

## WPŁYW WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH NA POZYSKIWANIE ENERGII CIEPLNEJ PRZEZ INSTALACJĘ SŁONECZNĄ

Jarosław Dąbrowski, Edward Hutnik

*Katedra Budownictwa i Infrastruktury, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu*

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wpływ warunków meteorologicznych na efektywność pozyskiwania energii cieplnej przez instalacje słoneczne. Analizę wyników badań zaprezentowano na podstawie dwuletnich badań przeprowadzonych na specjalnie przygotowanym stanowisku badawczym oraz danych meteorologicznych uzyskanych z Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologii Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu – Swojcu.

**Słowa kluczowe:** energia słoneczna, instalacja słoneczna, warunki meteorologiczne

### Wprowadzenie

Wraz ze wzrostem temperatury powietrza otoczenia, ilości godzin usłonecznienia i wielkości promieniowania całkowitego sprawność instalacji słonecznej będzie rosła. Dlatego decydujący wpływ na efektywność pozyskiwanej energii cieplnej przez instalację słoneczną mają warunki meteorologiczne, które panują w miejscu montażu kolektorów słonecznych. Prowadzone badania poparte zostały szerokim przeglądem literatury problemowej. Przedstawione dotychczas prace na ten temat są fragmentaryczne, krótkoterminowe i obejmują inne obszary zagadnień oraz inne urządzenia badane w innych warunkach terenowych. Dotychczas nie było polskich publikacji poświęconych całościowemu rocznemu badaniu przebiegu pracy typowej instalacji słonecznej działającej w warunkach zbliżonych do rzeczywistych (dom jednorodzinny wolnostojący).

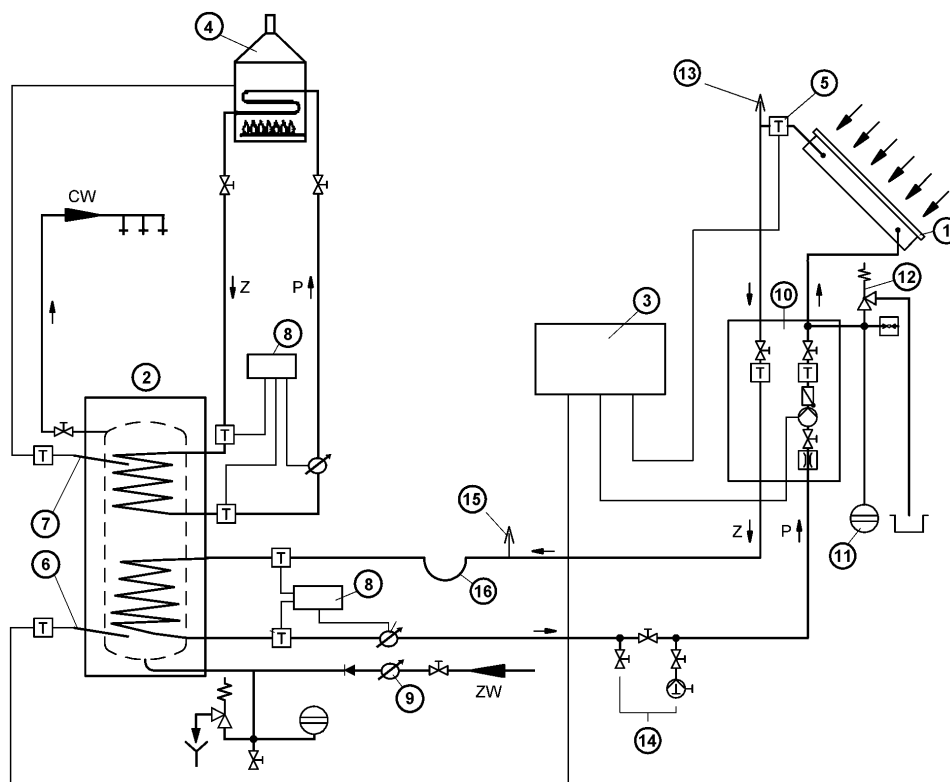
### Cel badań

Celem badań było przedstawienie (analiza) ilości pozyskanej energii w aspekcie zaspokojenia potrzeb cieplnych budynku w lokalnych warunkach meteorologicznych, w okolicach Wrocławia.

