

JERZY PYRKO

*Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego — Akademia Rolnicza w Warszawie*

## O MOŻLIWOŚCIACH WYKORZYSTANIA W ROLNICTWIE ENERGII SŁONECZNEJ. Cz. II\*

Panuje niesłuszny pogląd, że warunki klimatyczne w Polsce są znacznie gorsze pod względem napromienienia i usłonecznienia, niż w wielu krajach europejskich, leżących na zbliżonych szerokościach geograficznych. Wiąże się z tym druga opinia, również błędna, że jednostkowe koszty pozyskiwania energii cieplnej przy pomocy kolektorów słonecznych są u nas kilkakrotnie wyższe w porównaniu z urządzeniami wykorzystującymi w tym celu energię elektryczną lub paliwa tradycyjne. Podjęto więc próbę wykazania niesłuszności tych poglądów oraz uzasadnienia celowości stosowania heliotechniki w polskim rolnictwie.

### *Promieniowanie słoneczne w Polsce*

Dokładna analiza rozkładu napromienienia promieniowania słonecznego w Polsce jest bardzo utrudniona, gdyż systematyczne pomiary są prowadzone zaledwie w dziewięciu stacjach meteorologicznych. Stąd opracowane wartości liczbowe dotyczą ściśle określonych miejsc w Polsce i nie mogą być podstawą do bardzo szczegółowej analizy.

W tabeli 1 zestawiono, dostępne z różnych źródeł, wartości rocznego napromienienia w Polsce i innych krajach. Z porównania wynika, że wartości rocznego napromienienia w Polsce są zróżnicowane, ale w niektórych przypadkach nawet nieco wyższe niż na podobnych szerokościach geograficznych w innych krajach europejskich.

W tabeli 2 i 3 przedstawiono okresowe napromienienie całkowitego promieniowania słonecznego dla dziewięciu miejscowości w Polsce, pochodzące z dwóch różnych źródeł. Wyodrębniono w nich napromienienie w okresie sześciu miesięcy ciepłych (kwiecień — wrzesień) oraz napromienienie w okresie sześciu miesięcy chłodnych (październik — marzec).

---

\* W części I, opublikowanej w Postęпах Nauk Rolniczych (1980, nr 6) przedstawiono przegląd możliwości wykorzystania energii słonecznej w rolnictwie na podstawie badań zagranicznych. Część II jest poświęcona analizie możliwości wykorzystania energii słonecznej w polskim rolnictwie.

Tabela 1

Przykładowe wartości rocznego napromienienia całkowitego promieniowania słonecznego — wg [2, 7]

| Kraj              | Miejscowość     | Szerokość geograficzna północna | Napromienienie   |
|-------------------|-----------------|---------------------------------|--|
|                   |                 |                                 | $\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ |
| Polska            | Gdynia          | 54°31'                          | 1039   |
|                   | Kołobrzeg       | 54°11'                          | 1052   |
|                   | Suwałki         | 54°06'                          | 997  |
|                   | Mikołajki       | 53°47'                          | 1001   |
|                   | Warszawa        | 52°16'                          | 966  |
|                   | Erwinów         | 52°08'                          | 1004   |
|                   | Wrocław         | 51°06'                          | 1034   |
|                   | Zakopane        | 49°18'                          | 1032   |
|                   | Kasprowy Wierch | 49°14'                          | 1090   |
| CSRS              | Podersam        | 50°13'                          | 929  |
| NRD               | Berlin          | 52°27'                          | 1000   |
|                   | Poczdami        | 52°23'                          | 1025   |
| RFN               | Hamburg         | 53°38'                          | 950  |
|                   | Bochum          | 51°28'                          | 840  |
|                   | Würzburg        | 49°45'                          | 1080   |
| Francja           | Paryż           | 48°49'                          | 1100   |
| Wielka Brytania   | Londyn (Kew)    | 51°30'                          | 927  |
| Szwecja           | Sztokholm       | 59°21'                          | 876  |
| Austria           | Wiedeń          | 48°12'                          | 1060   |
| USA <sup>2)</sup> | Boston          | 42°30'                          | 1274   |
|                   | Chicago         | 42°10'                          | 1155   |
|                   | Nowy York       | 40°50'                          | 1270   |
|                   | Los Angeles     | 34°10'                          | 1960   |

<sup>2)</sup> dane wg [7]

Na przeważającym obszarze kraju na okres ciepły (IV—IX) przypada od 78,0% do 80,9% rocznego napromienienia. Jedynie na obszarach górskich proporcja ta zmienia się nieco na niekorzyść okresu ciepłego (68,8—73,7%).

Terytorialny rozkład średniego rocznego napromienienia w Polsce przedstawia rysunek 1.

