

Zygmunt Olecki

BILANS PROMIENIOWANIA KRÓTKOFALOWEGO SŁOŃCA NA POGÓRZU WIELICKIM W LATACH 1978–1982 I 1999–2003 NA PODSTAWIE POMIARÓW W GAIKU-BRZEZOWEJ

Zarys treści: Celem opracowania jest sprawdzenie jednorodności serii pomiarów promieniowania słonecznego w Gaiku-Brzezowej (Pogórze Wielickie) przez porównanie warunków solarnych dwóch pięcioleci: 1978–1982 i 1999–2003. W związku z ukończeniem w 1982 r. budowy zbiornika wodnego na rzece Raby lokalizacja działającej od 1965 r. stacji aktynometrycznej uległa niewielkiej zmianie. Dlatego pierwszy z porównywanych okresów obejmuje lata bezpośrednio przed powstaniem zbiornika, drugi zaś to okres po ustabilizowaniu się zmian, jakie zaszły w środowisku naturalnym w wyniku powstania dużego zbiornika wodnego. Z porównania obu pięcioleci wynika, że zmiana lokalizacji stacji aktynometrycznej nie spowodowała zerwania jednorodności serii pomiarowej, a korzystniejsze warunki solarne w latach 1999–2003 są efektem większej przezroczystości atmosfery oraz większego usłonecznienia niż w okresie 1978–1982.

Słowa kluczowe: promieniowanie słoneczne, usłonecznienie, przezroczystość atmosfery, Pogórze Wielickie

1. Wstęp

Porównanie warunków solarnych dwóch pięcioleci: 1978–1982 i 1999–2003, w Gaiku-Brzezowej zostało dokonane na podstawie pomiarów składowych bilansu promieniowania słonecznego wykonywanych w sześciu terminach: o godz. 6.30, 9.30, 12.30, 15.30 i 18.30 czasu miejscowego przy pomocy aktynometru Sawinowa-Janiszewskiego AT-50 i uniwersalnego piranometru Janiszewskiego M-80, połączonych z galwanometrami GSA-1. W latach 1978–1982 stację aktynometryczną zlokalizowano na tarasie doliny Raby na wysokości 259 m n.p.m., a w latach 1999–2003 znajdowała się ona na pobliskiej wierzchołku na wysokości 302 m n.p.m. Odległość liniowa między obu punktami pomiarowymi wynosiła około 600 m, dlatego też ich współrzędne

geograficzne wyrażone w stopniach i minutach były jednakowe: $\varphi=49^{\circ}52'N$, $\lambda=20^{\circ}04'E$ (różniły się przy tej odległości zaledwie o kilka sekund kątowych). Podobne zasłonięcie horyzontu na obu stacjach nie wpływało na wyniki pomiarów. Od północnego wschodu przez południe do zachodu horyzont był całkowicie otwarty, a nieco większe jego zasłonięcie zaznaczało się jedynie w kierunku północno-zachodnim i północnym.

Wyniki pomiarów aktywnometrycznych w Gaiku-Brzezowej dotychczas wielokrotnie wykorzystywano do charakterystyki przezroczystości atmosfery i stosunków radiacyjnych Pogórza Wielickiego (Hess i in. 1979, Olecki 2002, 2006), a także ich zróżnicowania w profilu pionowym Karpat (Hess, Olecki 1984, Olecki 1989, 1992a). Stacja dzięki lokalizacji w niewielkiej odległości od Krakowa (około 25 km), ale w terenie położonym poza zasięgiem oddziaływania wpływów miejskich i przemysłowych, (patrz ryc.1 w: Limanówka 2008) stała się również punktem odniesienia przy ocenie antropopresji na warunki radiacyjne i właściwości optyczne atmosfery miejskiej Krakowa (Hess i in. 1980, Olecki 1986, 1992b).

Ilość energii słonecznej, jaka dociera do powierzchni czynnej, zależy przede wszystkim od przezroczystości atmosfery i czasu trwania usłonecznienia. W obszarach położonych poza zasięgiem oddziaływania wpływów wielkomiejskich i przemysłowych przezroczystość atmosfery wykazuje wyraźny przebieg roczny, zmienia się ona także w ciągu dnia. W cyklu rocznym najbardziej przezroczystą atmosferą odznacza się półroczcie zimowe od października do marca, najmniej przezroczysta atmosfera występuje zaś w miesiącach letnich, szczególnie w czerwcu i lipcu. W przebiegu dziennym największą przezroczystością odznacza się atmosfera w godzinach rannych i przedpołudniowych, najmniejszą – w południowych.