### Stanowisko badawcze

Stanowisko badawcze (schemat na rys. 1) zbudowane zostało w oparciu o systemowe rozwiązanie – typowa instalacja słoneczna dla budynku jednorodzinnego. Urządzeniami, które odbierają energię słoneczną, są dwa cieczowe płytowe kolektory słoneczne o całko-

witej powierzchni absorbera 5 m<sup>2</sup>. W dwusystemowym podgrzewaczu wody użytkowej magazynowana jest energia cieplna pozyskana z kolektorów słonecznych. Podczas występowania niedoborów energii cieplnej, potrzebnej do zapewnienia odpowiedniej temperatury wodzie, włącza się kocioł jednofunkcyjny uzupełniający ten niedobór.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: 1 – kolektory, 2 – dwusystemowy podgrzewacz ciepłej wody użytkowej, 3 – moduł sterujący, 4 – kocioł, 5 – czujnik temperatury czynnika w kolektorze, 6 – czujnik temperatury w dolnej części podgrzewacza, 7 – czujnik temperatury w górnej części podgrzewacza, 8 – ciepłomierz, 9 – wodomierz, 10 – zespół pompy, 11 – naczynie wzbiorcze, 12 – zawór bezpieczeństwa, 13 – odpowietrznik, 14 – armatura do napełniania instalacji, 15 – separator powietrza, 16 – pętla termoizolacyjna

Fig. 1. Research station diagram: 1 – collectors, 2 – system domestic hot water heater, 3 – control module, 4 – boiler, 5 – medium temperature sensor in a collector, 6 – temperature sensor in a bottom part of the heater, 7 – temperature sensor in a top part of the heater, 8 – heat meter, 9 – water meter, 10 – pump set, 11 – rising vessel, 12 – safety valve, 13 – vent, 14 – fittings for filling of the installation, 15 – air separator, 16 – thermoinsulation loop

Obydwa kolektory cieczowe płytowe zainstalowano na południowej połaci dachu budynku, nachylonej pod kątem  $42^\circ$  do powierzchni terenu. Budynek obrócony jest w kierunku wschodnim o  $11,5^\circ$  względem południa. Na podstawie literatury problemowej [Kaiser 1995] jest to optymalne położenie kolektorów dla pozyskiwania energii w cyklu dwunastomiesięcznym. W skład aparatury pomiarowej wchodzi trzy główne przyrządy pomiarowe: dwa ciepłomierze i wodomierz.

## Metodyka badań

Badania prowadzone były na stanowisku badawczym i w Obserwatorium przez okres dwóch lat (2002 i 2003). Odczyty z ciepłomierzy i wodomierza dokonywano każdego dnia o godzinie  $22^{00}$ , po zakończeniu dobowego rozbioru wody. Dopływ energii cieplnej z kotła mógł nastąpić tylko w ustalonych przedziałach czasowych zaprogramowanych w module sterującym pracą kotła (poniedziałek – piątek od  $7^{00}$  do  $22^{00}$ , sobota – niedziela od  $9^{00}$  do  $22^{00}$ ). Okres dostarczania ciepłej wody dla mieszkańców domu został zaprogramowany w taki sposób, aby w momencie porannego poboru wody jak i przez cały dzień, c.w.u. była dostępna o żądanych parametrach użytkowych. W okresie braku zapotrzebowania na c.w.u., czyli: późny wieczór, noc i wcześniej rano, nie następowało dogrzewanie wody w podgrzewaczu przez kocioł. Średnio w ciągu doby rozbiór ciepłej wody użytkowej wynosił 192,43 l. Natomiast dopływ energii cieplnej z kolektorów słonecznych następował w momencie, kiedy pomiędzy czujnikiem temperatury czynnika w kolektorze i dolnym czujnikiem temperatury w podgrzewaczu zmierzona została różnica temperatur, która jest wyższa niż wartość ustawiona w elektronicznym module sterującym (tab. 1).