Tabela 2

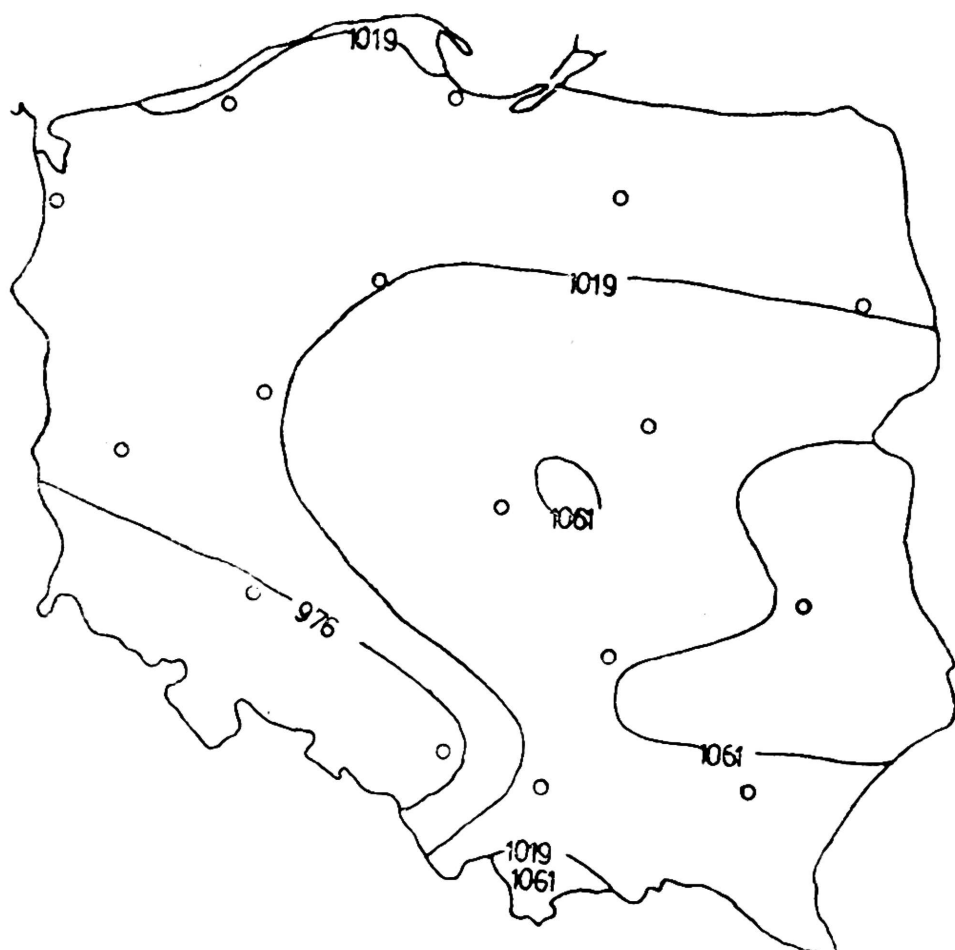
Okresowe napromienienie w Polsce (mierzone na powierzchni poziomej) — wg [2]

| Miejscowość     | Napromienienie w $\text{kW}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-2}$ |    |     |     |     |     |     |      |    |    |    |     | Roczne | W okresie IV-IX | W okresie X-III |
|-----------------|---|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|----|----|----|-----|--------|-----------------|-----------------|
|                 | Miesięczne  |    |     |     |     |     |     |      |    |    |    |     |        |                 |                 |
|                 | I   | II | III | IV  | V   | VI  | VII | VIII | IX | X  | XI | XII |        |                 |                 |
| Gdynia          | 16  | 30 | 76  | 113 | 153 | 186 | 163 | 131  | 90 | 50 | 18 | 13  | 1039   | 836             | 203             |
| Kołobrzeg       | 17  | 32 | 72  | 111 | 156 | 185 | 165 | 140  | 93 | 49 | 19 | 13  | 1052   | 850             | 202             |
| Suwałki         | 18  | 34 | 75  | 104 | 141 | 173 | 162 | 128  | 88 | 44 | 17 | 13  | 997    | 796             | 201             |
| Mikołajki       | 17  | 33 | 70  | 99  | 141 | 178 | 162 | 134  | 90 | 48 | 17 | 12  | 1001   | 804             | 197             |
| Warszawa        | 18  | 29 | 67  | 99  | 136 | 168 | 157 | 129  | 87 | 48 | 16 | 12  | 966    | 776             | 190             |
| Brwinów         | 21  | 34 | 71  | 105 | 140 | 163 | 162 | 132  | 94 | 52 | 18 | 12  | 1004   | 796             | 208             |
| Wrocław         | 23  | 38 | 73  | 110 | 146 | 163 | 158 | 133  | 96 | 53 | 23 | 18  | 1034   | 806             | 228             |
| Zakopane        | 31  | 45 | 84  | 116 | 130 | 142 | 150 | 120  | 95 | 66 | 31 | 22  | 1032   | 753             | 279             |
| Kasprowy Wierch | 40  | 56 | 103 | 133 | 138 | 133 | 137 | 112  | 97 | 74 | 36 | 31  | 1090   | 750             | 340             |