2. Przezroczystość atmosfery

Do charakterystyki przezroczystości atmosfery w Gaiku-Brzezowej w latach 1978–1982 i 1999–2003 zostały wykorzystane średnie miesięczne wartości współczynników przezroczystości, obliczone dla trzech terminów pomiarowych w ciągu dnia, sprowadzonych do warunków dwóch mas optycznych atmosfery ($m=2$) odpowiadających wysokości Słońca 30° nad horyzontem (tab. 1). Z analizy wartości współczynników

Tab. 1. Średnie miesięczne wartości współczynników przezroczystości atmosfery w wybranych porach dnia w Gaiku-Brzezowej w latach 1978–1982 i 1999–2003

Table 1. Mean monthly atmospheric transparency indices in chosen times of a day in Gaik-Brzezowa in the years 1978–1982 and 1999–2003

Okres Period	Godz. Hour	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1978–1982	9 ³⁰	0,731	0,715	0,719	0,677	0,657	0,635	0,630	0,636	0,657	0,721	0,733	0,742
1999–2003		0,786	0,771	0,737	0,694	0,704	0,696	0,678	0,679	0,721	0,756	0,787	0,788
1978–1982	12 ³⁰	0,700	0,697	0,690	0,656	0,645	0,608	0,612	0,633	0,664	0,718	0,690	0,725
1999–2003		0,771	0,743	0,735	0,698	0,693	0,679	0,659	0,671	0,701	0,732	0,746	0,777
1978–1982	15 ³⁰	0,706	0,695	0,704	0,678	0,666	0,650	0,630	0,629	0,645	0,705	0,687	.
1999–2003		.	0,753	0,753	0,719	0,717	0,694	0,683	0,704	0,734	0,732	.	.

wynika, że w latach 1999–2003 przezroczystość atmosfery była wyraźnie większa niż w okresie 1978–1982 (niezależnie od pory dnia). Na znacznie korzystniejsze warunki drugiego pięciolecia wskazuje także fakt, że w poszczególnych latach bardzo wysokie średnie miesięczne współczynniki, bo przekraczające wartość 0,800, wystąpiły cztery razy w godzinach przedpołudniowych i jeden raz w południe, podczas gdy w pierwszym pięcioleciu nie zostały w ogóle zanotowane. Również liczba miesięcy, w których średnie miesięczne wartości współczynników przezroczystości przekraczały 0,750, okazała się większa w latach 1999–2003 niż 1978–1982 i wynosiła odpowiednio 25 i 5 w porze przedpołudniowej (9.30), 17 i 3 w południe (12.30) oraz 8 i 1 przypadków w godzinach popołudniowych (15.30).

3. Usłonecznienie

Istotny wpływ na ilość energii, jaką otrzymuje od Słońca powierzchnia czynna, wywiera usłonecznienie. Warunkuje ono dopływ energii w postaci promieniowania bezpośredniego, a tym samym skład całkowitego promieniowania słonecznego. Z porównania czasu trwania usłonecznienia w analizowanych pięcioleciach wynika, że liczba godzin ze Słońcem w latach 1999–2003 była większa niż w okresie 1978–1982. Sumy roczne usłonecznienia osiągały ponad 1626 godzin w pierwszym i zaledwie 1395 godzin w drugim przypadku, dając odpowiednio 36,4% i 31,2% możliwej na tej szerokości geograficznej rocznej liczby godzin ze Słońcem (tab. 2). W przebiegu

Tab. 2. Średnie miesięczne i roczne sumy usłonecznienia rzeczywistego oraz usłonecznienia względnego w Gaiku-Brzezowej w latach 1978–1982 i 1999–2003

Table 2. Mean monthly and annual sums of actual and relative sunshine duration in Gaik-Brzezowa in the years 1978–1982 and 1999–2003

Okres Period	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I–XII
usłonecznienie rzeczywiste (godz.) / sunshine duration (hour)													
1978–1982	53,0	71,1	103,4	111,4	191,6	186,4	171,2	178,4	130,8	105,0	55,1	36,6	1395,0
1999–2003	54,0	78,0	112,1	154,4	254,1	208,3	187,3	239,7	145,6	97,9	57,3	38,0	1626,7
usłonecznienie względne (%) / relative sunshine duration (%)													
1978–1982	19,8	25,6	27,9	27,0	40,2	38,1	34,8	39,8	34,6	31,5	20,3	14,5	31,2
1999–2003	20,1	27,7	30,3	37,4	53,3	42,6	38,1	53,5	38,5	29,4	21,1	15,0	36,4

rocznym największymi sumami miesięcznymi usłonecznienia odznaczają się miesiące wiosenno-letnie (od maja do sierpnia), obejmują one bowiem 52–65% sumy rocznej. W okresie 1999–2003 sumy miesięczne usłonecznienia wahały się w tej części roku od około 240 do prawie 255 godzin, osiągając w maju i sierpniu ponad 53% usłonecznienia możliwego. W latach 1978–1982 były one mniejsze – zmieniły się bowiem od około 180 do nieco ponad 190 godzin, to jest zaledwie 40% sumy możliwej (tab. 2). W obu analizowanych okresach w sezonie letnim niekorzystnymi warunkami usłonecznienia na tle sąsiednich miesięcy wyróżniał się lipiec, w którym średnia liczba godzin ze Słońcem w tym miesiącu osiągnęła tylko około 171–187 godzin, a więc 35–38%.