Tabela 1. Temperatury różnicowe włączenia i wyłączenia pompy obiegowej układu kolektory – podgrzewacz

Table 1. Differential temperatures of switching on/off of a circulating pump in the collectors – heater system

Okres	$\Delta t$ włączenia pompy obiegowej	$\Delta t$ wyłączenia pompy obiegowej
Maj – sierpień	$16^\circ\text{C}$	$12^\circ\text{C}$
Wrzesień – kwiecień	$12^\circ\text{C}$	$9,6^\circ\text{C}$

*Źródło: dane własne autora*

Minimalną temperaturę dostarczanej ciepłej wody ustawiono na  $41^\circ\text{C}$ . Temperaturę w dolnej części podgrzewacza c.w.u. ograniczono do  $50^\circ\text{C}$ . W momencie osiągnięcia  $50^\circ\text{C}$  czujnik w dolnej części podgrzewacza przekazywał sygnał do elektronicznego modułu sterującego, który przerywał dopływ energii cieplnej z kolektorów. Ograniczenie to zostało wprowadzone ze względu na ochronę podgrzewacza przed wytrącaniem się kamienia kotłowego, które następuje przy temperaturze powyżej  $65^\circ\text{C}$ . Od maja do sierpnia temperaturę w dolnej części podgrzewacza trzeba było ograniczać do  $40^\circ\text{C}$ , aby w jego górnej części temperatura wody nie przekroczyła  $65^\circ\text{C}$ . Natomiast wyniki promieniowania całkowitego, usłonecznienia i temperatury średniej dobowej uzyskano z Obserwatorium Wrocław – Swojec, położonego niecałe 4200 m od stanowiska badawczego w linii prostej. Na podsta-

wie wyników uzyskanych z Obserwatorium przeprowadzono analizę porównawczą wpływu: usłonecznienia, promieniowania całkowitego oraz temperatury powietrza otoczenia na pozyskiwanie energii ciepłej przez kolektory słoneczne.

## Analiza wyników badań

Przedstawienie przebiegu warunków meteorologicznych w zestawieniu z pomiarami instalacji słonecznej, pracującej na stanowisku badawczym, pozwala na ocenę zasobów energii słonecznej i wpływu tych warunków meteorologicznych na przebieg pozyskiwanej energii słonecznej przez kolektory dla poszczególnych okresów roku (tab. 2 i 3). Ilość energii ciepłej pozyskanej przez kolektory słoneczne i uzupełnionej przez kocioł odczytana została z ciepłomierzy na stanowisku badawczym. Następnie wartość tą podzielono przez powierzchnię kolektorów ( $5 \text{ m}^2$ ) i otrzymano końcową wielkość energii ciepłej na  $1 \text{ m}^2$  powierzchni kolektorów ( $E_{\text{KOL.}}$ ,  $E_{\text{KOT.}}$ ).

Tabela 2. Wyniki badań własnych uzyskane na stanowisku badawczym i dane meteorologiczne według Obserwatorium UP Wrocław – Swojec dla 2002 r.

Table 2. Results of the own research obtained in a research station and the meteorological data obtained from the UP Observatory Wrocław – Swojec for the year 2002

Miesiąc	Energia kolektory – podgrzew.	Energia kocioł – podgrzew.	$\Sigma E$	Procentowy udział $E_{\text{KOL.}}$	Temp. średnia miesięczna	Usłonecznienie	Promienowanie całkowite
	$E_{\text{KOL.}}$ [MJ·m <sup>-2</sup> pow. kol.]	$E_{\text{KOT.}}$ [MJ·m <sup>-2</sup> pow. kol.]	[MJ·m <sup>-2</sup> pow. kol.]	[%]	[°C]	[h]	[MJ·m <sup>-2</sup> ]
I	74,2	117,6	191,8	38,686	0,79	66,4	84,31
II	109,0	67,8	176,8	61,652	5,00	91,9	140,05
III	176,2	56,4	232,6	75,752	5,55	132,6	274,90
IV	202,0	24,6	226,6	89,144	8,98	153,8	394,88
V	232,8	2,0	234,8	99,148	17,40	259,6	624,73
VI	205,4	5,6	211,0	97,346	18,49	227,5	603,65
VII	200,4	7,2	207,6	96,532	20,52	221,2	592,04
VIII	212,4	5,6	218,0	97,431	20,85	239,6	521,43
IX	175,4	29,8	205,2	85,478	13,52	148,8	326,79
X	85,0	86,2	171,2	49,650	8,22	54,3	166,06
XI	61,8	107,6	169,4	36,482	5,23	37,0	84,34
XII	34,6	157,8	192,4	17,983	-2,99	16,4	55,16
$\Sigma$	1769,2	668,2	2437,4	72,586	10,16	1649,1	3868,34

Źródło: obliczenia własne autora i dane z Obserwatorium UP Wrocław – Swojec

Tabela 3. Wyniki badań własnych uzyskane na stanowisku badawczym i dane meteorologiczne według Obserwatorium UP Wrocław – Swojec dla 2003 r.