Tabela 3

Okresowe napromienienie w Polsce w latach 1958—1967 (mierzone na powierzchni poziomej) — opracowanie własne na podstawie [1]

| Miejscowość     | Napromienienie w $\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$ |    |     |     |     |     |     |      |     |    |    |     | Roczne | W okresie IV-IX | W okresie X-III |
|-----------------|---|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|----|----|-----|--------|-----------------|-----------------|
|                 | Miesięczne  |    |     |     |     |     |     |      |     |    |    |     |        |                 |                 |
|                 | I   | II | III | IV  | V   | VI  | VII | VIII | IX  | X  | XI | XII |        |                 |                 |
| Gdynia          | 16  | 29 | 73  | 112 | 153 | 185 | 161 | 130  | 90  | 51 | 19 | 13  | 1032   | 831             | 201             |
| Kołobrzeg       | 17  | 31 | 72  | 109 | 149 | 178 | 154 | 120  | 87  | 50 | 19 | 14  | 1000   | 797             | 203             |
| Suwałki         | 15  | 28 | 69  | 106 | 141 | 170 | 156 | 125  | 88  | 46 | 15 | 12  | 971    | 786             | 185             |
| Warszawa        | 20  | 31 | 72  | 109 | 141 | 165 | 160 | 128  | 90  | 52 | 17 | 12  | 997    | 793             | 204             |
| Brwinów         | 19  | 31 | 68  | 106 | 136 | 165 | 155 | 126  | 89  | 52 | 17 | 13  | 977    | 777             | 200             |
| Puławy          | 21  | 31 | 70  | 111 | 141 | 163 | 156 | 128  | 94  | 53 | 19 | 14  | 1001   | 793             | 208             |
| Rabka           | 27  | 43 | 75  | 112 | 137 | 153 | 158 | 127  | 96  | 65 | 29 | 21  | 1043   | 783             | 260             |
| Zakopane        | 30  | 47 | 82  | 113 | 130 | 146 | 146 | 123  | 98  | 67 | 29 | 23  | 1034   | 762             | 272             |
| Kasprowy Wierch | 40  | 53 | 92  | 135 | 138 | 142 | 142 | 120  | 102 | 75 | 35 | 31  | 1110   | 779             | 331             |



Rys. 1. Rozkład rocznego napromienienia w Polsce w  $\text{kW}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$  — wg [4]

W tabeli 4 i 5 podano zmienność średniego usłonecznienia dla kilku miejscowości w Polsce. Z danych tych wynika, że liczba godzin słonecznych w okresie ciepłym stanowi ok. 71—76% usłonecznienia rocznego. W górach i na obszarach podgórskich jest ono w okresie ciepłym mniejsze i stanowi od 58% do 67% rocznego usłonecznienia.

W tabeli 6 przedstawiono natomiast średnie dobowe temperatury powietrza dla kilku miejscowości w Polsce. Prawie na całym obszarze kraju, z wyjątkiem terenów górskich, przy średnich rocznych temperaturach  $7,5$ — $8,2^{\circ}\text{C}$ , średnia temperatura okresu ciepłego wynosi  $13,5$ — $14,5^{\circ}\text{C}$ .

Z analizy trzech powyższych parametrów — napromienienia, usłonecznienia i średniej temperatury powietrza — wynika, że w Polsce należałoby skutecznie wykorzystywać energię słoneczną głównie w ciepłej połowie roku, czyli od kwietnia do września, gdyż na ten okres przypada ok. 80% rocznego napromienienia i ok. 75% rocznego usłonecznienia.

Analizując jednak rozkład napromienienia należy również brać pod uwagę udział promieniowania bezpośredniego w całkowitym. W okresie ciepłym promieniowanie bezpośrednie stanowi średnio od 46% do 54% promieniowania całkowitego [2]. Dowodzi to, że w warunkach polskich najbardziej uzasadnione byłoby wykorzystanie kolektorów zwykłych, absorbujących zarówno promieniowanie bezpośrednie jak i rozproszone. Natomiast kolektory koncentrujące mogłyby być wykorzystywane jedy-

## Uśłonecznienie dla trzech wybranych

| Miejscowość | Uśłonecznienie w h |      |       |       |       |       |       |
|-------------|--------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
|             | miesięczne         |      |       |       |       |       |       |
|             | I                  | II   | III   | IV    | V     | VI    | VII   |
| Gdynia      | 33,3               | 55,1 | 121,8 | 150,0 | 212,3 | 266,3 | 238,1 |
| Warszawa    | 43,1               | 60,1 | 123,2 | 148,5 | 201,9 | 245,8 | 238,9 |
| Zakopane    | 70,6               | 82,9 | 124,9 | 137,1 | 168,0 | 166,9 | 174,9 |

nie przy idealnych warunkach pogodowych i dużym udziale promieniowania bezpośredniego.

Ostatecznie można więc stwierdzić, że w Polsce w okresie ciepłych sześciu miesięcy na  $1 \text{ m}^2$  powierzchni kolektora pada ok. 900—1000  $\text{kW}\cdot\text{h}$  energii słonecznej. Zadaniem słonecznych instalacji będzie wykorzystanie tej energii w procesach technologicznych z maksymalną sprawnością.

#### *Możliwości wykorzystania energii słonecznej w polskim rolnictwie*

Najłatwiejszym i najprostszym sposobem wykorzystania energii słonecznej w rolnictwie jest niskotemperaturowe suszenie płodów rolnych. Proste i tanie powietrzne kolektory słoneczne umożliwiają podniesienie temperatury suszącego powietrza o 5—8 K i obniżenie jego wilgotności o 5—10%. Odpowiada to parametrom powietrza podgrzewanego konwencjonalnie (w podgrzewaczach paliwowych lub elektrycznych). Badania wykazują, że czas suszenia ulega przy tym skróceniu o połowę, co odpowiada zmniejszeniu zapotrzebowania na energię elektryczną do zasilania wentylatorów z  $8,5 \text{ kW}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$  do  $4,5 \text{ kW}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$  przy obniżeniu wilgotności zielonki o 1% \*).