O korzystniejszych warunkach solarnych lat 1999–2003 w porównaniu z okresem 1978–1982 świadczą również liczby dni z usłonecznieniem ≥ 10 godzin i dni bez usłonecznienia. Pierwsze z tych dni występują w półroczu letnim, drugie zaś koncentrują się w chłodnej części roku, obejmując w grudniu ponad połowę wszystkich dni tego miesiąca.

Na szerokości geograficznej $\varphi=50^{\circ}\text{N}$ dni z usłonecznieniem ≥ 10 godzin teoretycznie mogą występować od drugiej połowy lutego prawie do końca października. W zasadzie na omawianym obszarze są one notowane od marca do września, a w lutym i w październiku pojawiają się sporadycznie (tab. 3). W analizowanych pięcioleciach średnia roczna liczba dni z usłonecznieniem ≥ 10 godzin w latach 1999–2003 osiągnęła 56,4 dni, a w ciągu roku najczęściej pojawiały się one w maju (14,4 dni) i w sierpniu (12,4 dni). W pierwszym z omawianych pięcioleci 1978–1982 ich liczba była prawie dwukrotnie mniejsza, bo zaledwie 30 dni, z maksimum w maju – 8 dni (tab. 3).

Tab. 3. Średnie miesięczne i roczne liczby dni z usłonecznieniem ≥ 10 godz. i dni bez usłonecznienia w Gaiku-Brzezowej w latach 1978–1982 i 1999–2003

Table 3. Mean monthly and annual numbers of days with the sunshine duration ≥ 10 hours and days without sunshine in Gaik-Brzezowa in the years 1978–1982 and 1999–2003

Okres Period	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I–XII
liczba dni z usłonecznieniem ≥ 10 godz. / number of days with the sunshine duration ≥ 10 hours													
1978–1982	.	.	0,2	2,2	8,0	7,6	4,4	6,2	1,4	0,2	.	.	30,2
1999–2003	.	0,4	1,4	6,0	14,4	10,2	7,2	12,4	4,0	0,4	.	.	56,4
liczba dni bez usłonecznienia / number of days without sunshine													
1978–1982	13,8	10,6	7,6	6,2	3,8	3,0	2,4	3,0	6,0	7,0	13,2	17,2	93,8
1999–2003	11,6	8,6	7,2	3,8	2,8	3,2	3,2	1,4	4,0	5,6	11,2	15,6	78,2

Znacznie częściej na omawianym obszarze występują dni bez usłonecznienia. Jak wynika z tabeli 3, średnia roczna liczba tych dni to prawie 94 dni w pierwszym (1978–1982) i tylko 78 dni w drugim (1999–2003) pięcioleciu. Prawie 60% dni bez usłonecznienia występowało w okresie od listopada do lutego, z czego około 45% przypadło na sezon zimowy.

4. Bezpośrednie promieniowanie Słońca

Całkowita ilość energii (całkowite promieniowanie słoneczne) dociera do powierzchni w postaci bezpośredniego promieniowania Słońca i promieniowania rozproszonego. W warunkach pogody bezchmurnej lub o małym, niezasłaniającym tarczy słonecznej, zachmurzeniu głównym składnikiem promieniowania całkowitego jest strumień promieniowania bezpośredniego. O jego wielkości decyduje przezroczystość atmosfery oraz wysokość Słońca nad horyzontem, od której zależy długość drogi, jaką pokonuje on, przechodząc przez atmosferę. W omawianych latach największe zanotowane natężenie promieniowania bezpośredniego na powierzchnię prostopadłą do kierunku biegu wiązki promieni słonecznych osiągnęło około $932\text{--}936 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (tab. 4), co stanowi 67–68% wartości stałej słonecznej.

