

Siemianowice 09.04.2026

*Dokument wyłącznie do użytku wewnętrznego. Nie zezwala się na cytowanie, powoływanie się oraz publikowanie w części lub całości bez zgody autora.*

## **Wpływ mikrofal na instalację wodną ogrzewania podłogowego**

Podłogi w domach często są wykonane z drewna. W celu poprawy komfortu mieszkańców montuje się ogrzewanie podłogowe z instalacją wodną. Deski mogą jednak zostać zaatakowane przez szkodniki drewna. Likwidacja szkodników drewna przy użyciu mikrofal jest coraz bardziej popularna - nie stosuje się środków chemicznych, nie trzeba ewakuować mieszkańców. Pada pytanie czy można korzystać z urządzenia mikrofalowego gdy zainstalowano ogrzewanie podłogowe.

Ogrzewanie podłogowe z wierzchnią warstwą może być montowane na wiele sposobów — deska lita lub warstwowa, na wylewce lub na legarach, klejone do podłoża lub układane na zamek. Nie można opisać wszystkich wariantów, dlatego też skupiono się na jednym rozwiązaniu, które nie jest jednak reprezentatywne dla wszystkich możliwości, wariantów i konstrukcji.

### **Obliczenie gęstości mocy na powierzchni drewna**

Użytkownicy urządzeń mikrofalowych oraz ich klienci najbardziej obawiają się że mikrofałe uszkodzą instalację wodną pod posadzką. Żeby ocenić ryzyko z tym związane należy odwołać się do dobrze znanych i udokumentowanych obliczeń czasu nagrzewania poszczególnych warstw.

Materiały absorbują mikrofałe i nagrzewają z różną intensywnością, charakterystyczną tylko dla nich. Znając rodzaj materiału możliwe jest określenie w jakim czasie nagrzeje się do określonej temperatury i jaka część energii zostanie przez niego pochłonięta.

### **Dane wejściowe**

Rozpoczynając obliczenia przyjęto dane techniczne generatora MG-1500 oraz arbitralnie odległości, grubości i średnice materiałów. W rzeczywistości, w każdym przypadku dane

te będą inne. W przypadku zmian parametrów o więcej niż 20% konieczne jest ponowne przeprowadzenie obliczeń.

$$\begin{aligned}P &= 1500 \text{ W} && \text{(moc generatora)} \\A_{ap} &= 0,25 \times 0,30 \text{ m} = 0,075 \text{ m}^2 && \text{(apertura anteny – wylot)} \\r &= 0,03 \text{ m} && \text{(odległość od wylotu tuby do powierzchni drewna)} \\f &= 2,45 \text{ GHz} && \text{(częstotliwość pracy generatora)} \\ \lambda &= \frac{c}{f} \approx \frac{3 \cdot 10^8}{2,45 \cdot 10^9} \approx 0,122 \text{ m} && \text{(długość fali w wolnej przestrzeni)}\end{aligned}$$

### Określenie granicy pola

Granica pola dalekiego (Fraunhofera) dla anteny o wymiarze poprzecznym  $D = 0,30 \text{ m}$ :

$$r_{far} = \frac{2D^2}{\lambda} = \frac{2 \cdot 0,09}{0,122} \approx 1,48 \text{ m}$$

Odległość drewna i rurek z wodą od anteny jest znacznie mniejsza od  $r_{far}$ . Oznacza to że elementy te są w polu bliskim (strefa Fresnela, a nawet reaktywna).

### Uwaga:

W takim wypadku nie używa się wzoru na pole dalekie  $S = \frac{P \cdot G}{4\pi r^2}$ , ponieważ dałoby to wynik znacznie zawyżony. Przy analizie pola bliskiego nie są również potrzebne pozostałe parametry anteny, takie jak Zysk [G].