Dodatkowo, dzięki skróceniu czasu suszenia, zmniejszą się straty białka i karotenów w paszy, zaś białko i włókno ma lepszą strawność. Całkowite straty suchej masy są także niższe o kilka procent [6]. Należałoby zatem dążyć do wykorzystania prostych kolektorów słonecznych tam, gdzie obecnie stosuje się technologię dosuszania zielonki zimnym powietrzem.

Energię słoneczną można również wykorzystać do podgrzewania wody użytkowej. W tym celu stosuje się złożone systemy zwykłych lub kon-

\*) Patrz część I — dane wg D. W. Morrisona [16].

Tabela 4

miejsowości w Polsce w latach 1964—1975 — wg [2]

| VIII  | IX    | X     | XI   | XII  | Roczne | IV-IX  | X-III |
|-------|-------|-------|------|------|--------|--------|-------|
| 233,0 | 153,8 | 95,1  | 47,9 | 32,7 | 1639,4 | 1253,5 | 385,9 |
| 236,7 | 162,2 | 101,6 | 44,9 | 32,3 | 1639,3 | 1234,0 | 405,3 |
| 165,4 | 151,6 | 124,6 | 74,4 | 55,6 | 1496,8 | 963,9  | 532,9 |

centrujących kolektorów słonecznych, które w układach grzewczych przejmują rolę tradycyjnych podgrzewaczy wody. Szczegółowa analiza opłacalności stosowania kolektorów do podgrzewania wody została przedstawiona w dalszej części.

Trzecim przykładem użytkowania energii słonecznej może być ogrzewanie budynków, tuneli foliowych i szklarni. Jest to szczególnie korzystne w połączeniu ze zbiornikami energii cieplnej (wodnymi, kamiennymi i in.) oraz pompami cieplnymi, umożliwiającymi regulowanie ilości energii potrzebnej w danej chwili do ogrzewania. Obecnie, nadmiar energii słonecznej w pewnych okresach roku stanowi poważny problem w produkcji szklarniowej. Możliwość odbioru nadmiaru energii i przekazania go do urządzeń suszarniczych, fermentacyjnych lub innych, stanowiłaby istotny postęp w technologii upraw szklarniowych.

Czwartym, wreszcie, procesem wykorzystującym energię słoneczną może być chłodzenie mleka i nietrwałych produktów rolniczych. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu absorpcyjnego obiegu chłodniczego zasilanego energią z kolektorów słonecznych. Istotny jest przy tym fakt wzrostu zapotrzebowania na chłodzenie wraz ze wzrostem intensywności promieniowania słonecznego. Badania podejmowane w wielu krajach wykazują, że obniżenie temperatury w komorze chłodniczej do 4—6°C nie wymaga stosowania kolektorów koncentrujących, a jedynie wysoko-sprawnych zwykłych kolektorów, które pochłaniają głównie promieniowanie rozproszone.

„Słoneczne” chłodzenie można by stosować przede wszystkim do przechowywania produktów żywnościowych, schładzania mleka po udoju oraz do klimatyzacji pomieszczeń inwentarskich i mieszkalnych. Również w tym przypadku, połączenie systemu chłodzącego z pompą ciepłą i zbiornikiem energii cieplnej może znacznie podnieść efektywność wykorzystania energii w gospodarstwie.

Tabela 5

Usłonecznienie dla kilku wybranych miejscowości w Polsce w latach 1951—1965  
— opracowanie własne na podstawie [1],

| Miejscowość     | Usłonecznienie w h |      |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      | IV-IX  | X-III  |        |
|-----------------|--------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|--------|--------|
|                 | miesięczne         |      |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |        |        | roczne |
|                 | I                  | II   | III   | IV    | V     | VI    | VII   | VIII  | IX    | X     | XI   | XII  |        |        |        |
| Gdynia          | 40,3               | 63,5 | 129,1 | 161,3 | 230,7 | 259,4 | 224,4 | 207,1 | 173,0 | 104,7 | 44,2 | 33,7 | 1671,5 | 1256,0 | 415,5  |
| Kołobrzeg       | 41,5               | 60,6 | 122,9 | 158,5 | 223,8 | 240,4 | 211,0 | 196,0 | 171,0 | 100,1 | 41,1 | 30,8 | 1597,5 | 1200,5 | 397,0  |
| Suwałki         | 32,5               | 55,8 | 140,9 | 164,9 | 215,4 | 251,3 | 232,6 | 203,5 | 160,9 | 88,5  | 31,0 | 25,0 | 1602,3 | 1228,6 | 373,7  |
| Warszawa        | 33,5               | 55,0 | 123,7 | 146,6 | 189,1 | 211,9 | 216,2 | 199,9 | 170,6 | 109,2 | 36,1 | 19,9 | 1512,3 | 1134,9 | 377,4  |
| Brwinów         | 43,6               | 60,9 | 131,5 | 162,0 | 194,5 | 236,4 | 226,8 | 199,3 | 168,5 | 113,8 | 38,9 | 29,4 | 1605,5 | 1187,4 | 418,1  |
| Puławy          | 43,0               | 57,1 | 114,9 | 151,2 | 182,7 | 212,3 | 214,6 | 193,0 | 158,5 | 112,7 | 37,8 | 31,5 | 1509,7 | 1112,7 | 397,0  |
| Wrocław         | 50,0               | 67,9 | 117,4 | 145,1 | 186,5 | 212,7 | 200,4 | 189,2 | 160,4 | 112,2 | 48,1 | 41,3 | 1531,2 | 1094,3 | 436,9  |
| Rabka           | 68,1               | 83,4 | 117,6 | 154,1 | 171,4 | 187,8 | 209,9 | 199,1 | 162,1 | 142,5 | 75,3 | 56,8 | 1628,2 | 1084,5 | 543,7  |
| Zakopane        | 69,4               | 92,8 | 124,3 | 147,0 | 145,2 | 154,9 | 180,8 | 181,5 | 159,1 | 144,3 | 69,5 | 54,0 | 1522,8 | 968,5  | 554,3  |
| Kasprowy Wierch | 87,2               | 96,8 | 130,3 | 137,9 | 122,8 | 127,2 | 148,5 | 155,6 | 145,8 | 150,0 | 78,9 | 72,2 | 1453,3 | 837,9  | 615,4  |