Tab. 4. Najwyższe wartości natężenia bezpośredniego promieniowania Słońca na powierzchni prostopadłą ($W \cdot m^{-2}$) w Gaiku-Brzezowej w latach 1978–1982 i 1999–2003Table 4. The highest values of direct solar radiation intensity on a perpendicular surface ($W \cdot m^{-2}$) in Gaik-Brzezowa in the years 1978–1982 and 1999–2003

Okres Period	Godz. Hour	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1978–1982	6 ³⁰			531,7	521,3	702,0	664,3	590,3	590,3	443,1			
	9 ³⁰	685,2	840,8	872,9	896,7	932,3	838,1	859,7	840,8	819,9	856,9	708,3	750,8
	12 ³⁰	773,2	886,2	928,8	877,8	928,8	915,5	861,1	884,8	842,2	911,3	802,5	752,2
	15 ³⁰			783,6	798,7	839,5	771,8	752,2	801,1	721,5	706,9		
1999–2003	6 ³⁰			329,4	785,0	741,1	739,7	652,4	554,8	329,4			
	9 ³⁰	741,1	885,5	898,8	924,6	932,3	896,0	859,0	840,2	848,5	813,6	816,4	687,3
	12 ³⁰	833,2	887,6	930,9	934,4	935,7	933,0	880,6	903,0	890,4	854,1	853,4	841,5
	15 ³⁰		783,6	796,2	847,1	848,5	857,6	806,7	800,4	776,7	670,6		

Natężenie bezpośredniego promieniowania Słońca na powierzchnię prostopadłą zmieniało się w Gaiku-Brzezowej w analizowanym okresie w szerokich granicach, zarówno w przebiegu rocznym, jak i w ciągu dnia (tab. 4). W przebiegu rocznym największa jego intensywność występowała w sezonie wiosennym, ze względu na większą niż latem przezroczystość atmosfery. Mniejsza intensywność tego promieniowania w miesiącach zimowych, pomimo dużej przezroczystości atmosfery, to efekt pokonywania wielokrotnie dłuższej drogi przez atmosferę. Niesymetryczny względem południa okazał się także rozkład natężenia promieniowania bezpośredniego w ciągu dnia. W godzinach przedpołudniowych miało ono większą wartość niż w porze popołudniowej.

Z porównania najwyższych zanotowanych wartości natężenia bezpośredniego promieniowania Słońca na powierzchnię prostopadłą w obu omawianych pięcioleciach wynika, że w latach 1999–2003 było ono większe niż w okresie 1978–1982, podobnie jego zróżnicowanie zanotowano natomiast w przebiegu rocznym i dziennym w obu przypadkach.

5. Całkowite promieniowanie słoneczne

Wzrost zachmurzenia zmniejsza rolę promieniowania bezpośredniego, zwiększa się zaś znacznie udział promieniowania rozproszonego w energii dopływającej do poziomej powierzchni czynnej. Jak wynika z tabeli 5, udział promieniowania rozproszonego w całkowitym promieniowaniu słonecznym był największy w miesiącach zimowych i wahał się od około 60% do prawie 80% w godzinach przedpołudniowych i południowych, zwiększając się do ponad 90% w porze popołudniowej. Jedynie w cieplej części roku udział promieniowania rozproszonego w całkowitym spada poniżej 50%, szczególnie wyraźnie w latach 1999–2003. Miesiącem, w którym udział promieniowania bezpośredniego zdecydowanie przeważał nad rozproszonym, był maj.

Z analizy zestawionych w tabelach 6 i 7 średnich miesięcznych wartości natężenia promieniowania bezpośredniego na powierzchnię poziomą i promieniowania rozproszonego wynika, że w latach 1978–1982 to ostatnie odgrywało decydującą rolę w dopływie energii do powierzchni czynnej w zasadzie w ciągu całego roku. Ze względu

Tab. 5. Udział promieniowania rozproszonego w całkowitym promieniowaniu słonecznym (%) w Gaiku-Brzezowej w latach 1978–1982 i 1999–2003

Table 5. The share of diffused solar radiation in the total solar radiation (%) in Gaik-Brzezowa in the years 1978–1982 and 1999–2003

Okres Period	Godz. Hour	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1978–1982	9 ³⁰	79	73	61	59	47	51	59	51	57	51	70	77
	12 ³⁰	67	62	57	59	47	53	59	52	52	49	63	73
	15 ³⁰	91	75	66	64	56	57	68	58	60	61	93	100
1999–2003	9 ³⁰	77	61	53	47	35	40	44	41	49	55	64	71
	12 ³⁰	65	53	53	51	35	40	49	42	47	53	63	64
	15 ³⁰	99	66	62	58	39	48	52	48	50	74	96	100

Tab. 6. Średnie miesięczne wartości natężenia promieniowania ($W \cdot m^{-2}$) w Gaiku-Brzezowej w latach 1978–1982

Table 6. Mean monthly solar radiation intensity ($W \cdot m^{-2}$) in Gaik-Brzezowa in the years 1978–1982