### Gęstość mocy w polu bliskim – metoda aperturowa

W polu bliskim, przy odległości mniejszej niż rozmiar apertury, wiązka nie rozszerza się znacząco. Przy odległości anteny 0,03 m od elementu drewnianego, gęstość mocy na powierzchni drewna jest w przybliżeniu równa gęstości mocy na wylocie tuby:

$$S_{ap} = \frac{P}{A_{ap}} = \frac{1500}{0,075} = 20\,000 \text{ W/m}^2$$

Przy tak niewielkiej odległości anteny od powierzchni drewna rozszerzenie wiązki jest na tyle niewielkie, że można przyjąć iż gęstość mocy na powierzchni drewna wynosi  $20 \text{ kW/m}^2$ , nawet jeżeli przyjmiemy uproszczenie  $P/A_{ap}$ .

## Absorpcja energii w materiałach

### Absorpcja energii w drewnie dla $f = 2,45$ GHz

Ponieważ nie ma jednego standardu i nie używa się jednego gatunku drewna, konieczne było przyjęcie arbitralnie jednej wartości, żeby możliwe było przeprowadzenie obliczeń i dalszej analizy.

#### Uśrednione parametry suchego drewna

$\epsilon'_r \approx 2,0$  (stała dielektryczna)

$\text{tg } \delta \approx 0,06$  (współczynnik stratności)

#### Głębokość wnikania

$$\delta = \frac{\lambda_0}{2\pi\sqrt{\epsilon'_r} \cdot \text{tg } \delta} = \frac{122,4}{2\pi \cdot \sqrt{2,0} \cdot 0,06} \approx 229,8 \text{ mm}$$

#### Tłumienie (absorpcja) energii przez drewno

$$T_{20} = e^{-2d/\delta} = e^{-2 \cdot 20/229,8} \approx 0,840$$

$$A_D = 1 - T_{20} = 1 - 0,840 = 0,160$$

$$A_D \approx 16\%$$

Drewno o grubości 20 mm absorbuje ok. 16% energii mikrofal, a ok. 84% przechodzi dalej.

### Absorpcja energii w cemencie dla $f = 2,45$ GHz

Podobnie jak dla drewna przyjęto dane na potrzeby tych obliczeń. Cement użyty na wylewkę w każdej lokalizacji może mieć inną grubość lub inną wilgotność.

#### Uśrednione dane cementowej wylewki

$d = 60$  mm (grubość wylewki)

$\delta = 160$  mm (głębokość wnikania)

---

## Tłumienie (absorpcja) energii przez wylewkę

Dla wykładniczego tłumienia mocy:

$$T_{60} = e^{-2d/\delta}$$

$$\frac{2d}{\delta} = \frac{2 \cdot 60}{160} = 0,75$$

$$T_{60} = e^{-0,75} \approx 0,472$$

$$T_{60} \approx 47,2\%$$

## Absorpcja

$$A_B = 1 - T_{60} = 1 - 0,472 = 0,528$$

$$A_B \approx 53\%$$

Cement o grubości 60 mm absorbuje ok. 53% energii mikrofal, a ok. 47% przechodzi dalej.

## Przykłady nagrzewania materiałów

Podane niżej przykłady nie należy traktować jako sztywnych i jednoznacznych parametrów. Mają one jedynie pokazać jak szybko mogą nagrzewać się materiały poddane działaniu mikrofal i jak duże są różnice przy zmiennych warunkach.

Przyjęto parametry urządzenia mikrofalowego, takie same jak w podpunkcie "Dane wejściowe". Dla podłogi (parkietu) wykonanego z desek dębowych o grubości 20 mm, wilgotności 9% i temperaturze początkowej 20°C, przeciętny czas nagrzewania do wyznaczonej temperatury podany został w poniższej tabeli. Podano również czas nagrzewania drewna o parametrach przyjętych w obliczeniach. Zwrócić uwagę należy, że czas nagrzewania różnych gatunków drewna o innych poziomach wilgotności może się różnić nawet dwukrotnie.

Temperatura $T$ [°C]	Czas [min]	Czas [min]
	drewno standardowe	drewno dębowe
60	≈ 5,1	≈ 2,5
80	≈ 7,6	≈ 3,7
100	≈ 10,2	≈ 4,9

Wylewki są wykonane z różnych materiałów cement, anhydryt, a nawet beton. Również one różnić się mogą stopniem zawilgocenia, co wpływa na absorpcję mikrofal a w konsekwencji na szybkość nagrzewania się materiału. Tabela porównawcza pokazuje przykładowe temperatury, jakie osiągnie wylewka po określonym czasie nagrzewania mikrofalami.