Table 3. Results of the own research obtained in a research station and the meteorological data obtained from the UP Observatory Wrocław – Swojec for the year 2003

Miesiąc	Energia kolektory – podgrzew.	Energia kocioł – podgrzew.	$\Sigma E$	Procentowy udział $E_{KOL.}$	Temp. średnia miesięczna	Usłonecznienie	Promienowanie całkowite
	$E_{KOL.}$ [MJ·m <sup>-2</sup> pow. kol.]	$E_{KOT.}$ [MJ·m <sup>-2</sup> pow. kol.]	[MJ·m <sup>-2</sup> pow. kol.]	[%]	[°C]	[h]	[MJ·m <sup>-2</sup> ]
I	42,6	159,8	202,4	21,047	-1,51	27,6	67,10
II	136,8	77,8	214,6	63,747	-3,17	96,5	164,63
III	222,0	45,4	267,4	83,022	3,68	149,3	311,82
IV	236,4	22,4	258,8	91,345	8,28	195,3	452,78
V	249,8	7,2	257,0	97,198	16,04	255,0	638,12
VI	199,6	3,0	202,6	98,519	19,67	305,9	728,54
VII	201,0	7,8	208,8	96,264	19,87	194,7	560,88
VIII	241,4	1,0	242,4	99,587	20,44	301,8	605,84
IX	214,2	16,0	230,2	93,050	14,20	188,0	379,32
X	122,4	73,0	195,4	62,641	5,96	96,6	185,42
XI	85,6	91,0	176,6	48,471	5,72	75,8	100,74
XII	60,4	129,4	189,8	31,823	1,93	65,3	63,59
$\Sigma$	2012,2	633,8	2646,0	76,047	9,36	1951,8	4258,78

Źródło: obliczenia własne autora i dane z Obserwatorium UP Wrocław – Swojec

### I kwartał

W pierwszym kwartale roku (styczeń, luty, marzec), czyli dla miesięcy zimowych kolektory słoneczne pozyskały  $(74,2+109,0+176,2)/(1769,2) \cdot 100\% = 20,31\%$  (2002 r.) i  $(42,6+136,8+222,0)/2012,2 \cdot 100\% = 19,95\%$  (2003 r.) energii cieplnej w stosunku do sumy rocznej pozyskanej przez kolektory energii. W tym okresie kolektory słoneczne przez 16 dni (2002 r.) i 30 dni (2003 r.) nie pracowały, ponieważ warunki meteorologiczne były niesprzyjające. Natomiast kocioł nie musiał uzupełniać energii cieplnej przez 14 dni (2002 r.) i 23 dni (2003 r.) gdyż wystąpiły wystarczające warunki meteorologiczne na pokrycie zapotrzebowania energetycznego do podgrzania wody przez kolektory. Pokrycie zapotrzebowania na energię cieplną przez instalację słoneczną dla tego okresu było najmniejsze w styczniu 2003 r. (21,0%), a największe w marcu 2003 r. (83,0%). W tym okresie 54 dni (2002 r.) i 48 dni (2003 r.) charakteryzowały się ilością godzin usłonecznienia przekraczającą 1 godzinę w tym 34 dni (2002 r.) i 33 dni (2003 r.) przekroczyło 4 godziny usłonecznienia. 8 godzin usłonecznienia przekroczyło 7 dni (2002 r.) i 9 dni (2003 r.). Ilość dni o całkowitym zachmurzeniu dla pierwszego kwartału roku wyniosła odpowiednio 22 (2002 r.) i 31 (2003 r.). W styczniu odbiór energii cieplnej kształtował się na niskim poziomie poniżej 39% pokrycia zapotrzebowania. Natomiast w lutym i marcu odbiór tej energii kształtował się już na poziomie ponad 61% zapotrzebowania. Styczeń charakteryzował się nie-

wielką ilością godzin usłonecznienia i najniższymi temperaturami powietrza. Niezłym już warunkom słonecznym w lutym i marcu towarzyszyły, jednak niskie zimowe temperatury powietrza oraz najwyższe w ciągu całego roku prędkości wiatru. Ponadto odbiór energii cieplnej w tych zimowych miesiącach zakłócany był także przez zalegający na kolektorach śnieg i zasronienie ich powierzchni.