Godz. Hour	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
promieniowanie bezpośrednie na powierzchni poziomej / direct solar radiation on a plane surface												
6 ³⁰			3,3	18,0	65,5	56,7	46,6	34,0	6,7	0,7		
9 ³⁰	18,7	45,3	95,8	143,5	252,8	247,3	175,8	206,4	138,6	104,8	33,7	16,8
12 ³⁰	52,3	102,6	151,1	150,0	282,4	245,4	202,6	238,4	196,4	137,9	53,3	33,3
15 ³⁰	3,3	26,3	64,1	82,2	144,5	153,2	102,6	126,8	82,8	36,7	2,1	0,0
18 ³⁰				0,0	9,3	16,6	9,5	0,9				
promieniowanie rozproszone / diffused solar radiation												
6 ³⁰			16,6	63,4	111,6	123,4	111,3	88,3	40,9	11,5		
9 ³⁰	70,0	122,6	147,1	205,8	221,3	253,1	247,8	217,6	182,5	110,8	79,3	55,5
12 ³⁰	119,8	168,7	197,8	215,4	249,4	272,0	286,8	260,2	210,3	130,2	100,9	91,0
15 ³⁰	33,3	77,2	122,3	144,7	182,4	202,5	213,9	176,8	124,2	58,2	25,8	14,1
18 ³⁰				11,1	39,1	57,7	55,5	27,0				
promieniowanie całkowite / total solar radiation												
6 ³⁰			19,9	81,4	177,1	180,1	157,9	122,3	47,6	12,2		
9 ³⁰	88,7	167,9	242,9	349,3	474,1	500,4	423,6	424,0	321,1	215,6	113,0	72,3
12 ³⁰	178,1	271,3	348,9	365,4	531,8	517,4	489,4	498,6	406,7	268,1	154,2	124,3
15 ³⁰	36,6	103,5	186,4	226,9	326,9	355,7	316,5	303,6	207,0	94,9	27,9	14,1
18 ³⁰				11,1	48,4	74,3	65,0	27,9				
promieniowanie pochłonięte / absorbed solar radiation												
6 ³⁰			14,6	61,7	130,9	131,8	115,2	88,6	35,1	9,2		
9 ³⁰	32,6	80,1	183,3	279,8	366,0	381,6	321,7	319,6	243,3	163,4	80,5	38,2
12 ³⁰	69,8	139,9	267,9	295,1	420,4	402,0	377,2	386,2	313,7	204,7	111,6	70,7
15 ³⁰	15,7	58,1	144,9	179,7	253,8	270,7	241,7	230,9	157,2	72,9	20,5	7,7
18 ³⁰				8,9	36,9	55,2	56,7	21,3				

Tab. 7. Średnie miesięczne wartości natężenia promieniowania ($W \cdot m^{-2}$) w Gaiku-Brzezowej w latach 1999–2003Table 7. Mean monthly solar radiation intensity ($W \cdot m^{-2}$) in Gaik-Brzezowa in the years 1999–2003

Godz. Hour	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
promieniowanie bezpośrednie na powierzchnię poziomą / direct solar radiation on a plane surface												
6 ³⁰			3,0	30,1	102,6	86,2	62,3	46,0	11,9	0,9		
9 ³⁰	17,5	57,0	119,0	203,0	328,3	272,5	232,3	272,6	161,0	86,4	38,2	19,5
12 ³⁰	55,2	113,6	162,2	217,6	379,8	313,9	237,3	320,7	211,8	112,3	53,8	41,6
15 ³⁰	0,4	31,2	64,7	109,0	235,2	187,0	161,3	190,4	108,4	21,7	0,9	0,0
18 ³⁰				0,7	19,2	28,0	19,8	0,0				
promieniowanie rozproszone / diffused solar radiation												
6 ³⁰			16,8	57,4	88,2	92,9	83,8	73,5	36,2	9,3		
9 ³⁰	58,1	90,8	136,1	178,7	180,0	183,4	180,3	190,9	157,7	104,8	68,9	48,1
12 ³⁰	102,7	129,4	181,0	227,6	200,8	212,4	226,4	228,2	190,2	128,4	92,4	74,8
15 ³⁰	32,0	61,5	105,9	148,5	152,6	175,1	175,3	174,9	110,0	60,2	23,1	12,5
18 ³⁰				14,6	41,7	54,9	50,5	32,3	4,5			
promieniowanie całkowite / total solar radiation												
6 ³⁰			19,8	87,5	190,8	179,1	146,1	119,5	48,1	10,2		
9 ³⁰	75,6	147,8	255,1	381,7	508,3	455,9	412,6	463,5	318,7	191,2	107,1	67,6
12 ³⁰	157,9	243,0	343,2	445,2	580,0	526,3	463,7	548,9	402,0	240,6	146,2	116,4
15 ³⁰	32,4	92,7	170,6	257,5	387,8	362,1	336,6	365,3	218,4	81,9	24,0	12,5
18 ³⁰				15,3	60,9	82,9	70,3	37,1	4,5			
promieniowanie pochłonięte / absorbed solar radiation												
6 ³⁰			13,7	62,0	136,5	130,7	105,3	84,1	33,8	7,2		
9 ³⁰	42,0	76,7	182,5	290,5	293,4	359,9	318,0	350,3	239,3	143,9	76,3	36,6
12 ³⁰	87,2	136,9	255,4	343,0	456,7	414,9	366,6	426,5	308,1	185,5	107,1	65,3
15 ³⁰	17,1	52,3	125,4	195,0	295,8	276,6	253,6	276,0	163,8	57,7	18,4	7,4
18 ³⁰				12,1	45,8	61,4	51,3	28,4	3,9			