Czas [min]	Wylewka cementowa $T$ [°C]	Wylewka anhydrytowa $T$ [°C]
1	24,2	23,0
2	28,3	25,9
3	32,5	28,9
5	40,8	34,8
8	53,3	43,6
10	61,6	49,5

Rozdział pokazuje zagrożenie jakie może spotkać instalację wodną ogrzewania podłogowego na skutek nagrzewania wylewki. Drewno podłogowe nagrzewa się szybko – w czasie 3–4 minut osiąga temperaturę skutecznej eliminacji szkodników (ok. 80°C). W tym samym czasie

temperatura wylewki nie przekracza 35–40°C, co nie stanowi zagrożenia dla instalacji wodnej. Operator nie powinien dążyć do nagrzewania drewna powyżej temperatury skutecznej – jest to zbędne z punktu widzenia celu pracy i niepotrzebnie zwiększa ryzyko. Przy zachowaniu minimalnego przepływu wody w instalacji ryzyko uszkodzenia rurek jest znikome.

---

## Analiza rurek bez wkładki aluminiowej

### Uwaga wstępna:

Rurka PEX/Al/PEX zawiera warstwę aluminium, która skutecznie ekranuje mikrofałe – w takim przypadku  $P_{abs} \approx 0$  W (mikrofałe nie docierają do wody). Może jednak powstać inny problem – związany z iskrzeniem na krawędziach i ostrych końcach elementów metalowych. Nie jest to jednak tematem tego opracowania.

Poniższe obliczenia dotyczą rurki PE-RT/EVOH/PE-RT (bez aluminium), w której mikrofałe przenikają przez ściankę rurki. Absorpcja ścianki rurki została pominięta – rurka traktowana jest jako przezroczysta dla mikrofal.

### Dane wejściowe

$d_{zew} = 16$  mm (średnica zewnętrzna rurki)  
 $d_{wew} = 12$  mm (średnica wewnętrzna rurki)  
 $L = 0,25$  m (długość odcinka objętego mikrofalami)

### Gęstość mocy mikrofal na poziomie rurki

$$S_{rurka} = S_{ap} \cdot (1 - A_D) \cdot (1 - A_B) \approx 8000 \text{ W/m}^2$$

Wartość zaokrąglona w górę do  $8000 \text{ W/m}^2$  to podejście konserwatywne, podnoszące potencjalne zagrożenie.

### Moc pochłaniana przez wodę

Pole powierzchni rzutu rurki:

$$A_{rzut} = d_{wew} \cdot L = 0,003 \text{ m}^2$$

Moc pochłaniana przez wodę:

$$P_{abs} = S_{rurka} \cdot A_{rzut} = 24 \text{ W}$$

## Masa wody objętej mikrofalami

Pole przekroju wewnętrznego:

$$A_{weew} = \pi \cdot \left( \frac{d_{weew}}{2} \right)^2 = \pi \cdot (0,006)^2 \approx 1,131 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Objętość:

$$V = A_{weew} \cdot L = 1,131 \cdot 10^{-4} \cdot 0,25 = 2,827 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Masa wody:

$$m = \rho \cdot V = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 2,827 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \approx 0,0283 \text{ kg}$$

## Nagrzewanie wody stojącej (brak przepływu)

Temperatura początkowa wody (poza sezonem grzewczym):  $T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Ciepło właściwe wody:  $c_p = 4200 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

Przyrost temperatury po czasie  $t$  minut:

$$\Delta T = \frac{P_{abs} \cdot t}{m \cdot c_p} = \frac{24 \cdot t}{0,02827 \cdot 4200} \approx 12,13 \cdot t \left[ \frac{\text{K}}{\text{min}} \right]$$

## Nagrzewanie wody przy przepływie 2 l/min

Przepływ objętościowy:

$$Q = 2 \text{ l/min} = \frac{2}{60} \text{ l/s} = 3,333 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Przepływ masowy:

$$\dot{m} = \rho \cdot Q = 1000 \cdot 3,333 \cdot 10^{-5} = 0,03333 \text{ kg/s}$$