Tabela 6

Srednie dobowe temperatury powietrza w latach 1951—1970 — opracowanie własne  
na podstawie [1]

| Miejscowość     | Srednia temperatura powietrza w °C |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      | roczna | IV-IX | X-III |
|-----------------|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|--------|-------|-------|
|                 | miesięczna                         |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |        |       |       |
|                 | I                                  | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X   | XI   | XII  |        |       |       |
| Gdańsk          | -1,8                               | -1,8 | 1,2  | 6,2  | 10,8 | 15,7 | 17,5 | 17,0 | 13,7 | 9,3 | 4,1  | 0,2  | 7,7    | 13,5  | 1,7   |
| Kołobrzeg       | -1,1                               | -1,3 | 1,5  | 5,6  | 9,9  | 14,4 | 16,5 | 16,1 | 13,6 | 9,3 | 4,4  | 0,7  | 7,5    | 12,7  | 2,3   |
| Poznań          | -2,5                               | -2,0 | 1,6  | 7,7  | 12,7 | 17,2 | 18,2 | 17,3 | 13,6 | 8,9 | 3,7  | -0,5 | 8,0    | 14,5  | 1,5   |
| Warszawa        | -3,6                               | -3,2 | 0,7  | 7,7  | 12,9 | 17,3 | 18,4 | 17,5 | 13,4 | 8,5 | 3,3  | -1,1 | 7,6    | 14,5  | 0,8   |
| Zielona Góra    | -2,1                               | -1,5 | 2,2  | 7,9  | 12,6 | 16,9 | 18,0 | 17,2 | 13,9 | 9,4 | 3,8  | -0,3 | 8,2    | 14,4  | 1,9   |
| Wrocław         | -2,2                               | -1,6 | 2,2  | 8,2  | 12,7 | 17,0 | 18,1 | 17,2 | 13,7 | 9,0 | 4,2  | -0,1 | 8,2    | 14,5  | 1,9   |
| Lublin          | -4,0                               | -3,4 | 1,4  | 7,8  | 13,1 | 17,3 | 18,3 | 17,2 | 13,0 | 8,3 | 3,5  | -1,3 | 7,6    | 14,5  | 1,3   |
| Kraków          | -3,6                               | -2,5 | 1,4  | 8,0  | 12,7 | 16,7 | 17,9 | 17,1 | 13,3 | 8,5 | 3,7  | -1,1 | 7,7    | 14,3  | 1,1   |
| Zakopane        | -5,5                               | -4,5 | -1,2 | 4,7  | 9,3  | 13,2 | 14,5 | 13,8 | 10,4 | 6,1 | 1,5  | -3,1 | 4,9    | 11,0  | -1,1  |
| Kasprowy Wierch | -9,0                               | -9,1 | -6,9 | -2,5 | 1,7  | 5,8  | 7,3  | 7,1  | 4,4  | 1,5 | -3,0 | -6,9 | -0,8   | 4,0   | -5,6  |

## Ocena opłacalności wykorzystania kolektorów słonecznych do ogrzewania wody użytkowej z punktu widzenia użytkownika

Obecnie, do podgrzewania wody w gospodarstwach rolnych używa się najczęściej pieca węglowego, bojlera lub elektrycznego wurnika.

W analizie oszacowano graniczny koszt słonecznej instalacji kolektorowej opłacalnej dla użytkownika w porównaniu z kosztami inwestycyjnymi i eksploatacyjnymi wymienionych trzech urządzeń grzewczych. Posłużono się w tym celu metodą opisaną przez K. Majkę [3], której podstawą jest cytowany za Manteufflem wskaźnik efektywności modernizacyjnej.