na większe usłonecznienie oraz znacznie większą liczbę dni z usłonecznieniem ≥ 10 godzin w latach 1999–2003 przewaga promieniowania rozproszonego nad bezpośrednim wystąpiła jedynie w chłodnej części roku, tzn. od listopada do marca w godzinach przedpołudniowych i od października do kwietnia w porze południowej.

Promieniowanie całkowite jest, jak wiadomo, sumą dopływającej do powierzchni energii w postaci promieniowania bezpośredniego i rozproszonego. W przebiegu rocznym natężenie promieniowania całkowitego zmieniało się na omawianym obszarze w latach 1978–1982 od $72,3 W \cdot m^{-2}$ w grudniu do $474,1$ – $500,4 W \cdot m^{-2}$ w maju i czerwcu w porze przedpołudniowej oraz od $124,3$ do $531,8$ – $517,4 W \cdot m^{-2}$ w południe (tab. 6). W pięcioleciu 1999–2003 wartości natężenia tego promieniowania zmieniały się odpowiednio od $67,5 W \cdot m^{-2}$ w grudniu do $580,0$ – $526,3 W \cdot m^{-2}$ w maju i w czerwcu (tab. 7). Z porównania obu pięcioleci wynika, że w latach 1978–1982 natężenie promieniowania całkowitego było większe niż w okresie 1999–2003 przez większą część roku. Korzystniejsze warunki radiacyjne drugiego z analizowanych pięcioleci wystąpiły jedynie w miesiącach od marca do maja w godzinach przedpołudniowych i od kwietnia do czerwca w porze południowej, a także w sierpniu w obu terminach.

6. Albedo i promieniowanie pochłonięte

Otrzymaana przez powierzchnię energia promieniowania całkowitego tylko w części jest przez nią pochłaniana i przekształcana w ciepło, reszta zaś ulega odbiciu. O ilości energii traconej przez powierzchnię na skutek odbicia decydują jej właściwości radiacyjne, czyli albedo. Albedo powierzchni czynnej w Gaiku-Brzezowej w omawianych latach zmieniało się w ciągu roku w szerokich granicach. Największym albedo odznaczały się miesiące zimowe. Jego wartości wahały się w tym sezonie od około 40% do ponad 60%, a największe różnice między obu pięcioleciami wystąpiły w styczniu, kiedy albedo zmieniało się w ciągu dnia od 57 do 63% w latach 1978–1982 i 45–47% w okresie 1999–2003 (tab. 8). W pozostałych miesiącach, poza sezonem zimowym, albedo powierzchni czynnej nie podlegało większym zmianom i kształtowało się w przedziale 20–25%. Jedynie w listopadzie było ono nieco większe, dochodziło bowiem do 27–29% (tab. 8) Poza sezonem zimowym nie wystąpiły istotne różnice w wielkości albedo między obu porównywanymi okresami.

Tab. 8. Średnie miesięczne albedo powierzchni czynnej (%) w Gaiku-Brzezowej w latach 1978–1982 i 1999–2003

Table 8. Mean monthly albedo of the active surface (%) in Gaik-Brzezowa in the years 1978–1982 and 1999–2003

Okres Period	Godz. Hour	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1978–1982	9 ³⁰	63	52	25	20	23	24	24	25	24	24	29	47
	12 ³⁰	61	48	23	19	21	22	23	23	23	24	28	43
	15 ³⁰	57	44	22	19	22	24	24	24	25	23	27	45
1999–2003	9 ³⁰	47	49	28	24	23	23	23	24	25	25	29	46
	12 ³⁰	45	44	26	23	22	21	23	22	23	24	28	47
	15 ³⁰	47	44	27	24	24	24	24	24	25	24	26	40