## II kwartał

W kolejnych trzech miesiącach wiosennych – kwietniu, maju i czerwcu kolektory słoneczne pozyskały 36,19% (2002 r.) i 34,08% (2003 r.) energii cieplnej w stosunku do rocznej sumy energii pozyskanej przez nie. W tym okresie dla roku 2002 i 2003 tylko podczas 1 dnia (2002 r.) kolektory słoneczne nie pracowały z powodu niesprzyjających warunków meteorologicznych niezbędnych do pozyskiwania energii. Kocioł przez 71 dni (2002 r.) i także 71 dni (2003 r.) nie musiał włączać się, ponieważ wystąpiły odpowiednie warunki meteorologiczne dla 100% pokrycia zapotrzebowania energetycznego do podgrzania wody przez kolektory. Najmniejsze pokrycie zapotrzebowania na energię ciepłą przez instalację słoneczną dla tego okresu zanotowano w kwietniu 2002 r. (89,1%), a największe w maju 2002 r. (99,1%). Dla rozpatrywanego okresu drugiego kwartału roku 78 dni (2002 r.) i 83 dni (2003 r.) przekroczyły wartość progową 1 godziny usłonecznienia w tym 63 dni (2002 r.) i 68 dni (2003 r.) przekroczyło 4 godziny usłonecznienia. Natomiast granica 8 godzin usłonecznienia została przekroczona dla 41 dni (2002 r.) i 49 dni (2003 r.). Jednocześnie w drugim kwartale roku wystąpiło tylko 5 dni (2002 r.) i także 5 dni (2003 r.) o całkowitym zachmurzeniu. Począwszy od kwietnia, temperatury powietrza były już znacznie wyższe niż dla pierwszego kwartału roku. Warunki klimatyczne panujące w tym okresie sprzyjały już intensywnemu pozyskiwaniu energii słonecznej przez kolektory (pokrycie zapotrzebowania przez kolektory na energię ciepłą wyniosło dla drugiego kwartału 95,21% w 2002 r. i 95,46% w 2003 r.). Dla maja i czerwca występowały już dość znaczne nadwyżki energii słonecznej, którą mogłyby przejąć kolektory słoneczne.

## III kwartał

W okresie letnim (lipiec, sierpień i wrzesień) kolektory słoneczne pozyskały 33,25% (2002 r.) i 32,63% (2003 r.) energii cieplnej w stosunku do ilości energii przejętej przez kolektory w skali roku. W trzecim kwartale roku kolektory słoneczne przez 3 dni (2002 r.) i 1 dzień (2003 r.) nie pracowały, ponieważ warunki meteorologiczne były niesprzyjające. Kocioł nie włączał się przez 72 dni (2002 r.) i 78 dni (2003 r.), gdyż warunki meteorologiczne były sprzyjające do 100% pokrycia zapotrzebowania na energię do podgrzania wody. Pokrycie zapotrzebowania na energię ciepłą przez instalację słoneczną dla tych trzech miesięcy było najmniejsze we wrześniu 2002 r. (85,5%), a największe w sierpniu 2003 r. (99,6%). Podczas tego okresu 79 dni (2002 r.) i 84 dni (2003 r.) charakteryzowały się ilością godzin usłonecznienia przekraczającą 1 godzinę w tym 61 dni (2002 r.) i 65 dni (2003 r.) przekroczyło 4 godziny usłonecznienia oraz 40 dni (2002 r.) i 47 dni (2003 r.) przekroczyło 8 godzin usłonecznienia. 7 dni (2002 r.) i 5 dni (2003 r.) charakteryzowało się całkowitym zachmurzeniem nieba podczas którego w miesiącach letnich do Ziemi docierało tylko promieniowanie rozproszone o wartości od 50 do 150 W·m<sup>-2</sup>. W trzecim kwartale roku występowały najwyższe temperatury powietrza. Okres letni (lipiec, sierpień i wrze-

sień) podobnie jak okres wiosenny (kwiecień, maj i czerwiec) cechował się bardzo dobrymi warunkami meteorologicznymi, które sprzyjały efektywnemu pozyskiwaniu energii słonecznej przez kolektory (pokrycie zapotrzebowania przez kolektory na energię cieplną wyniosło dla trzeciego kwartału 93,25% w 2002 r. i aż 97,48% w 2003 r.).