Zakładając, że dodatkowe koszty poniesione na nową inwestycję powinny się zwrócić w okresie amortyzacji oraz uwzględniając oprocentowanie nakładów, mamy:

$$\frac{I_2 (1 + qn) - I_1 (1 + qn)}{dK_1 - K_2} = n \quad (1)$$

gdzie:

- $I_2$  [zł] — nakłady na nową inwestycję,
- $I_1$  [zł] — nakłady na inwestycję porównawczą,
- $K_1$  [zł·a<sup>-1</sup>] — roczne koszty eksploatacji inwestycji  $I_1$ ,
- $K_2$  [zł·a<sup>-1</sup>] — roczne koszty eksploatacji inwestycji  $I_2$ ,
- $q$  [—] — stopa oprocentowania nakładów inwestycyjnych,
- $n$  [a] — okres amortyzacji,
- $d$  [—] — współczynnik korekcyjny, uwzględniający zmiany jakości produktu w wyniku wprowadzenia rozpatrywanej inwestycji.

Do obliczenia kosztów eksploatacji wykorzystano zależność [3]:

$$K = K_n + K_p + K_e + K_r \quad (2)$$

gdzie:

- $K_n$  — roczne koszty napraw, obsługi technicznej, konserwacji i przechowywania wraz z kosztami materiałów i części zamiennych,
- $K_p$  — roczny koszt paliw stałych, ciekłych i gazowych,
- $K_e$  — roczny koszt energii elektrycznej,
- $K_r$  — roczny koszt robocizny.

Poszczególne wyrażenia tego równania są opisane następującymi wzorami [3]:

— roczny koszt napraw

$$K_n = W_n \frac{I}{n} [\text{zł} \cdot \text{a}^{-1}] \quad (3)$$

gdzie:

- $W_n$  [—] — wskaźnik napraw,  
 $I$  [zł] — nakłady na inwestycję (odpowiednio  $I_1$  lub  $I_2$ ),  
 — roczny koszt paliw

$$K_p = Q a_p c_p \text{ [zł} \cdot \text{a}^{-1}] \quad (4)$$

gdzie:

- $Q$  [j. prod.  $\cdot$  a $^{-1}$ ] — roczna produkcja,  
 $a_p$  [kg  $\cdot$  (j. prod.) $^{-1}$ ] — jednostkowe zużycie paliwa,  
 $c_p$  [zł  $\cdot$  kg $^{-1}$ ] — cena paliwa,

— roczny koszt energii elektrycznej

$$K_e = TP b_e k_e \text{ [zł} \cdot \text{a}^{-1}] \quad (5)$$

gdzie:

- $T$  [h  $\cdot$  a $^{-1}$ ] — roczna liczba godzin pracy urządzenia,  
 $P$  [kW] — znamionowa moc pobierana przez urządzenie z sieci,  
 $b_e$  [—] — współczynnik korekcyjny, uwzględniający stosunek mocy pobieranej przez urządzenie z sieci w czasie pracy, do znamionowej mocy urządzenia,

- $k_e$  [zł  $\cdot$  (kW  $\cdot$  h) $^{-1}$ ] — cena sprzedaży użytkownikowi 1 kW  $\cdot$  h energii elektrycznej,

— roczny koszt robocizny

$$K_r = Q a_r k_r \text{ [zł} \cdot \text{a}^{-1}] \quad (6)$$

gdzie:

- $a_r$  [rbg  $\cdot$  (j. prod.) $^{-1}$ ] — jednostkowe zapotrzebowanie pracy,  
 $k_r$  [zł  $\cdot$  rbg $^{-1}$ ] — koszt jednej godziny pracy personelu obsługującego urządzenie.

W tabeli 7 zestawiono dane do obliczeń. Założono, że analiza będzie dotyczyć średniej polskiej wiejskiej rodziny liczącej 4,85 osób [5], przy zużyciu ok. 70 litrów gorącej wody (+95°C na osobę dziennie. Ponieważ jednak kolektory nie mogą pracować przez cały rok, a tym samym zaspokoić pełnego zapotrzebowania na gorącą wodę użytkową, przyjęto do obliczeń dwie wydajności kolektorów: 65% i 25% rocznego zapotrzebowania.

Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 8.

Tabela 7

*Założenia do oceny opłacalności wykorzystania kolektorów słonecznych  
do podgrzewania wody użytkowej*

| Wielkość                              | Symbol         | Jed-<br>nostka          | Urządzenie grzewcze |        |        |                                    |
|---------------------------------------|----------------|-------------------------|---------------------|--------|--------|------------------------------------|
|                                       |                |                         | piec                | bojler | warnik | kolektor                           |
| Roczna ilość gorącej wody             | Q              | l·a <sup>-1</sup>       | 125000              | 125000 | 125000 | I-81250;<br>II-32200 <sup>4)</sup> |
| Współczynnik jakości produktu         | d              | —                       | —                   | —      | —      | I-0,65;<br>II-0,25 <sup>4)</sup>   |
| Roczna liczba godzin pracy            | T              | h·a <sup>-1</sup>       | —                   | 7000   | 3000   | 3000                               |
| Moc odbiorników elektrycznych         | P              | kW                      | —                   | 1,5    | 4,2    | 0,05                               |
| Koszty inwestycyjne z zainstalowaniem | I              | zł                      | —                   | 3600   | 6000   | x                                  |
| Stopa oprocentowania inwestycji       | q              | —                       | 0,03                | 0,03   | 0,03   | 0,03                               |
| Okres amortyzacji                     | n              | a                       | 20                  | 10     | 10     | 10; 15; 20 <sup>5)</sup>           |
| Wskaźnik napraw                       | W <sub>n</sub> | —                       | —                   | 0,3    | 0,3    | 0,8                                |
| Współczynnik korekcyjny mocy          | b <sub>e</sub> | —                       | —                   | 1,0    | 1,0    | —                                  |
| Cena 1 kW·h energii elektrycznej      | k <sub>e</sub> | zł·(kW·h) <sup>-1</sup> | —                   | 1,0    | 0,3    | 1,0                                |
| Zapotrzebowanie pracy (na 250 l)      | a <sub>r</sub> | rbg                     | 0,7                 | —      | 0,1    | —                                  |
| Koszt 1 rbg pracy rolnika             | k <sub>r</sub> | zł·rbg <sup>-1</sup>    | 30                  | —      | 30     | —                                  |
| Zapotrzebowanie węgla (na 250 l)      | a <sub>p</sub> | kg                      | 19,5 <sup>6)</sup>  | —      | —      | —                                  |
| Cena węgla z transportem              | c <sub>p</sub> | zł·kg <sup>-1</sup>     | 0,7                 | —      | —      | —                                  |