Promieniowanie pochłonięte przez powierzchnię czynną kształtuje warunki cieplne przyziemnej warstwy atmosfery i górnych warstw gleby. Jego intensywność w Gaiku-Brzezowej w latach 1978–1982 zmieniała się w ciągu roku od 32,6 W·m⁻² w styczniu do 381,6 W·m⁻² w czerwcu w godzinach przedpołudniowych oraz od około 70 W·m⁻² w grudniu i styczniu do ponad 480 W·m⁻² w czerwcu w porze południowej (tab. 6) Minimum roczne w styczniu spowodowane było znacznie większym albedo, przekraczającym w tym miesiącu 60%, podczas gdy w grudniu było o prawie 20% mniejsze (tab. 8). W latach 1999–2003, wobec nieznacznych różnic w wielkości albedo miesięcy zimowych, roczne minimum intensywności promieniowania pochłoniętego wystąpiło w grudniu i wynosiło 36,6 W·m⁻² w porze południowej w pierwszej części dnia i 65,3 W·m⁻² w południe. Maksimum roczne miało miejsce w czerwcu – osiągając przed południem prawie 360 W·m⁻² i około 457 W·m⁻² w południe (tab. 7).

Porównanie obu analizowanych okresów wykazuje, że w latach 1978–1982 intensywność promieniowania pochłoniętego była większa niż w pięcioleciu 1999–2003,

szczególne w porze przedpołudniowej. W tej części dnia jedynie w trzech miesiącach, tj. w styczniu, kwietniu i sierpniu, wielkość energii pochłoniętej wyniosła więcej w drugim z omawianych pięcioleci. Nieco korzystniejszymi warunkami, tzn. większym pochłanianiem energii słonecznej w latach 1999–2003, odznaczał się termin południowy, w którym większa niż w okresie 1978–1982 intensywność promieniowania pochłoniętego miała miejsce w sezonie wiosennym od kwietnia do czerwca, a ponadto w styczniu i w sierpniu.

7. Automatyczne pomiary promieniowania słonecznego

Regularne pomiary składowych bilansu promieniowania słonecznego w Gaiku-Brzezowej prowadzone są od 1965 r. za pomocą przedstawionej wcześniej aparatury. W 2006 r. zostały zakupione i zainstalowane czujniki: Kipp&Zonen CNR1 do pomiarów bilansu promieniowania słonecznego oraz BF3H firmy DeltaT do pomiaru promieniowania rozproszonego i całkowitego, które we współpracy z rejestracją komputerową wskazań pozwalają określić intensywność promieniowania w dowolnym momencie, a także sumy energii dopływającej w określonym przedziale czasu.

W celu poznania zgodności uzyskiwanych wyników przy zastosowaniu obu systemów pomiarowych zostały porównane wartości natężenia całkowitego promieniowania słonecznego z terminów godz. 9.30, 12.30 i 15.30 czasu miejscowego stacji aktywnometrycznej w okresie kwiecień–sierpień 2006 r. Do porównania zostały wybrane tylko takie przypadki, kiedy panujące warunki pogodowe w czasie pomiaru były stabilne, niezakłócające wiązki promieni słonecznych. Warunek ten spełniała jedynie pogoda bezchmurna, z możliwie dużą przezroczystością atmosfery, ale zmniejszona została przez to znacznie liczba przypadków odpowiednich do porównania. Konieczne jest zatem zebranie danych z dłuższego okresu.

Tab. 9. Porównanie średnich wartości natężenia całkowitego promieniowania słonecznego ($W \cdot m^{-2}$) uzyskanych przy pomocy aparatury automatycznej (A) i pomiarów tradycyjnych (T) w Gaiku-Brzezowej w okresie kwiecień–sierpień 2006 roku

Table 9. The comparison of mean total solar radiation intensity ($W \cdot m^{-2}$) measured with the automatic (A) and traditional (T) equipment in Gaik-Brzezowa in the period April–August 2006

Godz. Hour	Typ pomiarów Measurement type	IV	V	VI	VII	VIII
9 ³⁰	A	636,7	726,5	768,3	717,6	667,7
	T	631,3	713,8	760,1	715,2	660,7
	różnica (%) difference (%)	0,8	1,7	1,1	0,3	1,0
12 ³⁰	A	786,2	892,5	921,0	878,5	837,0
	T	756,1	866,4	907,9	860,1	823,1
	różnica (%) difference (%)	3,8	2,9	1,4	2,1	1,7
15 ³⁰	A	460,3	626,5	631,5	607,6	567,2
	T	449,4	615,3	634,1	605,2	558,9
	różnica (%) difference (%)	2,4	1,8	-0,4	0,4	1,5

Średnie wartości natężenia całkowitego promieniowania słonecznego w poszczególnych miesiącach i porach dnia analizowanego okresu przedstawia tabela 9. Wstępna analiza porównywanych danych wykazuje dużą, mieszczącą się w dopuszczalnych granicach, zgodność wyników pomiarów promieniowania wykonywanych zarówno tradycyjnie, jak i w sposób automatyczny. Generalnie wyniki uzyskiwane metodą tradycyjną są nieco zaniżone w stosunku do pomiarów automatycznych. Konieczna jest jednak kontynuacja serii pomiarowej na większej liczbie danych z dłuższego okresu.