#### **IV kwartał**

W ostatnim kwartale roku, czyli październiku, listopadzie i grudniu kolektory słoneczne pozyskały 10,25% (2002 r.) i 13,34% (2003 r.) energii cieplnej w stosunku do ilości energii przejętej przez kolektory w skali roku. W tym okresie przez 37 dni (2002 r.) i 33 dni (2003 r.) kolektory nie pracowały, ponieważ nie wystąpiły sprzyjające warunki meteorologiczne do pozyskiwania energii. Kocioł przez 3 dni (2002 r.) i 9 dni (2003 r.) nie musiał włączać się, ponieważ wystąpiły warunki meteorologiczne odpowiednie do pokrycia całego zapotrzebowania energetycznego do podgrzania wody przez kolektory. Najmniejsze pokrycie zapotrzebowania na energię cieplną przez instalację słoneczną dla czwartego kwartału roku zanotowano w grudniu 2002 r. (18,0%), a największe w październiku 2003 r. (62,6%). Dla rozpatrywanego okresu trzech miesięcy (październik, listopad i grudzień) 29 dni (2002 r.) i 54 dni (2003 r.) przekroczyło wartość progową 1 godziny usłonecznienia w tym 13 dni (2002 r.) i 26 dni (2003 r.) przekroczyło 4 godziny usłonecznienia. Próg 8 godzin usłonecznienia przekroczył tylko 1 dzień (2002 r.) i 3 dni (2003 r.). W czwartym kwartale roku wystąpiło aż 52 dni (2002 r.) i 15 dni (2003 r.) o całkowitym zachmurzeniu. W skali roku grudzień był miesiącem o najmniejszej efektywności pozyskiwania energii cieplnej. Miesiąc ten charakteryzował się niskimi temperaturami powietrza i najniższą w roku ilością godzin usłonecznienia. Październik i listopad charakteryzował się wyższymi temperaturami powietrza niż miesiące z pierwszego kwartału roku, lecz mniejszą ilością godzin usłonecznienia. Mała ilość godzin usłonecznienia dla tych dwóch miesięcy i duże prędkości wiatru niekorzystnie wpływały na pozyskiwanie energii słonecznej przez kolektory.

#### **Wnioski**

W okresie od kwietnia do września (II i III kwartał roku) we Wrocławiu i okolicy występowały bardzo korzystne warunki meteorologiczne do pozyskiwania przez kolektory słoneczne energii cieplnej (efektywność – 95,1%). Dla I kwartału roku (styczeń, luty, marzec) występowały średnie warunki meteorologiczne do pozyskiwania energii cieplnej przez instalację słoneczną (efektywność – 59,2%). Natomiast dla IV kwartału roku (październik, listopad, grudzień) występowały złe warunki meteorologiczne, które powodowały drastyczny spadek efektywności pozyskiwanej energii cieplnej przez instalację słoneczną (efektywność – 41,1%).

#### **Bibliografia**

**Kaiser H.** 1995. Wykorzystanie energii słonecznej. Wydawnictwa AGH, Kraków. ISSN 0239-6114

## THE EFFECT OF WEATHER CONDITIONS ON THERMAL ENERGY ACQUIRED BY A SOLAR INSTALLATION

**Abstract.** The paper presents the effect of weather conditions on the effectiveness of acquiring thermal energy by a solar installation. The analysis of the results was based on two-year studies, with the use of a special testing post, and weather data obtained from Agro- and Hydrometeorology Observatory, University of Environmental and Life Sciences, Wrocław-Swojec.

**Key words:** solar energy, solar installation, weather conditions

**Adres do korespondencji:**

Jarosław Dąbrowski; e-mail: [jd@ozi.ar.wroc.pl](mailto:jd@ozi.ar.wroc.pl)  
Katedra Budownictwa i Infrastruktury  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
Pl. Grunwaldzki 24  
50-363 Wrocław