<sup>4)</sup> dla dwóch różnych wydajności kolektorów

<sup>5)</sup> dla trzech różnych okresów amortyzacji

<sup>6)</sup> dla węgla kamiennego o wartości opałowej 25 MJ·kg<sup>-1</sup>, przy sprawności pieca wynoszącej 0,175

Tabela 8

Zestawienie obliczeń granicznego kosztu inwestycyjnego dla dwóch różnych instalacji (wg cen 1980 roku)

| Kolektor | Okres amortyzacji w latach | Graniczny koszt inwestycji w zł obliczony względem: |         |         |
|----------|----------------------------|---|---------|---------|
|          |                            | pieca węglowego                                     | bojlera | warnika |
| I        | 10                         | 52 567  | 34 228  | 19 780  |
|          | 15                         | 73 593  | 47 920  | 27 693  |
|          | 20                         | 91 992  | 59 900  | 34 617  |
| II       | 10                         | 20 392  | 14 395  | 9 506   |
|          | 15                         | 28 553  | 20 153  | 13 307  |
|          | 20                         | 35 692  | 25 192  | 16 633  |

Ocena opłacalności stosowania kolektorów słonecznych do podgrzewania wody użytkowej z punktu widzenia energetycznego kryterium opłacalności

Analizując opłacalność stosowania urządzeń kolektorowych w oparciu o kryterium energetyczne [3], porównywano zapotrzebowania paliwa umownego lub energii pierwotnej na jednostkę produkcji.

Zapotrzebowanie paliwa umownego obliczono z zależności:

$$B = \frac{Q_0}{29,3076\eta_1\eta_2} [\text{kg p.u.} \cdot (\text{j. prod.})^{-1}] \quad (7)$$

gdzie:

- $Q_0$  [MJ · (j. prod.)<sup>-1</sup>] — zapotrzebowanie netto energii cieplnej na jednostkę produkcji,  
 $\eta_1$  [—] — sprawność wydobycia, przesyłania i przemian nośnika energii,  
 $\eta_2$  [—] — sprawność cieplna odbiornika,  
 29,3076 MJ · (kg p.u.)<sup>-1</sup> — przelicznik w układzie SI (dawniej 1 kg p.u. = 7000 kcal).

Zapotrzebowanie energii pierwotnej można natomiast obliczyć z równania:

$$Q_p = \frac{Q_0}{\eta_1 \eta_2} [\text{J} \cdot (\text{j. prod.})^{-1}] \quad (8)$$

W tej części analizy założono, że energia słoneczna pochłonięta przez kolektory jest „bezpłatna” i w związku z tym nie uwzględniono spraw-

Tabela 9

Zapotrzebowanie paliwa umownego i energii pierwotnej oraz jednostkowe koszty podgrzewania wody użytkowej

| Nazwa urządzenia | Zapotrzebowanie jednostkowe |                    | Zapotrzebowanie roczne    |                    | Roczny koszt użytkowania | Koszt ogrzania 1 litra wody do +95°C | Jednostkowy koszt energii cieplnej netto |                         |
|------------------|-----------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------------------|--|-------------------------|
|                  | paliwa umownego             | energii pierwotnej | paliwa umownego           | energii pierwotnej |                          |                                      | zł·l <sup>-1</sup>                       | zł·MJ <sup>-1</sup>     |
|                  | (kg p.u.)·l <sup>-1</sup>   | kJ·l <sup>-1</sup> | (kg p.u.)·l <sup>-1</sup> | GJ·a <sup>-1</sup> | zł·a <sup>-1</sup>       | zł·l <sup>-1</sup>                   | zł·MJ <sup>-1</sup>                      | zł·(kW·h) <sup>-1</sup> |
| Piec węglowy     | 0,0814                      | 2368,6             | 10 175,0                  | 298,325            | 17 325                   | 0,139                                | 0,39                                     | 1,41                    |
| Bojler           | 0,0521                      | 1525,9             | 6 512,5                   | 190,738            | 11 148                   | 0,089                                | 0,26                                     | 0,94                    |
| Warnik           | 0,0570                      | 1670,6             | 7 125,0                   | 208,825            | 6 312                    | 0,050                                | 0,14                                     | 0,51                    |
| Kolektor I       | 0,0002                      | 5,8                | 16,25                     | 0,476              | 4 376 <sup>7)</sup>      | 0,054                                | 0,16                                     | 0,57                    |
| Kolektor II      | 0,0006                      | 17,6               | 19,32                     | 0,566              | 2 191 <sup>7)</sup>      | 0,068                                | 0,19                                     | 0,71                    |