Przyrost temperatury w stanie ustalonym (ciągły przepływ):

$$\Delta T_{ust} = \frac{P_{abs}}{\dot{m} \cdot c_p} = \frac{24}{140} \approx 0,17 \text{ K}$$

Czas wymiany wody w odcinku objętym mikrofalami:

$$t_{wym} = \frac{m}{\dot{m}} = \frac{0,02827}{0,03333} \approx 0,85 \text{ s}$$

Pierwsza porcja wody przepływającej przez odcinek rurki objętej mikrofalami podgrzana zostanie o 0,17 K w czasie ok. 3 s. Po tym czasie przyrost temperatur ustabilizuje się. Jeżeli nie zmieni się prędkość przepływu lub przepływ nie zostanie zatrzymany, to każda następna porcja wody będzie podgrzewana tylko o 0,17 K.

Jeżeli nie zostanie uruchomiony przepływ wody lub zostanie on zatrzymany, nastąpi drastyczny wzrost temperatury. W czasie 2 minut temperatura wody w odcinku rurki objętym mikrofalami wzrośnie o ponad 24 °C.

**Stan krytyczny dla rurki PE-RT** (dopuszczalna temperatura ciągła to ok. 60 °C, chwilowa to ok. 70 °C).

Przy braku przepływu po ok. **3 minutach** nastąpi zniszczenie instalacji wodnej. Po ok. 6 minutach woda osiągnie 100 °C (zacznie wrzeć).

Przykładowe dane, zgodne z obliczeniami przedstawiono w tabeli poniżej.

Czas [min]	Woda stojąca $T$ [°C]	Przepływ 2 l/min $T$ [°C]
0	20,0	20,0
1	32,1	20,2
2	44,3	20,2
3	56,4	20,2
5	80,6	20,2
6	92,8	20,2
6,6	$\approx 100$	20,2

---

## Zalecenia dla operatora

1. **Sprawdzić typ rurek przed rozpoczęciem pracy.** Rurki z wkładką aluminiową (np. PE-X/Al/PE-X) są ekranowane – ryzyko uszkodzenia instalacji wodnej jest minimalne. Rurki bez wkładki aluminiowej (PE-X, PP, PB, wielowarstwowe bez Al) wymagają zachowania poniższych zasad.
2. **Upewnić się, że woda krąży w instalacji.** Przed rozpoczęciem pracy sprawdzić przepływomierze (rotametry) na rozdzielaczu. Przy przepływie 2 l/min temperatura wody wzrasta tylko o ok. 0,17 K – instalacja jest bezpieczna.
3. **Ograniczyć czas napromieniania w jednym miejscu do 2 minut.** Przy braku przepływu stan krytyczny rurki następuje po ok. 3 minutach. Limit 2 minut zapewnia margines bezpieczeństwa uwzględniający niepewność obliczeń i zmienność parametrów materiałowych.
4. **W razie wątpliwości – nie rozpoczynać pracy** Jeżeli nie ma pewności co do typu rurek, stanu przepływu lub grubości wylewki, należy zweryfikować instalację przed rozpoczęciem prac.
5. **W trakcie pracy stale kontrolować przepływ wody.** Rotametr jest tylko urządzeniem, może ulec uszkodzeniu. Nie zwalnia to operatora z odpowiedzialności za prawidłowe prowadzenie prac. Wybór sposobu kontroli i prowadzenia nadzoru należy do obowiązków operatora.
6. **Niniejsze opracowanie nie jest dokumentem gwarantującym bezpieczeństwo.** Obliczenia przeprowadzono dla jednego, arbitralnie przyjętego układu – konkretnych grubości, wymiarów i parametrów materiałowych. W rzeczywistości każdy przypadek jest inny. Przy zmianie parametrów o więcej niż 20% konieczne jest ponowne przeprowadzenie obliczeń.

Opracowanie jest wyłącznie przedstawieniem ogólnych warunków, parametrów i zasad dla praktyków. Nie może być podstawą do jakichkolwiek roszczeń czy odszkodowań z tytułu awarii, uszkodzeń lub nieprawidłowo wykonanych prac.

Ocena warunków na miejscu pracy oraz odpowiedzialność za podjęte decyzje należą wyłącznie do operatora.