 obserwuje się silne wzmocnienie tego kontrastu pomiędzy tendencjami obu półroczy. Towarzyszy im zmiana tendencji kierunkowej trendu dla okresu V–X ze słabej dodatniej na nieco silniejszą ujemną, ale nie jest ona istotna statystycznie.

7. Dla wzmocnienia wspomnianego kontrastu oraz wyraźnego pogłębienia w ostatnim 50-leciu trendu spadkowego w półroczu XI–IV, oprócz zmian ujemnych trendów zimowych, ważne znaczenie mają zmiany istotnych statystycznie ujemnych trendów wiosennych (III–V), szczególnie w marcu i kwietniu.

8. Zimą decydujące znaczenie dla stanu gruntu ma frekwencja dni z pokrywą śnieżną, natomiast latem częstość dni z opadem, parowanie oraz klimatyczny bilans wodny.

9. Silne związki statystyczne wartości średniej miesięcznej stanu gruntu z frekwencją dni z pokrywą śnieżną mogą być wykorzystane do wyprowadzenia równań regresji pomocnych w rekonstrukcji promieniowania odbitego w okresie zimowym.

LITERATURA

- BRYŚ K. 2004. Wieloletnia zmienność termiki gleby we Wrocławiu-Swojcu i jej radiacyjne i cyrkulacyjne uwarunkowania. *Acta Agrophysica*. Vol. 3 (2) s. 209–219.
- BRYŚ K. 2006. Wieloletnie dobowe zmiany parowania z wolnej powierzchni wody w Obserwatorium Wrocław-Swojec. Funkcjonowanie i monitoring geosystemów Polski w warunkach narastającej antropopresji. Pr. zbior. Red. L. Krzysztofiak. Warszawa. GIOŚ s. 244–254.
- BRYŚ K. 2007a. Wieloletnie dobowe zmiany niedosytu wilgotności powietrza w Obserwatorium Wrocław-Swojec. *Acta Agrophysica*. Vol. 9 (2) s. 307–319.
- BRYŚ K. 2007b. Zmienność usłonecznienia we Wrocławiu-Swojcu w latach 1961–2006 na tle zmian sekularnych. Funkcjonowanie i monitoring geosystemów Polski w warunkach narastającej antropopresji. Pr. zbior. Red. A. Kostrzewski, A. Andrzejewska. Biblioteka Monitoringu Środowiska Warszawa. GIOŚ s. 243–255.
- BRYŚ K. 2008a. Przebieg dobowy i roczny usłonecznienia we Wrocławiu-Swojcu w latach 1961–2006. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych PAN*. Z. 526 s. 53–65.
- BRYŚ K. 2008b. Wieloletni wpływ pokrywy roślinnej na termikę gleby. *Acta Agrophysica*. Vol.12 (1) s. 39–55.
- BRYŚ K. 2010. Związki glebowego strumienia ciepła z bilansem promieniowania powierzchni bez roślin i porośniętej trawą we Wrocławiu-Swojcu. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. Z. 548, s. 57–77.
- BRYŚ K., BRYŚ T. 2001. Evaporation in Wrocław and its variability in the years 1946–1995. *Geographia Polonica*. Vol. 74 (1) s. 101–122.
- BRYŚ K., BRYŚ T. 2004. Dynamika wieloletnich zmian parowania wskaźnikowego oraz klimatycznych bilansów wodnych we Wrocławiu i jej uwarunkowania. Bilanse wodne ekosystemów rolniczych. Pr. zbior. Red. M. Rojek. Wydaw. AR we Wrocławiu, Monografie XXXVIII. Nr 503 s. 120–140.
- BRYŚ K., BRYŚ T. 2005. Zmienność klimatu solarnego Wrocławia w latach 1891–2003. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Pr. zbior. Red. A. Kostrzewski. Poznań. Bogucki Wydaw. Nauk. s. 399–408.
- BRYŚ K., BRYŚ T. 2007. Zmienność warunków solarnych klimatu Wrocławia w latach 1875–2004. *Pamiętnik Puławski*. Puławy. IUNG. Z. 144 s. 13–34.
- BRYŚ K., BRYŚ T. 2010a. Reconstruction of the 217-year (1791–2007) Wrocław air temperature and precipitation series. *Bulletin of Geography (physical geography series)*. Nr 3 s. 121–171.
- BRYŚ K., BRYŚ T. 2010b. The First One Hundred Years (1791–1890) of the Wrocław Air Temperature Series. W: *The Polish Climate in the European Context: An Historical Overview*. Pr. zbior. Red. R. Przybylak, J. Majorowicz, R. Brazdil. M. Kejna. Dordrecht. Springer Science. ISBN 978-90-481-3166-2 s. 485–524.
- BRYŚ K., BRYŚ T. 2012a. Rekonstrukcja pokrywy śnieżnej we Wrocławiu-Swojcu w latach 1875–2010 (w druku).
- BRYŚ K., BRYŚ T. 2012b. Rekonstrukcja termiki gruntu we Wrocławiu-Swojcu w latach 1881–2010 (w druku).