<sup>7)</sup> dla 10-letniego okresu amortyzacji, w porównaniu z warnikiem

ności pozyskania energii słonecznej w kolektorze. Obliczono także dwa wskaźniki oddające rzeczywiste koszty jednostkowe, a mianowicie:

- koszt podgrzania 1 litra wody do temperatury  $+95^{\circ}\text{C}$ ,
- koszt jednostki energii cieplnej netto (zużywanej bezpośrednio do podgrzania wody).

Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 9.

### Podsumowanie

Analiza warunków klimatycznych w Polsce w pełni uzasadnia celowość wykorzystania energii słonecznej w rolnictwie. Roczne napromienienie w granicach od 966 do 1110  $\text{kW}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$  oraz usłonecznienie od 1453,3 do 1671,5  $\text{h}\cdot\text{a}^{-1}$  nie różnią się znacznie od wartości obserwowanych w krajach europejskich, w których prace nad wykorzystaniem energii słonecznej są znacznie zaawansowane. Z uwagi na to, że w ciepłej połowie roku napromienienie i usłonecznienie stanowi ok. 75—80% całej sumy rocznej, należy się liczyć z wykorzystywaniem energii słonecznej głównie w tej części roku.

Analiza zasadności wykorzystania kolektorów słonecznych do ogrzewania wody użytkowej w gospodarstwach rolnych wykazuje pełną opłacalność ich wdrożenia.

Graniczne koszty inwestycji, opłacalnej dla użytkownika, są różne w zależności od porównywanego urządzenia wykorzystywanego dotychczas w gospodarstwie do podgrzewania wody. Z tego punktu widzenia najbardziej uzasadnione jest stosowanie kolektorów w porównaniu z ogrzewaniem wody na płycie węglowej (koszt instalacji kolektorowej mógłby wynosić 91 992 zł), najmniej zaś w odniesieniu do wurnika elektrycznego (odpowiednio 34 617 zł).

Koszt podgrzania 1 litra wody do temperatury  $+95^{\circ}\text{C}$  przy pomocy kolektorów (wynoszący 0,054 lub 0,068 zł) jest porównywalny z analogicznym kosztem dla wurnika i 1,5—2,3 raza mniejszy od kosztów podgrzania 1 litra wody w bojlerze lub na płycie kuchennej.

Ogrzewanie wody przy użyciu kolektorów słonecznych pozwala zaoszczędzić w jednym wiejskim gospodarstwie domowym, o średniej liczbie osób 4,85, ok. 10 ton paliwa umownego rocznie (loco wydobycie) w porównaniu z podgrzewaniem wody na płycie kuchennej. W porównaniu z elektrycznym wurnikiem lub bojlerem oszczędności wyniosłyby 12,6  $\text{MW}\cdot\text{h}$  energii elektrycznej (loco użytkownik) lub ok. 7 ton paliwa umownego (loco wydobycie) rocznie. Dodatkowo można zaoszczędzić ok. 350 godzin pracy rolnika rocznie w odniesieniu do kuchni węglowej lub ok. 50 godzin pracy rocznie w porównaniu z wurnikiem elektrycznym.

Wskaźniki ekonomiczne (oraz inne względy nie dające się wyrazić w złotych) świadczą o pilnej potrzebie stosowania w Polsce kolektorów słonecznych do ogrzewania wody użytkowej, co w znacznym stopniu złagodziłoby deficyt energii w polskim rolnictwie. Jednak z uwagi na przewidywany bardzo wysoki koszt instalacji słonecznych nie jest wykluczone, że rolnicy nie będą skłonni do takiej inwestycji. Nie ma bowiem w Polsce żadnych rolniczych obiektów wzorcowych z instalacjami słonecznymi. Dlatego też, dążąc do racjonalnie uzasadnionych oszczędności paliw stałych i energii elektrycznej, należałoby rozważyć, czy takie instalacje budowane na wsi powinny być dotowane przez państwo lub finansowane dogodnymi kredytami.

#### LITERATURA

1. Chomicz K.: Materiały do poznania agroklimatu Polski. PWN, Warszawa 1977.
2. Kotarska K., Kotarski Z.: Wykorzystanie energii słonecznej w gospodarce wiejskiej. PWRiL, Warszawa 1981.
3. Majka K.: Badania nad optymalizacją wykorzystania energii elektrycznej w indywidualnych gospodarstwach rolnych. Maszynopis. Instytut Mechanizacji Rolnictwa SGGW, Warszawa 1970.
4. Narodowy atlas Polski. PWN, Warszawa 1975.
5. Rocznik Statystyczny 1979. GUS, Warszawa 1979.
6. Roszkowski A.: Mechanizacja zbioru i konserwacji pasz zielonych. PWRiL, Warszawa 1979.
7. Saby P. R.: The Solar House. Butterworths, London 1978.