8. Wnioski

Porównanie warunków radiacyjnych na omawianym obszarze w latach 1978–1982 i 1999–2003 zawiera główne cechy ich zróżnicowania przede wszystkim w przebiegu rocznym. Przeprowadzona analiza pozwala stwierdzić, że zmiana lokalizacji stacji nie spowodowała zerwania jednorodności całej ponadczterdziestoletniej serii pomiarów aktywności promieniowania w Gaiku-Brzezowej. Korzystniejsze warunki solarne w latach 1999–2003 są wynikiem większej przezroczystości atmosfery i większego osłonecznienia niż w okresie 1978–1982. Zgromadzony obszerny materiał liczbowy, przy uwzględnieniu sytuacji pogodowej, a także zmian stanu powierzchni czynnej, pozwoli w dalszych badaniach dokonać bardziej gruntownej analizy poszczególnych składowych bilansu promieniowania słonecznego na tym obszarze.

Literatura

- Hess M., Leśniak B., Olecki Z., Rauczyńska-Olecka D., 1980, *Wpływ krakowskiej aglomeracji miejsko-przemysłowej na promieniowanie słoneczne dochodzące do powierzchni ziemi*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 51, 7–73.
- Hess M., Olecki Z., Rauczyńska-Olecka D., 1979, *Radiacyjne cechy klimatu na Pogórzu Wielickim*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 49, 102.
- Hess M., Olecki Z., 1984, *Zróżnicowanie całkowitego promieniowania słonecznego na obszarze Karpat*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 58, 49–63.
- Limanówka D., 2008, *Zmienność klimatu Pogórza Wielickiego w latach 1978–2003 (na przykładzie stacji Dobczyce)*, niniejszy tom.
- Olecki Z., 1986, *On the components of the radiation balance in Cracow*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 69, 27–38.
- Olecki Z., 1989, *Bilans promieniowania słonecznego w dorzeczu górnej Wisły*, Rozpr. Habil. UJ, 157.
- Olecki Z., 1992a, *Global solar radiation on the north-facing slope of the Carpathian Mountains*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 88, 125–145.
- Olecki Z., 1992b, *Przezroczystość atmosfery w krakowskiej aglomeracji miejsko-przemysłowej*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 90, 23–34.
- Olecki Z., 2002, *Differentiation of the solar conditions in the Carpathian Foothills during 1971–1997*, Prace Geogr. IG i GP UJ, 109, 97–109.
- Olecki Z., 2006, *Roczne i dzienne wahania przezroczystości atmosfery na Pogórzu Wielickim*, [w:] J. Trepiańska, Z. Olecki (red.), *Klimatyczne aspekty środowiska geograficznego*, Inst. Geogr. i Gosp. Przestrz. UJ, Kraków, 63–71.

Short-wave solar radiation balance in the Wieliczka Foothills in the years 1978–1982 and 1999–2003 according to the measurements in Gaik-Brzezowa

Summary

The aim of the paper is proving the homogeneity of the solar radiation measurement series in Gaik-Brzezowa (Wieliczka Foothills) by comparison of the data from two periods: 1978–1982 and 1999–2003. In 1982, the Dobczyce Water Reservoir was completed and therefore the actinometric station operating since 1965 had to be moved slightly. The first period present data from the station located in the river valley before the construction of the reservoir, while the other period was chosen to get the data obtained after the stabilization of the environment to the new element, from the station located on a hill top. The atmospheric transparency was much higher in the years 1999–2003 than in the period 1978–1982 (Table 1), similar to sunshine duration (Table 2). In the years 1978–1982 the main component controlling the total radiation was the diffused radiation, while in the years 1999–2003 it was higher from the direct radiation only on cold half-year in the morning hours (Table 6 and 7). The comparison proved that the change in the station localization did not affect the series homogeneity. Better solar conditions in the period 1999–2003 result from higher atmospheric transparency and higher sunshine duration than in 1978–1982.

Translated by Anita Bokwa

*Zygmunt Olecki
Uniwersytet Jagielloński
Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej
ul. Gronostajowa 7
30-387 Kraków*