- BRYŚ T. 2003. Variability of saturation deficit in Wrocław in the 20th century and some of its conditions. W: Man and climate in the 20th century. Pr. zbior. Red. J. L. Pyka, M. Dubicka, A. Szczepankiewicz-Szmyrka, M. Sobik, M. Błaś. Acta Universitatis Wratislaviensis. Studia Geograficzne. Nr 2542. T. 75 s. 203–215.
- DRAGAŃSKA E., KUCHAR L., SZWEJKOWSKI Z. 2004. Zastosowanie testu *cross validation* do weryfikacji modeli regresyjnych pogoda – plon na przykładzie pszenicy ozimej uprawianej w północno-wschodniej Polsce, Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura. Vol. 3(1) s. 29–36.
- DUBICKA M., KARAL J., ROPUSZYŃSKI P. 1995. Usłonecznienie we Wrocławiu w latach 1981–1992 na tle stuletniej serii obserwacyjnej. Acta Universitatis Wratislaviensis, Nr 1705. Prace Instytutu Geograficznego. Ser. C. Meteorologia i Klimatologia II s. 5–21.
- DUBICKA M., PYKA J.L. 2001. Klimat Wrocławia w XX wieku. Prace i Studia Geograficzne. Nr 29. Wydaw. Uniw. Warszawskiego s. 101–112.
- FOX J. 1997. Applied regression, linear models, and related methods. London, New Delhi, Singapore, Thousand Oaks, California. Sage Pub. ISBN: 080394540X ss. 62.
- HURTALOVA T., MATEJKA F. 1985. Relationship between soil surface and 2 cm depth temperature measurements. Contributions of the Geophysical Institute of SAV. Vol. 6 s. 41–50.
- MILLER D.H. 1981. Energy at the surface of the Earth. An introduction to the energetics of ecosystems. International Geophysics Series, 27. New York, London, Toronto, Sydney, San Francisco. Academic Press. ISBN: 978-0-12-497150-9 ss. 53.
- MONTEITH J.L. 1973. Principles of environmental physics. London. Edward Arnold. ISBN 0713123745 ss. 241+XIV.
- MONTEITH J.L., SZEICZ G. 1961. The radiation balance of bare soil and vegetation. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. Vol. 88 s. 496–506.
- NIEDZWIEDŹ T. (red.) 2003. Słownik meteorologiczny. Warszawa. PTG, IMGW. ISBN 83-8889725X ss. 496.
- OKE T.R. 1995. Boundary layer climates. London. Methuen. ISBN 0415043190 ss. 372.
- PASZYŃSKI J., MIARA K., SKOCZEK J. 1999. Wymiana energii między atmosferą a podłożem jako podstawa kartowania topoklimatycznego. Dokumentacja Geograficzna. Nr 14. ISSN 0012-5032 ss. 127.
- PASZYŃSKI J., KĘDZIORA A., TUCHOLKA S., KAPUŚCIŃSKI J., OLEJNIK J. 1995. Wpływ rodzaju powierzchni czynnej na strukturę bilansu cieplnego. W: Współczesne badania klimatologów polskich w kraju i za granicą. Symposium z okazji 40-lecia Zakładu Klimatologii IGiPZ PAN, 7–8 listopada 1994, Radzików. Conferences Papers 23 s. 69–92.
- PIHM 1962. Instrukcja dla stacji meteorologicznych. Seria A. Instrukcje i podręczniki. Nr 65. Warszawa. WKiŁ ss. 230.
- PYKA J.L. 1991. Temperatura i opady atmosferyczne we Wrocławiu w latach 1881–1980. Acta Universitatis Wratislaviensis. No. 1237. Prace Instytutu Geograficznego. Wrocław. Ser. A. VI s. 19–54.
- PYKA J.L. 1998a. Temperatura powietrza we Wrocławiu w latach 1881–1995. Acta Universitatis Wratislaviensis, Nr 2022. Prace Instytutu Geograficznego. Wrocław. Ser. C, Meteorologia i Klimatologia V s. 25–40.
- PYKA J.L. 1998b. Opady atmosferyczne we Wrocławiu w latach 1881–1995. Acta Universitatis Wratislaviensis. Nr 2022. Prace Instytutu Geograficznego. Wrocław. Ser. C. Meteorologia i Klimatologia. V s. 41–54.
- PYKA J.L. 2003. Meteorological observations and measurements in Wrocław. W: Man and climate in the 20th century. Pr. zbior. Red. J. L. Pyka, M. Dubicka, A. Szczepankiewicz-Szmyrka, M. Sobik, M. Błaś. Acta Universitatis Wratislaviensis. Studia Geograficzne. Nr 2542. T. 75 s. 11–22.
- WALPOLE R.E., MYERS R.H. 1993. Probability and Statistics for Engineers and Scientists. New York. Macmillan Coll. ISBN 0024242012 ss. 780

- WILKS D.S. 2006. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo. Elsevier. Academic Press. ISBN 0127519661 ss. 630 + XVIII.
- ŻYROMSKI A. 1990. Wyniki wieloletnich badań (1964–1987) nad wilgotnością gleby w Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologii AR Wrocław-Swojec. *Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu*. Z. 246 s. 147–156.
- ŻYROMSKI A. 2001. Czynniki agrometeorologiczne a kształtowanie się zasobów wody w glebie lekkiej z podsiękiem wód gruntowych w okresie wiosennym. *Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu*. Nr 404. Rozprawy 178 ss. 134.

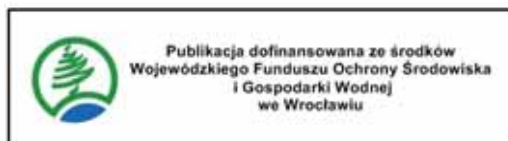
Krystyna BRYŚ

STATE OF GROUND IN WROCLAW-SWOJEC IN THE YEARS 1881–2010

Key words: air temperature, precipitation, reconstruction, snow cover, state of ground

S u m m a r y

In the paper have been done an analysis of variability and meteorological conditions of the state of ground (in the climatologic meaning) observed from the years 1961–2010 in Wrocław-Swojec. The work is mostly based on average monthly values of state of ground which have been calculated from their daily values (noted in the three time-limits: 6 UTC, 12 UTC, 18 UTC or 20 UTC). The strong statistical relationships between state of ground and essential meteorological elements have been educed from the 50-year series of the data. They have been a base for optimal multiply regression equations used to a reconstruction of the state of ground in Wrocław-Swojec from 1881 to 1960. The level of obtained errors of estimation and determination coefficients have been analysed. Apart from the ANOVA standard analysis the equations of regression have been verified by help of the cross-validation procedure. The reconstructed and observed values, which formed the 130-year (1881–2010) series of monthly values of the one, have given possibility to educe their trends. The biggest differences appear among the strong negative trend in the cold hydrological half-year (Nov.–Apr.) and statistical indistinct positive trend in the warm hydrological half-year (May–Oct.). The contrast in 1961–2010 is bigger than in the investigated 130-year. The similar differences of tendencies are visible also between particular months of winter and summer. The crucial factors for state of ground in the summer are climatic water balance, evaporation and frequency of days with precipitation, while frequency of days with snow cover is most important in the winter time.



Adres do korespondencji: dr K. Bryś, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska, pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław; tel. +48 71 320-55-68, e-mail: Krystyna.Bryś@up.wroc.pl